

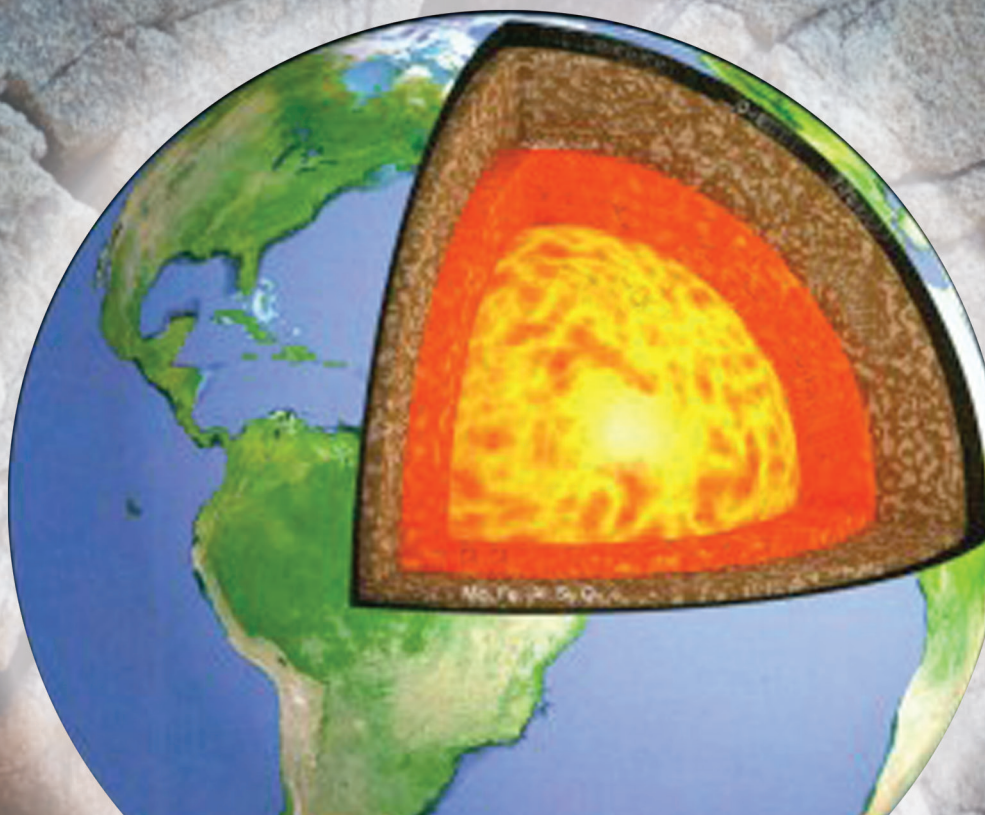
ISSN 1025-6814 (Print)
ISSN 2522-4107 (Online)

ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



GEOLOGIČNÍJ ŽURNAL

1 (390)
2025





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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Contents

Research and Review Reports

Earth's crust and mantle of Ukraine in the first quarter of the 21st century: a review

Young Late Paleozoic tectonics (1800–1700 MA) of the Ukrainian shield

Age of tectonics and tectonics of the Ukrainian shield

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

Ukrainian shield tectonics

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. Сміль

Технічний редактор С.О. Шадріна

Комп'ютерна верстка Н.К. Резнік

Підписано до друку 09.04.2025. Формат 60 × 84/8.

Гарн. Fira Sans. Ум. друк. арк. 10,58. Обл.-вид. арк. 12,06.

Тираж 60 прим. Зам. № 7636.

Віддруковано ВД «Академперіодика» НАН України

вул. Терещенківська, 4, м. Київ, 01024, Україна

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 544 від 27.07.2001

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 Sciences 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
the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

Deputy Editor-in-Chief

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

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

BAYARI S. (Hacettepe University, Ankara, Turkey)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Рекомендовано до друку редакційною колегією журналу

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

ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



GEOLOGIČNII
ŽURNAL

1 (390)
2025

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

Зміст

Дослідницькі та оглядові статті

- Старостенко В.І., Гінтов О.Б. Результати вивчення земної кори і мантії України у першій чверті XXI ст. за геофізичними даними 3
- Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Будзін Бартос, Слама Їржі, Довбуш Т.І., Висоцький О.Б. Молоді пізньопалеопротерозойські (1800–1700 млн років) віки монацитів та цирконів у породах Дністровсько-Бузького району Українського щита 12
- Ivanova A.V., Zaitseva L.B., Gavryltsev V.B. Rare and trace elements of the Verkhniidniprovske deposit of the Dnipro brown coal basin as an indicator of Ukrainian Shield metallogeny 25
- Dernov V.S. A new record of the myriapod genus *Arthropleura* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854 from the Pennsylvanian of Ukraine 33
- Kril T.V., Streltsov A.O. Identification of landslide hazard boundaries of the Dnipro slope near Mykilska Brama, Kyiv 44

Із історії науки

- Старостенко В.І., Коболев В.П., Щипцов О.А., Гошовський С.В., Янко В.В. До 95-річчя від дня народження Євгена Федоровича Шнюкова 56
- Faybishenko B. A Tribute to a Brilliant Scientist and Inspiring Teacher, Paul A. Witherspoon, former Foreign Member of the National Academy of Sciences of Ukraine 66

Ювілеї. Персоналії

- Ювілей академіка Віталія Івановича Старостенка .. 70
- Ольштинська О.П. До 75-річчя від дня народження Олександра Миколайовича Пономаренка 80
- Шнюкова К.Є., Муровська А.В. Олега Борисовича Гінтову – 90: шлях невтомного пошуку істини .. 86

Contents

Research and Review Papers

- Starostenko V.I., Gintov O.B. Results of the study of the Earth's crust and mantle of Ukraine in the first quarter of the XXI century according to geophysical data. 3
- Stepanyuk L.M., Shumlyansky L.V., Budzyń Bartosz, Sláma Jiří, Dovbush T.I., Vysotsky O.B. The Young Late Palaeoproterozoic (1800–1700 MA) ages of monazite and zircon in rocks of the Dniester-Bouh region of the Ukrainian Shield 12
- Ivanova A.V., Zaitseva L.B., Gavryltsev V.B. Rare and trace elements of the Verkhniidniprovske deposit of the Dnipro brown coal basin as an indicator of Ukrainian Shield metallogeny 25
- Dernov V.S. A new record of the myriapod genus *Arthropleura* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854 from the Pennsylvanian of Ukraine 33
- Kril T.V., Streltsov A.O. Identification of landslide hazard boundaries of the Dnipro slope near Mykilska Brama, Kyiv 44

From the History of Science

- Starostenko V.I., Kobolev V.P., Shchypstov O.A., Goshovskyi S.V., Yanko V.V. To the 95th anniversary of the birth of Yevgen Fedorovich Shnyukov 56
- Faybishenko B. A Tribute to a Brilliant Scientist and Inspiring Teacher, Paul A. Witherspoon, former Foreign Member of the National Academy of Sciences of Ukraine 66

Anniversaries. Personalities

- Anniversary of Academician Vitaliy I. Starostenko 70
- Olshtynska O.P. To the 75th anniversary of the birth of Oleksandr Mykolayovych Ponomarenko 80
- Shniukova K.Ye., Murovska A.V. Oleg Borysovych Gintov – 90: a path of tireless search for truth 86

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.316107>

УДК 551.24/550.341.334 (477)

Результати вивчення земної кори і мантії України у першій чверті XXI ст. за геофізичними даними

E-mail: vstar@igph.kiev.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-7960-0011>;
oleg.gintov@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0974-129X>

Received / Надійшла до редакції:
09.12.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
09.02.2025

Accepted / Прийнята:
28.02.2025

Keywords: Ukraine, tectonics, deep structure, geophysics, seismic sounding, earth's crust, mantle.

Ключові слова: Україна, тектоніка, глибока структура, сейсмондунання, земна кора, мантія.

В.І. Старостенко, О.Б. Гінтов

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

Results of the study of the Earth's crust and mantle of Ukraine in the first quarter of the XXI century according to geophysical data

V.I. Starostenko, O.B. Gintov

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The paper focuses on the studies at the beginning of the XXI century, which made a decisive contribution to the revision of some issues related to geodynamic processes and elucidation of tectonics and deep structure of the territory of Ukraine. The main geophysical method is deep seismic sounding of the Earth's crust and mantle in the wide-angle reflection/refraction modification, which was carried out in Ukraine by an international team of geophysicists and geologists at the Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine with the participation of specialists from Ukraine and many European countries. The deep seismic sounding was accompanied by the construction of density, geomagnetic, geothermal, geoelectric, tectonophysical, seismic and tomographic models of the crust and mantle, and was supplemented by the materials of geological survey and determination of the isotopic age of rocks. The fault and megablock structure of the Ukrainian Shield and the layered structure of its crust, the deep structure and origin of the Dnipro-Donetsk Depression, Volyn-Podolsk Plate, Trans-European Suture Zone and other geostructures were considered. Deep seismic surveys and wide-angle reflection/refraction profiles have identified fault zones that extend into the mantle and sink into the crust. Tectonophysical studies have revealed sub-horizontal movements along the faults, as well as horizontal stress fields covering the crust of the regions of Ukraine. These data indicate that, since the Neoarchean, the Ukrainian Shield has been developing by the mechanisms of plate-plume tectonics, and with regard to the Dnipro-Donetsk depression rift-syncline, it is concluded that the most correct hypothesis of its formation may be the rift-generating geodynamic hypothesis, which is based on the established existence of the Paleotethys ocean and the unification of the continents of Laurasia and Gondwana in the Carboniferous-Triassic by subduction-collision.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Цитування: Старостенко В.І., Гінтов О.Б. Результати вивчення земної кори і мантії України у першій чверті XXI ст. за геофізичними даними. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 3–11. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.316107>

Citation: Starostenko V.I., Gintov O.B. 2025. Results of the study of the Earth's crust and mantle of Ukraine in the first quarter of the XXI century according to geophysical data. *Geologichnij zhurnal*, 1 (390): 3–11. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.316107>

Вступ

Перша чверть XXI ст. для геофізичної та геологічної спільноти України ознаменувалася значними досягненнями у вивченні глибинної будови та геодинаміки земної кори і мантиї зони переходу від Євразійської плити (ЕАП) до Альпійсько-Гімалайського поясу (АГП), тобто південно-західної частини Східноєвропейського кратону (СЕК) – Сарматії, Українських Карпат, Кримського півострова й Азово-Чорноморського регіону. Насамперед ці досягнення пов'язані з виконанням серії глибинних ширококутних сейсмічних досліджень (*wide angle reflection refraction* – WARR), гравіметричним моделюванням будови земної кори з використанням комплексу автоматизованої інтерпретації потенційних полів GMT-Auto, широкими тектонофізичними, геотермічними, геомагнітними і геоелектричними дослідженнями, розробкою і застосуванням методики сейсмотомографічного вивчення мантиї Євразії, відходом від старих фіксистських поглядів і розвитком нових теоретичних палеогеодинамічних побудов. Саме на цей час припадає етап інтенсивних спільних досліджень з геофізиками і геологами Польщі, Швеції, Німеччини, Нідерландів, Данії, Шотландії, Фінляндії, Румунії та деяких інших країн у рамках проєктів GeoRift, EUROBRIDGE, CELEBRATION 2000 Міжнародної програми EUROPROBE Європейського наукового фонду, які включали об'ємні і дорогі польові сейсмометричні спостереження, що робиться тепер нечасто.

Роботи за міжнародними проєктами GeoRift, EUROBRIDGE, CELEBRATION 2000 – це великий самостійний блок досліджень. Окрім проведення дорогих сейсмометричних польових спостережень методами WARR, які замінили більш ранні методи глибинних сейсмічних зондувань (ГСЗ), вони склалися з: 1) обробки та інтерпретації їх результатів із залученням найсучасніших програмних комплексів; 2) широких геолого-геофізичних узагальнень з проблем глибинної будови та геотектоніки практично всіх геотектонічних регіонів України. В її межах прокладено 10 профілів WARR – EUROBRIDGE'97 (Thybo et al., 2003; Grad et al., 2006), DOBRE-99 (Maystrenko et al., 2003; Grad et al., 2003), DOBRE-2 (Старостенко и др., 2008; Tolkunov et al., 2011), PANCAKE (Starostenko et al., 2013a), DOBRE-4 (Starostenko et al., 2013b; Janik et al., 2016), DOBRE-5 (Starostenko et al., 2015), GEORIFT-2013 (Starostenko et al., 2018), RomUkrSeis

(Starostenko et al., 2020), TTZ-South (Janik et al., 2022), SHIELD'21 (Starostenko et al., 2023). Загалом роботи за проєктами GeoRift та EUROBRIDGE – це великий науковий та науково-організаційний успіх, який, поряд з іншими роботами, зміцнив авторитет Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України як одного з провідних, високопрофесійних та сучасних геофізичних центрів Європи. Значна частина результатів за цими напрямками опублікована в найпрестижніших міжнародних (європейських) і американських геофізичних та геологічних журналах, а також у монографіях, виданих у Парижі і Лондоні.

Як результат, уже в першому двадцятиріччі XXI ст. було отримано велику кількість геологічних і, особливо, геофізичних даних, що вказують на необхідність перегляду моделей геологічного розвитку території України і, відповідно, нових поглядів на геолого-геофізичні критерії пошуків корисних копалин.

Метою цієї статті є узагальнення матеріалів, отриманих у результаті виконання означених досліджень, їх аналіз і підбиття підсумків за останні 25 років.

Тектонічний поділ території досліджень, за Тектонічною картою України (Тектонічна..., 2007), включає: Український щит (УЩ), Дніпровсько-Донецьку западину (ДДЗ), південно-західну частину Воронежського кристалічного масиву (ВМ), Волино-Подільську плиту (ВПП) з елементами, що її складають (Львівсько-Люблинський та Боянецький палеозойські прогини (ЛЛБП), Волино-Подільська монокліналь (ВПМ), у тому числі Молдовська монокліналь (ММ)), Передкарпатський прогин (ПКП), Південноукраїнську монокліналь (ПМ), Кримсько-Чорноморський регіон (рис. 1).

Сучасні сейсмічні дослідження

Профілі за методикою ширококутного відбиття/заломлення (WARR), виконані в межах України та суміжних регіонів (див. рис. 1), дозволили уточнити положення границі Мохо, тобто потужність земної кори, а також її швидкісний розріз, у тому числі структурні неоднорідності окремих мегаблоків, ідентифікацію хвилеводів, перехідних зон між корою та мантиєю. Було досліджено глибинні тектонічні зони у верхній частині літосфери (до глибини 50–75 км), а також уточнено положення контактних зон між плитами Сарматією, Фенноскандією та Західноєвропейською платформою (ЗЄП), структуру Транс'європейської шовної зони (ТЄШЗ, або, за публікаціями євро-

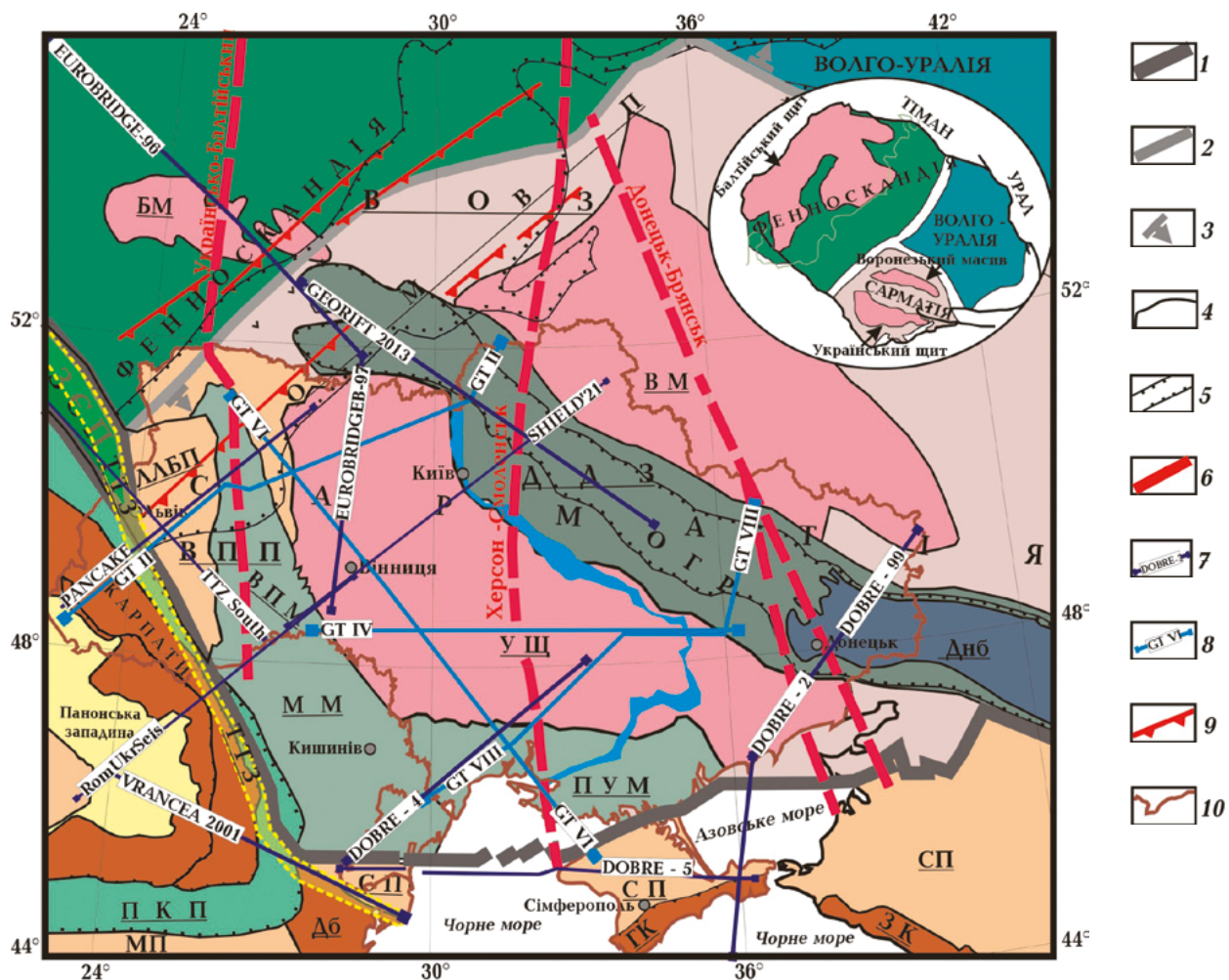


Рис. 1. Основні тектонічні регіони Сарматії та її оточення (Гинтов, Пашкевич, 2010; Очерки..., 2018) з доповненням: 1 – границя Східноєвропейського кратону; 2 – границі між надструктурними елементами Східноєвропейського кратону: Фенноскандією, Сарматією та Волго-Уралією, за (Bogdanova et al., 1996; Гинтов, Пашкевич, 2010); 3 – напрямок падіння зон зчленування сегментів Східноєвропейського кратону (на врізці); 4 – контури регіонів у межах Сарматії: УЩ – Український щит, ВМ – Воронезький кристалічний масив, ДДЗ – Дніпровсько-Донецька западина (Днб – Донбас), ОМВП – Осницько-Микашевичський вулканоплутонічний пояс, ВПП – Волино-Подільська плита (ВПМ – Волино-Подільська, в тому числі ММ – Молдовська монокліналі, ЛЛБП – Люблінсько-Львівсько-Боянецький прогин, ПКП – північно-східна частина Передкарпатського прогину), ТТЗ – зона Тейсєре-Торнквіста, ПУМ – Південноукраїнська монокліналь; 5 – контури окремих западин і грабенів у межах Сарматії: ВОЗ – Волино-Орашанська западина, ОГР – осьовий грабен ДДЗ; 6 – трансрегіональні тектонічні шви Херсон-Смоленськ, Донецько-Брянськ та Українсько-Балтійський; 7 – профілі WARR; 8 – геотраверси ГСЗ; 9 – розломи, що обмежують Волино-Орашанську западину, за (Bogdanova et al., 1996); 10 – контур України. Позначення регіонів за межами Сарматії: ЗЄП – Західноєвропейська платформа, БМ – Білоруський масив, ПКП – Передкарпатський прогин, СП – Скіфська плита, Дб – Добруджа, ГК – Гірський Крим, ЗК – Західний Кавказ

Fig. 1. The main tectonic regions of Sarmatia and its surroundings, after (Gintov and Pashkevich, 2010; Essays..., 2018) with additions: 1 – boundary of the East European craton; 2 – boundaries between the supra-structural elements of the East European craton: Fenno-scandia, Sarmatia, and Volga-Uralia according to (Bogdanova, 1996; Gintov, Pashkevich, 2010); 3 – direction of fall of joint zones of segments of Eastern European craton (on the insert); 4 – contours of regions within Sarmatia: Ush – Ukrainian Shield, VM – Voronezh Crystalline Massif, DDD – Dniipro-Donetsk Depression (Dnb – Donbas), OMVP – Osnitsko-Mykashevych volcanic-plutonic belt, VPP – Volyno-Podilsk Plate (VPM – Volyno-Podilsk, including MM – Moldavian monocline, LLBP – Lublin-Lviv-Boyanets belt, PCP – northeastern part of the Fore-Carpathian trough), TTZ – Teisser-Tornquist zone, SUM – South Ukrainian monocline; 5 – contours of individual depressions and grabens within Sarmatia: VOD – Volyn-Orshan depression, OGR – axial graben of the DDD; 6 – Kherson-Smolensk, Donetsk-Bryansk, and Ukrainian-Baltic transregional tectonic sutures; 7 – WARR profiles; 8 – geotraverses of the DSS; 9 – faults that limit the Volyn-Orshan depression, according to (Bogdanova, 1996); 10 – Outline of Ukraine. Letter designations of regions outside Sarmatia: ЗЄП – Western European Platform, BM – Belorussian massif, PKP – Precarpathian massif, SP – Scythian plate, Db – Dobrudzha, MC – Mountainous Crimea, WC – Western Caucasus

пейських дослідників, ТТЗ – зони Тейсєре-Торнквіста). Ширококутна сейсміка з реєстрацією як відбитих, так і заломлених сейсмічних хвиль виявилася надійним і досить точним інструментом вирішення цього завдання.

Для прикладу наведемо один з 10 профілів WARR (Thybo et al., 2003), прокладених на території України, – профіль EUROBRIDGE'97 (рис. 2), котрий перетинає Прип'ятський прогин (у межах Біларусі) та УЩ (див. рис. 1).

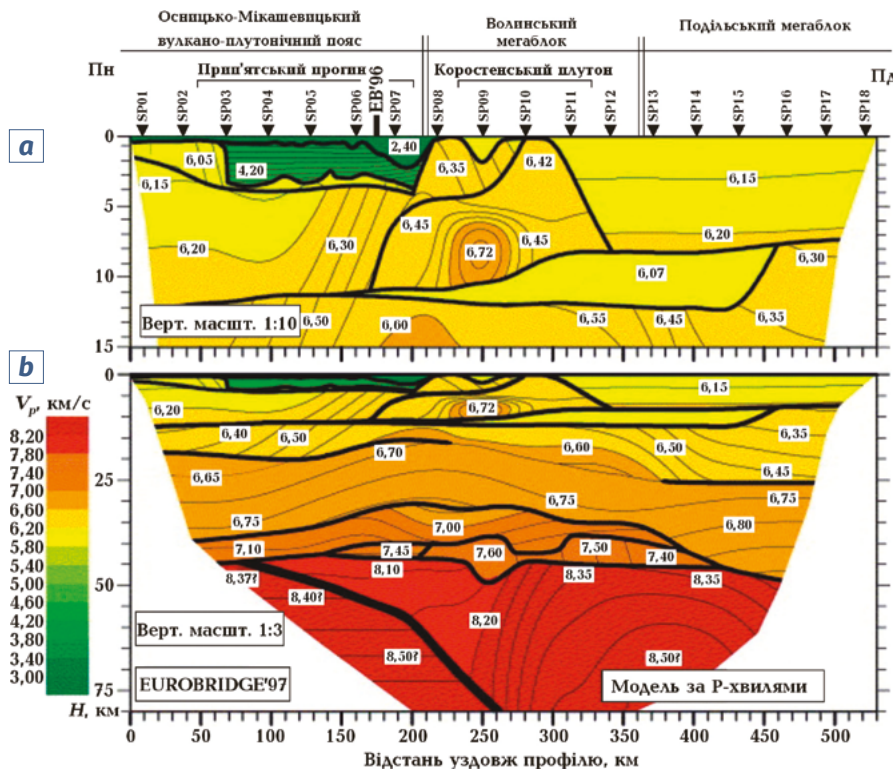


Рис. 2. Двовимірний модель швидкості Р-хвиль по профілю EUROBRIDGE'97 (Thybo et al., 2003): а – деталі верхньої кори; б – повна літосферна модель. Товсті чорні лінії – основні швидкісні границі. Відбивач у мантії обмежений лише відбиттями, тому швидкість під ним невідома. Тонкі лінії – це ізолінії швидкості зі значеннями (км/с), наведеними в білих прямокутниках. Стрілки показують положення пунктів вибуху

Fig. 2. Two-dimensional model of P-wave velocity based on the EUROBRIDGE'97 profile (Thybo et al., 2003): а – details of the upper crust; б – full lithospheric model. Thick black lines represent the main velocity boundaries. The reflector in the mantle is limited to reflections only, so the velocity below it is unknown. Thin lines represent velocity isolines with values (km/s) shown in white rectangles. Arrows indicate the positions of the explosion points

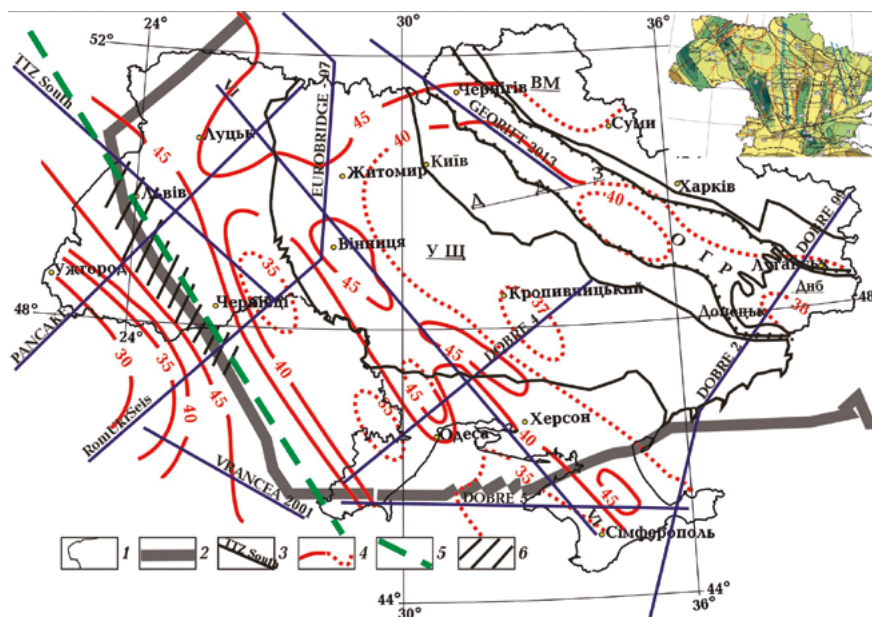


Рис. 3. Схема рельєфу поверхні Мохо в межах території України, за даними WARR: 1 – контур території України; 2 – межі Сарматії; 3 – профілі WARR; 4 – ізоглибини (км) розділу Мохо, крапкові ізолінії – здогадки; 5 – осьова лінія ТТЗ; 6 – ділянка ТТЗ, де глибини Мохо наближаються до 49 км. На врізці – схема Мохо 2018–2021 рр.

Fig. 3. Scheme of Moho surface relief within the territory of Ukraine, according to WARR: 1 – outline of Ukraine; 2 – borders of Sarmatia; 3 – WARR profiles; 4 – isodepths of the Moho section, dotted isolines are assumed; 5 – axial line of the TTZ; 6 – section of the TTZ where the Moho depths approach 49 km. The inset shows the 2018–2021 Moho scheme

За матеріалами профілів WARR, швидкісна структура кристалічної кори УЩ характеризується в основному поступовим зростанням V_p від 5,4–6,15 км/с біля денної поверхні до 6,6–7,6 км/с поблизу поверхні Мохо. За середніми швидкісними характеристиками кора УЩ поділяється на три шари: верхній (5,8–6,3 км/с), середній (6,3–6,7 км/с), нижній (6,7–7,4 км/с). Середня потужність земної кори становить 40–45 км, що на 5 км менше від старих даних ГСЗ.

За даними WARR авторами побудована Схема рельєфу поверхні Мохо (рис. 3). Ця схема менш детальна, ніж попередні аналогічні схеми, побудовані за даними ГСЗ (Соллогуб, 1986; Очерки..., 2018; Макаренко, 2021), але більш точна щодо глибин і швидкостей. Глибини до Мохо майже скрізь менші 50 км і досягають цього значення лише в кільовидних прогинах Мохо на профілях PANCAKE і RomUkrSeis. Розділ Мохо на профілях WARR більш виразний,

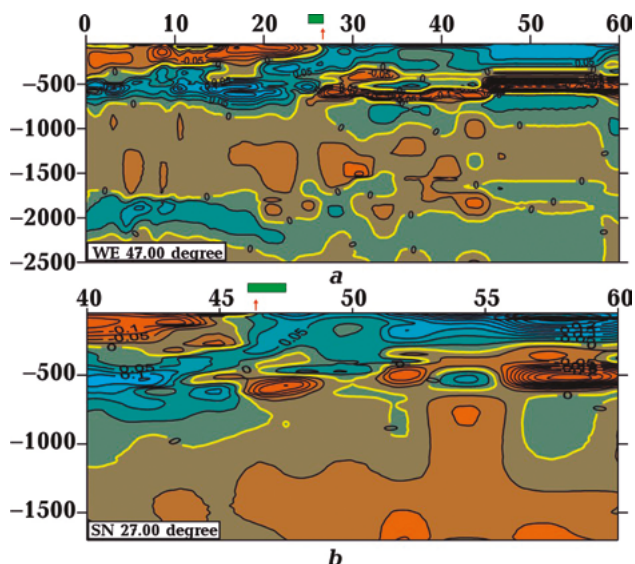


Рис. 4. Вертикальні широтний і довготний перетини тривимірної Р-швидкісної моделі мантії України вздовж 47° пн. ш. (а) і 27° сх. д. (б) (Гинтов та ін., 2022). Вертикальний (км)/горизонтальний (широти і довготи) масштаби приблизно: 1×1 – верхній рисунок і 1×2 – нижній. Зеленими прямокутниками показано ТТЗ, червоними стрілками – початок занурення слэбу у верхню мантію, жовтим – швидкісні границі між підвищеними (відтінки блакитного) і пониженими (відтінки червоного) швидкостями (нульові ізолінії)

Fig. 4. Vertical latitudinal and longitudinal cross-sections of the three-dimensional P-velocity model of the Ukraine mantle along 47°N (a) and 27°E (b) (Gintov et al., 2022). Vertical (km)/horizontal (latitude and longitude) scales are approximately: 1×1 for the upper figure and 1×2 for the lower one. The green rectangles show the TTZ, the red arrows indicate the beginning of the slab's immersion in the upper mantle, the yellow lines show the velocity boundaries between the increased (shades of blue) and decreased (shades of red) velocities (zero isolines)

тому що перехід від нижньої кори до мантії тут більш різкий (за середніми значеннями ступінь V_p на Мохо становить 1,25 км/с), тоді як на геотраверсах ГСЗ він слабкіший (ступінь на Мохо сягає 0,95 км/с).

Уточнено південно-західну межу СЕК у зоні переходу до ЗЄП (зони ТТЗ), яка завжди була спірною. Показано, що ця межа контролюється Передкарпатським глибинним розломом, який з'єднує найглибшу точку кільовидного прогину Мохо із ступінню амплітудою близько 5 км у поверхні кристалічного фундаменту і виходить на денну поверхню в межах сучасного Передкарпатського прогину. Зоні ТТЗ, яка має ширину до 150–200 км (на рис. 3 вона займає площу між ізолініями 45 км), відповідає Підкарпатський трог глибиною до 20 км, заповнений палео-мезо-кайнозойськими відкладами і подрібненою кристалічною корою, який чітко фіксується на профілях PANCAKE і RomUkrSeis.

Одним з головних досягнень досліджень ГСЗ та WARR є встановлення цими методами похилих та лістричних відбивних і заломлених лінементів, які перетинають кору і заглиблюються в верхню мантію або спостерігаються під Мохо, не перетинаючи кору (див. рис. 2). За даними сейсмотомографічних досліджень методом Тейлорового наближення, виконаних в Інституті геофізики НАН України (Геуко, 2004; Гейко и др., 2006), такі лінементи можуть заглиблюватися в мантію на 600 км і глибше. В роботах (Гинтов и др., 2014; Гинтов, 2019; Гинтов та ін., 2022) геологічно проінтерпретовано матеріали сейсмотомографії із залученням даних палеогеодинамічних і палеогеографічних реконструкцій. Показано, що встановлені у верхній мантії лістричні лінементи фіксують поверхні нахилених шарів потужністю 150–200 км і протяжністю 250–1100 км та відповідають ділянкам літосферних плит (слебам), які занурювались в астеносферу в різні проміжки часу починаючи з кінця неогархею. Практично скрізь початок цих субдукційних слэбів біля поверхні збігається з відомими або такими, що припускаються за геологічними даними, сутурними зонами.

Приклад вертикальних перетинів мантії зі слэбами, які перетинають лінію ТТЗ і утворилися в ордовику–силурі чи пермо–тріасі під час формування давніх комплексів, наведено на рис. 4. Ізолінії на перетинах проведено за формулою $\delta = V_p - V_{p_{aver}}$ ($V_{p_{aver}}$ – референтна модель поздовжніх хвиль Євразії (Геуко, 2004)), які добре висвітлюють швидкісні аномалії поздовжніх хвиль у мантії. Широтний слэб (WE 47.00) протяжністю 1100 км заглиблюється в мантію на 310 км, а довготний (SN 27.00) протяжністю 700 км – на 405 км від Сарматії під ТТЗ і ЗЄП.

На інших сейсмотомографічних перетинах (SN 15.00–17.00, 25.00–30.00, 35.00–39.00; WE 44.00–46.00, 52.00–53.00) зафіксовано слэби, які відображають субдукцію Фенноскандії під майбутні ТТЗ і ЗЄП, Фенноскандії та Волго-Уралії під Сарматію у ранньому протерозої, від ЗЄП під ТТЗ у мезо-кайнозої.

Інші геофізичні методи

Тектонофізичними дослідженнями УЩ доведено субгоризонтально-зсувну природу більшості розломів щита, в тому числі розломів у межах шовних зон (Гинтов, Пашкевич, 2010; Очерки..., 2018). Це свідчить про справедливості плито-

тектонічної ідеї щодо розвитку УЩ у неоархеї–ранньому протерозої. Варто зазначити, що якими б механізмами не намагалися пояснити будову та історію розвитку УЩ, одним із визначальних факторів цього розвитку були великі горизонтальні зсуви блоків літосфери вздовж протяжних зон розломів, які виходять далеко за межі щита, та поля тангенціальних тектонічних напруг.

Геотермічна (Кутас, 2018, с. 23) і густинна (Макаренко, 2021) моделі земної кори України побудовані з використанням сейсмічних матеріалів уздовж геотраверсів ГСЗ, сучасних сейсмічних досліджень методами WARR, комплексу геологічних, петрофізичних даних і розраховані за допомогою комплексу автоматизованої інтерпретації потенційних полів GMT-Auto (Старостенко і др., 2015). Геотермічне моделювання включало побудову моделей розподілу радіогенних дже-

рел тепла та теплофізичних параметрів порід на основі створення моделі геологічного середовища, оцінку корової та мантійної складових теплового потоку, розрахунок сучасного розподілу теплових потоків і температур у земній корі. В результаті були побудовані геотермічні моделі земної кори України, які, зокрема, вказують на масштабні горизонтальні рухи – насуви та підсуви – блоків кори УЩ та інших регіонів.

За гравітаційними даними у прийнятому, звичай, тришаровому поділі земної кори обчислені потужності умовно виділених «гранітного», «діоритового», «базальтового» шарів, які відповідають верхній, середній і нижній корі профілів WARR. Отримана густинна неоднорідність слугувала основою для побудови тривимірної схеми прогнозного складу земної кори (рис. 5) і схеми розподілу густини в обсязі земної кори України та суміжних регіонів.

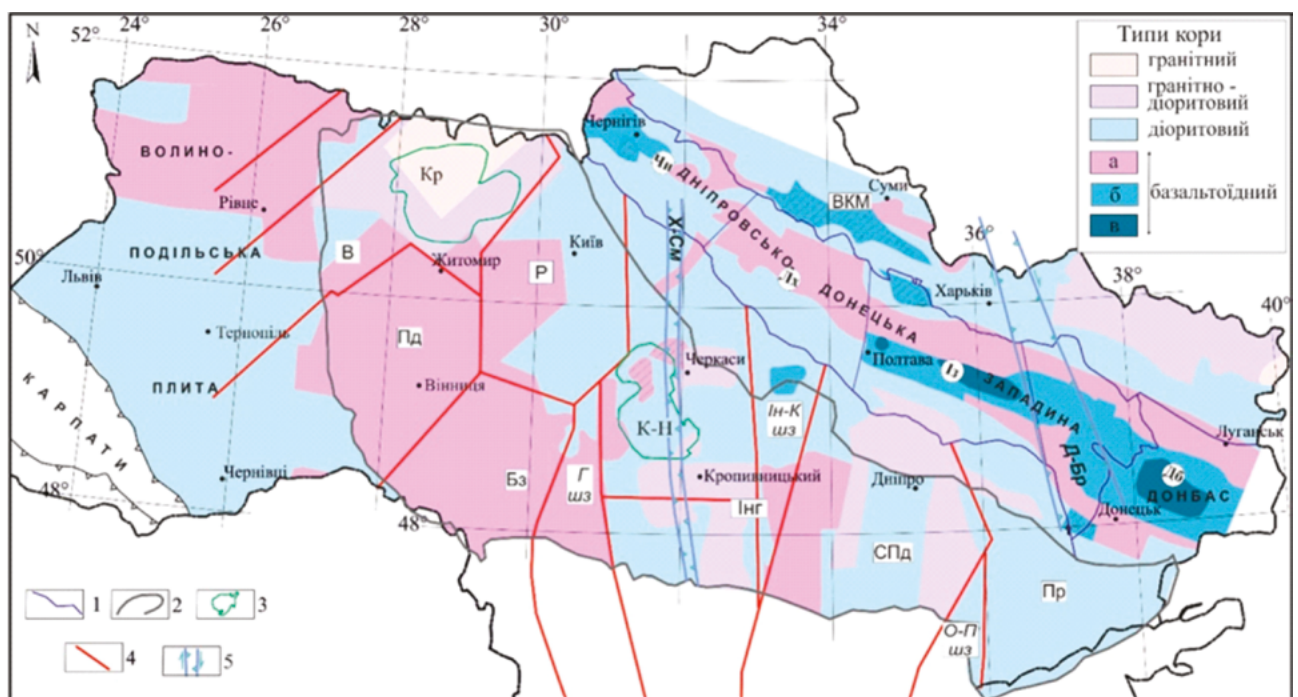


Рис. 5. Типізація земної кори платформної частини України за співвідношенням її головних шарів (Макаренко, 2021): 1 – границя ДДЗ; 2 – контур УЩ; 3 – плутони габро-анортозит-рапаківи: Коростенський (Кр), Корсунь-Новомиргородський (К-Н); 4 – міжмегаблокові зони розломів УЩ; 5 – трансрегіональні тектонічні шви: Х-С – Херсон–Смоленськ, Д-Бр – Донецьк–Брянськ. Мегаблоки УЩ: В – Волинський; Пд – Подільський; Р – Росинський; Бз – Бузький; Ін – Інгурський; Спд – Середньопридніпровський; Пр – Приазовський. Шовні зони: Гшз – Голованівська; І-Кшз – Інгuleцько-Криворізька; О-Пшз – Оріхово-Павлоградська. Головні сегменти в межах ДДЗ: Чн – Чернігівський, Лх – Лохвицький, Із – Ізюмський, Дб – Донбаський. Підтипи базальтоїдного типу кори з вмістом базальту: підтип 1 – 40–70 % (а), підтип 2 – 70–90 % (б), підтип 3 – 100 % (в). Штриховкою показано тип кори, який характеризується присутністю в розрізі «базальтового» і «гранітного» шарів (при відсутності або дуже малій потужності «діоритового»). Подібний тип кори притаманний Інгурському мегаблоку УЩ та північній бортовій зоні ДДЗ

Fig. 5. Typification of the earth's crust of the platform part of Ukraine by the ratio of its main layers (Makarenko, 2021): 1 – boundary of the DDZ; 2 – contour of the Ukrainian Shield; 3 – gabbro-anorthosite-rapakivi plutons: Korosten (Kr), Korsun-Novomyrhorod (K-N); 4 – intermegablock fault zones of the Ukrainian Shield; 5 – transregional tectonic seams: Kh-S – Kherson-Smolensk, D-Br – Donetsk-Bryansk. Ukrainian Shield megablocks: V – Volyn; Pd – Podillya; R – Ros; Bz – Buzk; In – Inguls; MD – Middle Dnieper; Pr – Priazov. Suture zones: Gsz – Holovanivsk; I-Ksz – Ingulets-Kryviy Rig; O-Psz – Orikhovo-Pavlograd. The main segments within the DDZ: Chn – Chernigiv, Lh – Lohvitsya, Iz – Izium, Db – Donbas. Subtypes of basaltic crustal type with basalt content: subtype 1 – 40–70 % (a), subtype 2 – 70–90 % (b), subtype 3 – 100 % (v). Hatching indicates the crustal type which is characterised by the presence of "basalt" and "granite" layers in the section (with the absence or very small thickness of "diorite"). A similar crustal type is inherent in the Ingul megablock of the Ukrainian Shield and the northern side zone of the DDD

Геотермічна і густинна моделі доповнюють сейсмічні дані на площах, де профілі WARR відсутні.

Геофізичні – сейсмічні та гравіметричні – дані не підтверджують поглядів на наявність у ДДЗ рифейського грабену за аналогією з іншими авлакогенами СЕК. Профілями WARR DOBRE-1999–2001 та GeoRift-13 (Maystrenko et al., 2003; Starostenko et al., 2018) достеменно встановлено, що під девонськими відкладами осьового рифту ДДЗ залягають основні–ультраосновні породи океанічного типу, а не рифейські осади, як передбачалося раніше. Показано, що найбільш правдоподібною може бути рифтогенно-геодинамічна гіпотеза утворення ДДЗ, яка виходить з процесу існування океану Палеотетис і об'єднання в карбоні–тріасі внаслідок субдукції–колізії континентів Лаврусії та Гондвани. Рифтогенна і палеогеодинамічна гіпотези утворення ДДЗ не протирічать, а доповнюють одна одну, маючи за аналогію деякі сучасні авлакогени, наприклад, Аденський.

Геомагнітними дослідженнями XXI ст. підтверджено семимегаблокову структуру УЩ, розроблено геомагнітну модель земної кори і виділено мегаблоки з наявністю в середній та нижній корі регіональних магнітних джерел або їх відсутністю. Побудовано сучасну карту аномального магнітного поля України на основі наземних і аеромагнітних зйомок масштабів 1:50 000 – 1:10 000 (Орлюк и др., 2015).

Геоелектричними дослідженнями, які у XXI ст. виконано методами побудови дво- і тривимірних моделей розподілу електричного опору за експериментальними даними МТЗ і МВП, доведено існування в земній корі та верхній мантії України численних анома-

лій високої електропровідності. Ці аномалії контролюються зонами глибинних розломів і пов'язані з ділянками, збагаченими рудними компонентами і графітом або зонами проникнення флюїдів і вуглеводнів (Бурахович и др., 2015; Логвинов, Тарасов, 2019).

Висновки

Таким чином, одержані у першій чверті XXI ст. геофізичні та геологічні дані не залишають сумнівів у тому, що геологічний розвиток Сарматії, в тому числі платформної території України, від неоліту до сучасності відбувався за геодинамічними законами плитової–плюмової тектоніки, яким автори не бачать серйозної альтернативи. Це вказує на необхідність перегляду моделей геологічного розвитку території України і, відповідно, нових поглядів на геолого-геофізичні критерії пошуків корисних копалин.

Робота виконана за основним пріоритетним тематичним напрямом Відділення наук про Землю 1.5.2.1. «Вивчення глибинної будови літосфери методами геофізики з метою пошуку корисних копалин», затвердженою Постановою Президії НАН України від 10.01.2024 № 8 і Постановою Кабінету Міністрів України від 30.04.2024 р. № 476.

Автори хочуть особливо відзначити польську групу вчених – М. Града, Т. Яніка, В. Чубу, П. Срьоду, А. Гутерха, П. Олександровського, Д. Войцка, А. Гуцинського, котрі брали активну участь у виконанні сучасних сейсмічних досліджень території України за методикою WARR. Ми дякуємо анонімним рецензентам за коментарі, які допомогли покращити нашу статтю.

У роботі головну увагу сконцентровано на дослідженнях початку XXI ст., які зробили суттєвий внесок у перегляд деяких питань щодо геодинамічних процесів та з'ясування тектоніки і глибинної будови території України. Основним геофізичним методом є глибинне сейсмічне зондування земної кори і мантії в модифікації ширококутного відбиття/заломлення, яке виконано в Україні міжнародним колективом геофізиків і геологів на базі Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України за участю спеціалістів України та багатьох країн Європи. Глибинне сейсмічне зондування супроводжувалося побудовою густинних, геомагнітних, геотермічних, геоелектричних, тектонофізичних, сейсмотомографічних моделей кори і мантії, а також доповнювалося матеріалами геологічного зйомання та визначення ізотопного віку гірських порід. Розглянуто розломно-мегаблокову структуру Українського щита і поширенню будову його кори, глибинну будову і походження Дніпровсько-Донецької западини, Волино-Подільської плити, Транс'європейської шовної зони та інших геоструктур. Глибинними сейсмічними зондуваннями і профілями ширококутного відбиття/заломлення встановлено лістричні зони розломів, котрі, виположуючись, занурюються в мантію. Тектонофізичними дослідженнями встановлено субгоризонтальні рухи вздовж розломів, а також поля горизонтальних напружень, що охоплюють земну кору регіонів України. Ці дані вказують на те, що починаючи з неоліту Український щит розвивався за механізмами плитово–плюмової тектоніки. Відносно рифт–синеклізи Дніпровсько-Донецької западини зроблено висновок, що найбільш правдоподібною може бути рифтогенно-геодинамічна гіпотеза її утворення, яка виходить з процесу існування океану Палеотетис і об'єднання в карбоні–тріасі внаслідок субдукції–колізії континентів Лаврусії та Гондвани. Профілями Dobre-1999–2001 та GeoRift-13 встановлено, що під девонськими відкладами осьового рифту западини залягають основні–ультраосновні породи океанічного типу, а не рифейські осади, як вважалося раніше

Список літератури

- Бурахович Т.К., Николаев И.Ю., Шеремет Е.М., Ширков Б.И. Геоэлектрические аномалии Украинского щита и их связь с рудопроявлениями полезных ископаемых. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37, № 6. С. 42–63.
- Гейко В.С., Шумлянская Л.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н., Цветкова Т.А. Трехмерная модель верхней мантии Украины по временам прихода Q-волн // *Геофиз. журн.* 2006. Т. 28, № 1. С. 3–16.
- Гінтов О.Б., Цветкова Т.О., Бугаєнко І.В., Заєць Л.М., Муровська Г.В. Глибинна будова Транс-Європейської шовної зони (за матеріалами сейсмотомографії та ГСЗ) і деякі уявлення про її розвиток. *Геофіз. журн.* 2022. Т. 44, № 6. С. 63–87. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273640>
- Кутас Р.И. Карта плотности теплового потока в МВт/м² территории Украины. *Очерки геодинамики Украины*: Старостенко В.И., Гинтов О.Б. (ред.). Киев: ВІ ЕН ЕЙ, 2018. С. 310–323.
- Логвинов И.М., Тарасов В.Н. Электропроводность коры и мантии Восточно-Европейской платформы в западной части Украины по данным 2D инверсии. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41, № 1. С. 44–75. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158863>
- Макаренко И.Б. Плотностная неоднородность земной коры Украины и смежных регионов по данным трехмерного гравитационного моделирования. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43, № 2. С. 45–85. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i2.230190>
- Орлюк М.И., Роменец А.А., Марченко А.В., Орлюк И.М., Иващенко И.Н. Магнитное склонение на территории Украины: результаты наблюдений и вычислений. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37, № 2. С. 73–85.
- Очерки геодинамики Украины: Старостенко В.И., Гинтов О.Б. (ред.). Киев: ВІ ЕН ЕЙ, 2018. 465 с.
- Соллогуб В.Б. Литосфера Украины. Киев: Наукова думка, 1986. 183 с.
- Тектонічна карта України. М-б 1:1 000 000: Гурський Д.С., Круглов С.С. (гол. ред.). Київ, 2007.
- Bogdanova S.V., Pashkevich I.K., Gorbatshev R., Orlyuk M.I. Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton: geology and geophysics. *Tectonophysics*. 1996. Vol. 268. P. 1–21.
- Geyko V.S. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26, № 2. С. 3–32.
- Grad M., Gryn' D., Guterch A., Janik T., Keller R., Lang R., Lyngsie S.B., Omelchenko V., Starostenko V.I., Stephenson R.A., Stovba S.M., Thybo H., Tolkunov A. "DOBRE fraction'99" – velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Foldbelt (East Ukraine). *Tectonophysics*. 2003. Vol. 371. P. 81–110. [http://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00211-7](http://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00211-7)
- Grad M., Janik T., Guterch A., Środa P., Czuba W., EURO-BRIDGE'94–97, POLONAISE'97 and CELEBRATION 2000 Seismic Working Groups – Lithospheric structure of the western part of the East European Craton investigated by deep seismic profiles. *Geol. Quart.* 2006. 50 (1). P. 9–22. Warszawa.
- Janik T., Środa P., Czuba W., Lysynchuk D. Various Approaches to Forward and Inverse Wide-Angle Seismic Modelling Tested on Data from DOBRE-4 Experiment. *Acta Geophysica*. 2016. Vol. 64, No. 6. P. 1989–2019. DOI:10.1515/acgeo-2016-0084
- Janik T., Starostenko V., Aleksandrowski P., Yegorova T., Czuba W., Środa P., Murovskaya A., Zayats K., Mechie J., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Wójcik D., Omelchenko V., Legostaeva O., Głuszyński A., Tolkunov A., Amashukeli T., Gryn' D., Chulkov S. Lithospheric Structure of the East European Craton at the Transition from Sarmatia to Fennoscandia Interpreted from the TTZ-South Seismic Profile (SE Poland to Ukraine). *Minerals*. 2022. Vol. 12, No. 112. P. 1–124. <https://doi.org/10.3390/min12020112>
- Maystrenko Y., Stovba S., Stephenson R., Bayer U., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher C., Rabbel W., Saintot A., Starostenko V., Thybo H., Tolkunov A. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine. *Geology*. 2003. Vol. 31, No. 8. P. 733–736. <https://doi.org/10.1130/G19329.1>
- Starostenko V., Janik T., Kolomiyets K., Czuba W., Środa P., Grad M., Kovács I., Stephenson R., Lysynchuk D., Thybo H., Artemieva I.M., Omelchenko V., Gintov O., Kutas R., Gryn D., Guterch A., Hegedűs E., Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A. Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*. 2013a. Vol. 608. P. 1049–1072. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>
- Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Farfuliak L., Czuba W., Środa P., Lysynchuk D., Thybo H., Artemieva I., Sosson M., Volfman Y., Kolomiyets K., Omelchenko V., Gryn D., Guterch A., Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A. Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the northwestern Black Sea and the Crimean Peninsula. *Geophysical Journal International*. 2015. Vol. 201. P. 406–428. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv018>
- Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Czuba W., Środa P., Lysynchuk D., Aizberg R., Garetsky R., Karataev G., Gribik Y., Farfuliak L., Kolomiyets K., Omelchenko V., Komminaho K., Tiira T., Gryn D., Guterch A., Legostaeva O., Thybo H., Tolkunov A. Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-DnieperDonets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*. 2018. Vol. 212. P. 1932–1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>
- Starostenko V., Janik T., Mocanu V., Stephenson R., Yegorova T., Amashukeli T., Czuba W., Środa P., Murovskaya A., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Ochoń J., Dragut A., Omelchenko V., Legostaeva O., Gryn D., Mechie J., Tolkunov A. RomUkrSeis: Seismic model of the crust and upper mantle across the Eastern Carpathians – From the Apuseni Mountains to the Ukrainian Shield. *Tectonophysics*. 2020. Vol. 794. P. 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.22862>
- Starostenko V., Janik T., Czuba W., Środa P., Murovskaya A., Yegorova T., Verpakhovska A., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Wójcik D., Omelchenko V., Amashukeli T., Legostaeva O., Gryn D., Chulkov S. The SHIELD'21 deep seismic experiment. *Geofizicheskiy Zhurnal*. 2023. Т. 45, № 1. С. 3–10. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275126>
- Thybo H., Janik T., Omelchenko V.D., Grad M., Garetsky R.G., Belinsky A.A., Karatayev G.I., Zlotski G., Knudsen M.E., Sand R., Yliniemi J., Tiira T., Luosto U., Komminaho K., Giese R., Guterch A., Lund C.-E., Kharitonov O.M., Ilchenko T., Lysynchuk D.V., Skobelev V.M., Doody J.J. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE'97 profile. *Tectonophysics*. 2003. Vol. 371. P. 41–79. [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00200-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00200-2)
- Tolkunov A., Sydorenko G., Voitsytskiy Z., Starostenko V., Yegorova T., Stephenson R., Omelchenko V., Pobedash N., Polyvach N. Geological structure of the north-western terminus of the Eastern Black Sea Rift from new regional CDP profile DOBRE-2. *3rd International Symposium on the Geology of the Black Sea Region*. Abstr., Supplement to GEO-ECO-MARINA No. 17/2011, Bucharest, Romania, 2011. P. 187–189.

References

- Bogdanova S.V., Pashkevich I.K., Gorbatshev R., Orlyuk M.I. 1996. Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton: geology and geophysics. *Tectonophysics*, 268: 1–21.
- Burakhovich T.K., Nikolaev I.Yu., Sheremet E.M., Shirkov B.I. 2015. Geoelectrical anomalies of the Ukrainian shield and their connection with ore manifestations of useful minerals. *Geophysical Journal*, 37 (6): 42–63. <http://dx.doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i6.2015.111171> (in Russian).
- Essays on Geodynamics of Ukraine. (Eds. V.I. Starostenko, O.B. Gintov). Kyiv: VI EN EY, 2018 (in Russian).
- Geyko V.S. 2004. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Geophysical Journal*, 26 (2): 3–32.
- Geiko V.S., Shumlyanska L.A., Bugaenko I.V., Zaets L.N., Tsvetkova T.A. 2006. Three-dimensional model of the upper mantle of

- Ukraine by the time of arrival of Q-waves. *Geophysical Journal*, 28 (1): 3–16 (in Russian).
- Gintov O.B. 2019. Plate-plume tectonics as a single mechanism of geodynamic development of the tectonosphere of Ukraine and adjacent regions. *Geophysical Journal*, 41 (6): 3–34. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190064> (in Russian).
- Gintov O.B., Egorova T.P., Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V., Murovska A.V. 2014. Geodynamic features of the zone of articulation of the Eurasian plate and the Alpine-Himalayan belt within Ukraine and adjacent territories. *Geophysical Journal*, 36 (5): 26–63 (in Russian).
- Gintov O.B., Pashkevich I.K. 2010. Tectonophysical analysis and geodynamic interpretation of the three-dimensional geophysical model of the Ukrainian Shield. *Geophysical Journal*, 32 (2): 3–27 (in Russian).
- Gintov O.B., Tsvetkova T.O., Bugayenko I.V., Zayets L.M., Murovska G.V. 2022. Deep structure of the Trans-European Suture Zone (based on seismic and GSZ data) and some ideas about its development. *Geophysical Journal*, 44 (6): 63–87. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273640> (in Ukrainian).
- Grad M., Gryn' D., Guterch A., Janik T., Keller R., Lang R., Lyngsie S.B., Omelchenko V., Starostenko V.I., Stephenson R.A., Stovba S.M., Thybo H., Tolkunov A. 2003. "DOBRE fraction'99" – velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Foldbelt (East Ukraine). *Tectonophysics*, 371: 81–110. [http://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00211-7](http://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00211-7)
- Grad M., Janik T., Guterch A., Ceroda P., Czuba W. 2006. EURO-BRIDGE'94–97, POLONAISE'97 and CELEBRATION 2000 Seismic Working Groups – Lithospheric structure of the western part of the East European Craton investigated by deep seismic profiles. *Geol. Quart.*, 50 (1): 9–22. Warszawa.
- Janik T., Środa P., Czuba W., Lysynchuk D. 2016. Various Approaches to Forward and Inverse Wide-Angle Seismic Modelling Tested on Data from DOBRE-4 Experiment. *Acta Geophysica*, 64 (6): 1989–2019. DOI:10.1515/acgeo-2016-0084
- Janik T., Starostenko V., Aleksandrowski P., Yegorova T., Czuba W., Środa P., Murovska A., Zayats K., Mechie J., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Wójcik D., Omelchenko V., Legostaeva O., Głuszyński A., Tolkunov A., Amashukeli T., Gryn' D., Chulkov S. 2022. Lithospheric Structure of the East European Craton at the Transition from Sarmatia to Fennoscandia Interpreted from the TTZ-South Seismic Profile (SE Poland to Ukraine). *Minerals*, 12 (112): 1–124. <https://doi.org/10.3390/min12020112>
- Kutas R.I. 2018. Map of heat flux density in mW/m² of the territory of Ukraine: Essays on the geodynamics of Ukraine. (Eds. V.I. Starostenko, O.B. Gintov). Kyiv: VI EN EY (in Russian).
- Logvinov I.M., Tarasov V.N. 2019. Electrical conductivity of the crust and mantle of the East European Platform in the western part of Ukraine based on 2D inversion data. *Geophysical Journal*, 41 (1): 44–75. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158863> (in Russian).
- Makarenko I.B. 2021. Density heterogeneity of the Earth's crust of Ukraine and adjacent regions according to the data of three-dimensional gravity modelling. *Geophysical Journal*, 43 (2): 45–85. <http://doi.org/10.24028/gzh.v43i2.230190> (in Russian).
- Maystrenko Y., Stovba S., Stephenson R., Bayer U., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher C., Rabbel W., Saintot A., Starostenko V., Thybo H., Tolkunov A. 2003. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine. *Geology*, 31 (8): 733–736. <http://dx.doi.org/10.1130/g19329.1>
- Orlyuk M.I., Romenets A.A., Marchenko A.V., Orlyuk I.M., Ivashchenko I.N. 2015. Magnetic declination on the territory of Ukraine: results of observations and calculations. *Geophysical Journal*, 37 (2): 73–85 (in Russian).
- Sketches of geodynamics of Ukraine. (Eds. V.I. Starostenko, O.B. Gintov). 2018. Kyiv: VI EN EY (in Russian).
- Sollogub V.B. 1986. Lithosphere of Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Starostenko V.I., Grad M., Gryn D.N., Guterch A., Dannovsky A., Kolomiets E.V., Legostaeva O.V., Lisynchuk D.V., Omelchenko V.D., Stephenson R.A., Stratford V., Thibault G., Tolkunov A.P., Flue E., Chuba V., Shroda P., Shulgin A., Yanik T. 2008. Seismic studies of the lithosphere by DSS and CDP methods at the junction of the East European Platform and the Scythian Plate (DOBRE-2 Project). *Tenth Geophysical readings named after V.V. Fedynskiy: theses*. Moscow, p. 41 (in Russian).
- Starostenko V., Janik T., Kolomiyets K., Czuba W., Środa P., Grad M., Kovács I., Stephenson R., Lysynchuk D., Thybo H., Artemieva I.M., Omelchenko V., Gintov O., Kutas R., Gryn D., Guterch A., Hegedűs E., Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A. 2013a. Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 608: 1049–1072. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>
- Starostenko V., Janik T., Lysynchuk D., Środa P., Czuba W., Kolomiyets K., Aleksandrowski P., Gintov O., Omelchenko V., Komminaho K., Guterch A., Tiira T., Gryn D., Legostaeva O., Thybo H., Tolkunov A. 2013b. Mesozoic(?) lithosphere-scale buckling of the East European Craton in southern Ukraine: DOBRE-4 deep seismic profile. *Geophysical Journal International*, 195 (2): 740–766. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt292>
- Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Farfuliak L., Czuba W., Środa P., Lysynchuk D., Thybo H., Artemieva I., Sosson M., Volfman Y., Kolomiyets K., Omelchenko V., Gryn D., Guterch A., Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A. 2015. Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the northwestern Black Sea and the Crimean Peninsula. *Geophysical Journal International*, 201: 406–428. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv018>
- Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Czuba W., Środa P., Lysynchuk D., Aizberg R., Garetsky R., Karataev G., Gribik Y., Farfuliak L., Kolomiyets K., Omelchenko V., Komminaho K., Tiira T., Gryn D., Guterch A., Legostaeva O., Thybo H., Tolkunov A. 2018. Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-DnieperDonets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*, 212: 1932–1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>
- Starostenko V., Janik T., Mocanu V., Stephenson R., Yegorova T., Amashukeli T., Czuba W., Środa P., Murovska A., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Okoń J., Dragut A., Omelchenko V., Legostaeva O., Gryn D., Mechie J., Tolkunov A. 2020. RomUkrSeis: Seismic model of the crust and upper mantle across the Eastern Carpathians – From the Apuseni Mountains to the Ukrainian Shield. *Tectonophysics*, 794: 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.22862>
- Starostenko V., Janik T., Czuba W., Środa P., Murovska A., Yegorova T., Verpakhovska A., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Wójcik D., Omelchenko V., Amashukeli T., Legostaeva O., Gryn D., Chulkov S. 2023. The SHIELD'21 deep seismic experiment. *Geophysical Journal*, 45 (1): 3–10. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275126>
- Starostenko V.I., Legostaeva O.V., Makarenko I.B., Savchenko A.S. 2015. Complex of programmes for automated interpretation of potential field data (GMT-Auto). *Geophysical Journal*, 37 (1): 42–52 (in Russian).
- Tectonic map of Ukraine. Scale 1:1,000,000. (Editor-in-Chief D.S. Gursky, S.S. Kruglov). Kyiv, 2007 (in Ukrainian).
- Thybo H., Janik T., Omelchenko V.D., Grad M., Garetsky R.G., Belinsky A.A., Karatayev G.I., Zlotski K., Knudsen M.E., Sand R., Yliniemi J., Tiira T., Luosto U., Komminaho K., Giese R., Guterch A., Lund C.-E., Kharitonov O.M., Ilchenko T., Lysynchuk D.V., Skobelev V.M., Doody J.J. 2003. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE'97 profile. *Tectonophysics*, 371: 41–79. [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00200-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00200-2)
- Tolkunov A., Sydorenko G., Voitsytskyi Z., Starostenko V., Yegorova T., Stephenson R., Omelchenko V., Pobedash N., Polyvach N. 2011. Geological structure of the north-western terminus of the Eastern Black Sea Rift from new regional CDP profile DOBRE-2. *3rd International Symposium on the Geology of the Black Sea Region*. Abstr., Supplement to GEO-ECO-MARI-NA No.17/2011, Bucharest, Romania, p. 187–189.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.321001>

УДК 550.93

Молоді пізньопалеопротерозойські (1800–1700 млн років) віки монацитів та цирконів у породах Дністровсько- Бузького району Українського щита

E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua,
<https://orcid.org/0000-0001-5591-5169>;
lshumlyansky@yahoo.com,
<https://orcid.org/0000-0002-6775-4419>;
tetyana.dovbush1@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-3512-3313>;
vysotsky@nas.gov.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-3542-4685>;
ndbudzyn@cyf-kr.edu,
<https://orcid.org/0000-0002-1186-0888>;
slama@gli.cas.cz,
<https://orcid.org/0000-0002-1386-4196>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
L.M. Stepanyuk, stepaniuk@nas.gov.ua

Received / Надійшла до редакції:
17.01.2025

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
20.02.2025

Accepted / Прийнята:
10.03.2025

Keywords: U-Pb age, monazite,
enderbite, Dniester-Bouh region.

Ключові слова: U-Pb вік, монацит,
ендербіт, Дністровсько-Бузький район.

Л.М. Степанюк^{1*}, Л.В. Шумлянський¹⁻³, Бартош Будзін², Їржі Слама⁴, Т.І. Довбуш¹, О.Б. Висоцький¹

¹Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна;

²Інститут геологічних наук Польської академії наук, Краків, Польща; ³Університет Кьортіна, Перт, Австралія; ⁴Інститут геології Чеської академії наук, Прага, Чехія

The Young Late Palaeoproterozoic (1800–1700 MA) ages of monazite and zircon in rocks of the Dniester-Bouh region of the Ukrainian Shield

L.M. Stepanyuk^{1*}, L.V. Shumlyansky¹⁻³, Bartosz Budzyń², Jiří Sláma⁴, T.I. Dovbush¹, O.B. Vysotsky¹

¹M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ²Institute of Geological Sciences, the Polish Academy of Sciences, Research Centre in Krakow, Krakow, Poland; ³Curtin University, Perth, Australia; ⁴Institute of Geology, the Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic

The results of U-Pb isotope dating (TIMS and LA-ICP MS-method) of monazite from pyroxene-bearing granitoids of the Dniester-Bouh region of the Ukrainian Shield are discussed in the paper. The results of the TIMS dating of the multigrain fractions do not correspond to the Wetherill model. The dating of the individual grains by applying the LA-ICP-MS method yielded both ancient (over 2.0 Ga) and young (1.7–1.8 Ga) ages. The young dates may be caused by either the gradual cooling of rocks after high-grade metamorphism, or, more likely, by the reheating caused by the formation of a large igneous province at 1.80–1.75 Ga, represented by numerous mafic dyke swarms, two gabbro-anorthosite-rapakivi granite massifs in the Volyn and Inhul regions of the Ukrainian Shield (Korosten and Korsun-Novomyrhorod, respectively) and ultramafic, alkaline and felsic rocks in the Azov region. Tectono-magmatic activation, in addition to reheating, was accompanied by the penetration of fluids in zones of tectonic deformations. This could have caused the rejuvenation of the age of monazite and zircon crystals. The irregularity of the fluid penetration can explain the presence of both old and young monazite and zircon crystals in a single sample, and the absence of young crystals of these minerals in rocks collected in other parts of the Ukrainian Shield. It is possible that both factors had a combined effect.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Цитування: Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Будзін Бартош, Слама Їржі, Довбуш Т.І., Висоцький О.Б. Молоді пізньопалеопротерозойські (1800–1700 млн років) віки монацитів та цирконів у породах Дністровсько-Бузького району Українського щита. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 12–24. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.321001>

Citation: Stepanyuk L.M., Shumlyansky L.V., Budzyń Bartosz, Sláma Jiří, Dovbush T.I., Vysotsky O.B. 2025. The Young Late Paleoproterozoic (1800–1700 MA) ages of monazite and zircon in rocks of the Dniester-Bouh region of the Ukrainian Shield. *Geologičnij žurnal*, 1 (390): 12–24. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.321001>

Вступ

Монацит разом із цирконом належить до мінералів-геохронометрів, які несуть інформацію про найбільш високотемпературні етапи розвитку магматичних і метаморфічних порід. Згідно із даними (Cherniak et al., 2004), температура закриття U-Pb ізотопної системи в монацитах перебільшує 900 °C, що вище температури магматичної кристалізації гранітоїдів або ж температури метаморфізму, яка може досягатися в звичайних корових умовах. Отже, вік монациту має відображати найбільш високотемпературний етап еволюції кислих магматичних та метаморфічних порід і має наближатися до віку циркону. Монацит також значною мірою, ніж циркон, може зазнавати змін під час флюїдного впливу (Broska, Siman, 1998; Seydoux-Guillaume et al., 2012), що робить його чутливим індикатором метасоматичних процесів.

Деякі з дослідників (Spear, Pyle, 2002; Williams et al. 2007; Taylor et al., 2016; Grand'Homme et al., 2016) вказують на те, що за тривалого перебування гірської породи в умовах гранулітової фації метаморфізму можлива кристалізація декількох генерацій монациту та/або перекристалізація за механізмом розчинення-перевідкладення, які будуть відображати різні події. Також не виключеною є часткова (або й повна) втрата радіогенного свинцю, як це нерідко спостерігається в цирконі, незважаючи на високу температуру закриття ізотопної системи. Зокрема, циркони із високометаморфізованих породних асоціацій Середнього Побужжя характеризуються значним діапазоном віків кристалізації, який може опускатися до близько 1800 млн років. Окрім того, в результаті датування мультизернових наважок монациту із ендербіту, розкритого кар'єром Козачий Яр, отримано числові значення віку за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, які варіюють від 1894 до 1794 млн років (Степанюк, 2024).

Нами було досліджено монацити з гранітоїдів Побужжя з метою визначення часу їх формування. В ході дослідження було виявлено, що монацити з цих порід характеризуються широкими варіаціями позірних віків кристалізації. Обговоренню причин цих варіацій і присвячена дана стаття.

Об'єкти і методи дослідження

З метою визначення часу формування гранітоїдів Побужжя уран-свинцевим ізотопним методом (TIMS) були датовані мультизернові наважки кристалів монациту із ендербіту (проба ВП-10-1), розкритого Сабарівським кар'єром, та із біотит-гранатового гнейсу (віннициту, за (Касьяненко, 2016)) (проба Л-6), поширеного у південному борту Літинського кар'єру. В зв'язку з тим, що отримані результати уран-свинцевого ізотопного датування не піддавалися інтерпретації в рамках моделі Аренса-Везеріла, кристали монациту із зазначених вище проб додатково датували методом LA-ICP-MS. Цим же методом були датовані кристали монациту із антипертитового ендербіту (проба ВП-1), розкритого Тиврівським кар'єром (рис. 1).

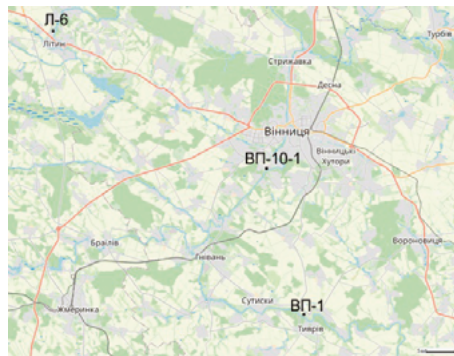


Рис. 1. Супутникова карта району м. Вінниця (Верхнє Побужжя) з місцями відбору радіогеохронологічних проб

Fig. 1. Satellite map of the district of Vinnytsia (Upper Pobuzhzhia) with locations of radiogeochronological sampling

Методом TIMS мультизернові наважки монацитів датували у відділі радіогеохронології Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) ім. М.П. Семененка НАН України. Для ізотопного датування вручну під бінокляром були відібрані мультизернові наважки кристалів монациту, які після того скочуванням по нахилений площині були розділені за розміром. Методика хімічної підготовки, за якою готувалися зразки монацитів для мас-спектрометричного аналізу, описана в роботах (Геохронологическая..., 1989; Krough, 1973). Для визначення вмісту урану і свинцю використали змішаний $^{235}\text{U}+^{206}\text{Pb}$ трасер.

Ізотопні дослідження свинцю та урану виконані на 8-колекторному мас-спектрометрі MI-1201 AT у мультиколекторному статичному режимі; математична обробка експериментальних даних – за програмами PbDat і ISOPLOT (Ludwig, 1989, 1990).

Похибки визначення віку наведені при 2σ . Для контролю метрологічних характеристик методу використали стандарт циркону ІГМР-1 (Бартицкий и др., 1995).

Для датування методом LA-ICP-MS зерна монациту були вмонтовані в епоксидну смолу. Поліровані зерна були попередньо досліджені за допомогою електронного мікрозонда SuperProbe JXA-8230, оснащеного п'ятьма спектрометрами дисперсії довжин хвиль у Лабораторії критичних елементів AGH-KGHM Краківського університету AGH (Краків, Польща). Вимірювання ізотопів U-Th-Pb у монациті проводили за допомогою інструмента ICP-MS Thermo Scientific Element 2, поєднаного з ексімерним лазером ArF 193 нм (лазер Teledyne Cetac Analyte Excite) в Інституті геології Чеської академії наук. Аналітична процедура відповідає процедурі, описаній у роботі (Budzyń et al., 2022). Лазер працював з частотою 5 Гц, інтенсивністю потоку світла $1,7 \text{ Дж/см}^2$ і розміром аналітичної плями 13 мкм.

Геологічна ситуація

Дністровсько-Бузький район (мегаблок, за (Щербак и др., 2005, 2008; Щербаков, 2005)) є складовою частиною Українського щита (УЩ). Він належить до типових грануліто-гнейсових областей і складений переважно архейськими породами (Гранулитовая..., 1985; Метаморфизм..., 1982; Курепин, 1991; Кривдік та ін., 2011). Основним породним фоном є чарнокітиди (ендербіти, чарнокіти), бердичівські і побузькі граніти та мігматити палеопротерозойського (переважно 2,1 млрд років) віку (Щербак и др., 2008), серед яких у вигляді залишків трапляються метаморфізовані в умовах гранулітової фації гнейси і кристалічні сланці основного складу з підпорядкованими прошарками кальцифірів, залізистих і безрудних кварцитів, виокремлені в дністровсько-бузьку та бузьку серії (Стратиграфические..., 1985). На Верхньому Побужжі, який є районом поширення ендербітів і результати дослідження яких є предметом даної роботи, ендербіти складають ряд куполоподібних структур (Рябенко, 1970).

Результати та їхнє обговорення

Ендербіт (проба ВП-10-1) складає в Сабарівському кар'єрі пластоподібне тіло потужністю близько 2 м, що з одного краю контактує з карбонатними породами (пачка, близько 10 м, представлена

мармурами і кальцифірами), з іншого – з так званими вінницитами (гіперстен-гранатовими лейкогранітами). Детальний опис ендербіту наведено в роботі (Степанюк, 2024), тому обмежимося скороченою характеристикою цієї породи.

Ендербіт – зеленкувато-сіра порода. Мікροструктура рівномірно-, дрібно-середньозерниста, з середнім розміром зерен 0,8–2,0 мм, окремі зерна плагіоклазу сягають 4 мм, гіпідіоморфнозерниста. Дрібніші зерна кварцу часто знаходяться в інтерстиціях крупніших кристалів плагіоклазу. Слабо проявляються елементи катакlastичної структури у вигляді хвилястого, зрідка хвилясто-блочного погасання зерен маси та тектонобластичної структури – у вигляді слабкої грануляції на границях зерен.

Мінеральний склад (% об.): плагіоклаз – 65–70, кварц – 20–25, гіперстен – 3–5, біотит – 2–4, калієвий польовий шпат – близько 4. Акцесорні мінерали – циркон, апатит, монацит.

Кристали монациту світло-жовті, прозорі, пампушкоподібні, їх контури заокруглені. Поверхня більшості зерен рівна блискуча, трапляються окремі грані і ребра. Відмічається зростання з польовими шпатами і кварцом. Після обробки монациту слабким розчином соляної кислоти лише незначна частина зерен покрилася тонкими білими кірочками.

Вік ендербіту визначали U-Pb ізотопним методом за мультізерновими наважками розмірних фракцій світло-жовтих прозорих пампушкоподібних кристалів монациту. Аналітичні дані наведено в табл. 1 (аналізи 1–4). Через значні розходження в числових значеннях віку, розрахованих за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (понад 25 млн років), які значущо перевищують аналітичну похибку, із фракцій 1–4 ще раз відібрали мультізернові наважки 1а–4а і визначили в них вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю (див. табл. 1, 1а–4а).

За верхнім і нижнім перетинами дискордії, розрахованої за наведеними в табл. 1 даними (аналізи 1–4), отримано вік (2023 ± 42) та (747 ± 673) млн років, відповідно. Середньозважене значення віку за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ становить (2004 ± 28) млн років. Значення віку, отримане за верхнім і нижнім перетинами дискордії, розрахованої за всіма даними табл. 1, становить (2258 ± 1726) та (1895 ± 792) млн років, відповідно. Середньозважене значення віку за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ – (2000 ± 11) млн років (рис. 2).

Таблиця 1. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із ендербіту, проба ВП-10-1, Сабарівський кар’єр (Степанюк, 2024)

Table 1. Concentrations of Th and U, and isotope composition of Pb in monazite from enderbite, sample VP-10-1, Sabariv open pit (Stepanyuk, 2024)

Mineral fraction	Concentration, ppm		Isotope ratios					Isotope age, Ma			D, %
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	
1	1465	7532	6135	7,9504	0,065449	0,35999	6,1418	1982	1996	2010,8	-1,4
2	1180	5157	6530	8,0438	0,073651	0,34137	5,7613	1893	1941	1991,6	-4,9
3	865	3633	5155	7,9026	0,081400	0,35962	6,1529	1980	1998	2015,8	-1,8
4	907	3840	5875	7,9879	0,079434	0,35442	6,0131	1956	1978	2000,9	-2,3
1a	1234	5057	11280	8,1274	0,083363	0,35935	6,0439	1979	1982	1985,4	-0,3
2a	1090	4385	18020	8,1057	0,084104	0,35577	6,0215	1962	1979	1996,6	-1,7
3a	1270	5214	4085	7,9859	0,082939	0,35724	6,0135	1969	1978	1987,0	-0,9
4a	1157	4948	15670	8,1520	0,078407	0,35442	5,9590	1956	1970	1984,8	-1,5

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2000 млн років: 1–4 – розмірні фракції світло-жовтих прозорих пампушкоподібних кристалів; 1a–4a – ті ж самі розмірні фракції, повторний аналіз. Pb_f – свинець радіогенний. D – дискордантність.

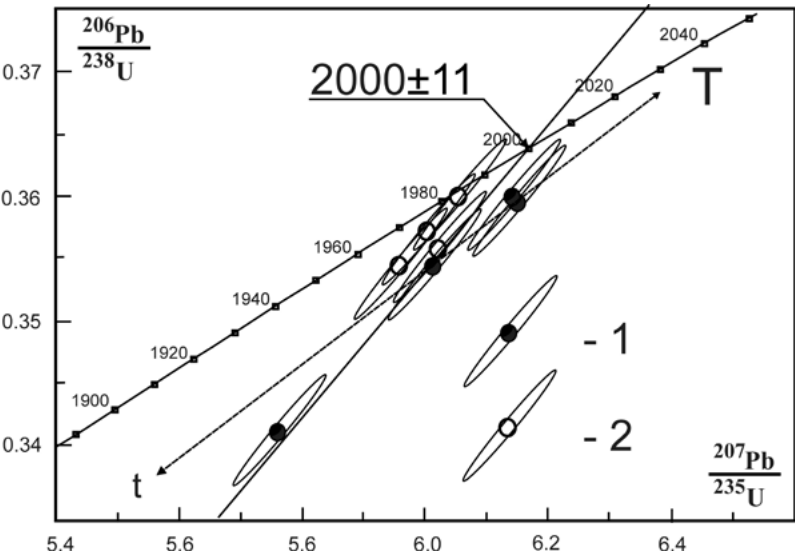


Рис. 2. U-Pb діаграма з конкордією для мультизернових наважок монациту із ендербіту, проба ВП-10-1, Сабарівський кар’єр: 1 – фігуративні точки аналізів 1–4 (див. табл. 1); 2 – аналізів 1a–4a. T – вік, розрахований за верхнім перетином дискордії (пунктирна лінія) з конкордією ((2258 ± 1726) млн років); t – за нижнім перетином ((1895 ± 792) млн років). Суцільна лінія – лінія регресії, розрахована за умови, що вона виходить з початку координат

Fig. 2. U-Pb isotope plot with concordia for multigrain fractions of monazite from enderbite, sample VP-10-1, Sabariv open pit: 1 – analytical spots 1–4 (see Table 1); 2 – analytical spots 1a–4a. T – upper intercept age (dashed line, (2258 ± 1726) Ma)), t – lower intercept age ((1895 ± 792) Ma). The solid line is a regression line anchored to the lower intercept at 0 Ma

Отже, чотири додаткові аналізи не дозволили суттєво уточнити вік монациту. Значні розходження в числових значеннях віку як за відношенням $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, так і за відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, які значущо перевищують аналітичну похибку, найімовірніше, враховуючи, що монацити представлені переважно однорідними кристалами, зумовлені досить тривалим (понад 30 млн років) часом протікання структурно-метаморфічного перетворення суперкрустальних порід та формування ендербіту. Тому для з’ясування часу кристалізації монациту використали метод LA-ICP-MS; аналітичні результати наведено в табл. 2 та на рис. 3.

Як видно з табл. 2, вік за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ варіює від (1727 ± 21) до (2076 ± 18) млн років при майже конкордантних значеннях віку. На діаграмі з конкордією (рис. 3, а) фігуративні точки свинець-уранових відношень формують поле, яке можна розбити на три ділянки. Перша ділянка характеризує найдавніші кристали монациту віком (2053 ± 14) млн років (рис. 3, б). Дещо молодшими виявилися кристали монациту другої групи – $(1951,7 \pm 7,9)$ млн років (рис. 3, с). Для двох кристалів із 35 проаналізованих отримано дещо молодші значення $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ віку: (1727 ± 21) млн років за дискордантності 1,9 % та (1730 ± 19) млн років за дискордантності 3,5 % (див. табл. 2, аналізи 1 та 3, відповідно).

Таблиця 2. Результати U-Th-Pb датування кристалів монациту із ендербіту, проба ВП-10-1, методом SIMS
Table 2. Results of U-Th-Pb dating of monazite crystals from enderbite, sample VP-10-1, by the LA-ICP-MS method

#	Spot	Isotope ratios										Isotope ages, Ma					Concentrations, ppm						
		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	ρ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	disc	Pb	Th	U	
1		4.3950	0.0740	0.3009	0.0029	0.56	0.0832	0.0008	0.0008	0.1060	0.0012	1708	14	1695	14	1616	14	1727	21	1.9	1033	86600	163
2		5.8390	0.0790	0.3530	0.0030	0.57	0.0979	0.0008	0.0008	0.1202	0.0011	1952	12	1948	14	1888	15	1954	16	0.3	619	43700	383
3		5.2920	0.0770	0.3309	0.0025	0.51	0.0900	0.0008	0.0008	0.1159	0.0011	1866	12	1842	12	1742	14	1888	17	2.4	831	64100	241
4		4.3350	0.0650	0.2958	0.0021	0.47	0.0827	0.0007	0.0007	0.1063	0.0011	1698	12	1670	11	1606	13	1730	19	3.5	773	65000	220
5		6.4040	0.0890	0.3743	0.0028	0.48	0.1014	0.0009	0.0009	0.1238	0.0011	2031	12	2049	13	1951	16	2007	16	-2.1	983	66260	322
6		5.8330	0.0800	0.3522	0.0029	0.60	0.0967	0.0008	0.0008	0.1200	0.0010	1950	12	1944	14	1865	15	1952	15	0.4	1355	96600	290
7		6.3690	0.0930	0.3663	0.0033	0.70	0.1028	0.0009	0.0009	0.1262	0.0011	2026	13	2011	16	1977	16	2041	15	1.5	947	64000	555
8		6.3950	0.0920	0.3719	0.0035	0.65	0.1019	0.0009	0.0009	0.1247	0.0011	2029	13	2037	16	1961	16	2020	16	-0.8	1106	75600	392
9		6.3980	0.0950	0.3751	0.0035	0.61	0.1031	0.0009	0.0009	0.1235	0.0012	2030	13	2052	16	1983	16	2002	17	-2.5	2374	158100	417
10		6.4830	0.0950	0.3742	0.0036	0.64	0.1024	0.0009	0.0009	0.1255	0.0012	2043	13	2048	17	1969	17	2033	17	-0.7	1899	128700	444
11		6.7050	0.0990	0.3819	0.0034	0.62	0.1041	0.0010	0.0010	0.1271	0.0012	2073	13	2084	16	2001	17	2054	16	-1.5	2492	166200	437
12		6.5390	0.1000	0.3735	0.0039	0.56	0.1019	0.0010	0.0010	0.1270	0.0015	2049	14	2044	18	1961	18	2048	20	0.2	1354	92300	165
13		6.3730	0.0960	0.3689	0.0036	0.52	0.0978	0.0010	0.0010	0.1255	0.0014	2026	13	2023	17	1886	17	2028	19	0.2	1580	111300	163
14		5.8890	0.0850	0.3567	0.0036	0.61	0.0983	0.0009	0.0009	0.1197	0.0012	1959	13	1965	17	1895	16	1945	17	-1.0	2565	181400	506
15		6.3970	0.1100	0.3648	0.0049	0.76	0.1018	0.0011	0.0011	0.1274	0.0013	2028	15	2002	23	1959	20	2057	18	2.7	1069	72600	783
16		6.2170	0.1000	0.3613	0.0044	0.62	0.1005	0.0011	0.0011	0.1248	0.0014	2005	15	1987	21	1935	20	2019	20	1.6	987	66500	305
17		6.4770	0.1100	0.3692	0.0045	0.62	0.1027	0.0011	0.0011	0.1272	0.0014	2041	15	2024	21	1976	20	2053	19	1.4	1224	82900	724
18		6.6340	0.1000	0.3782	0.0043	0.73	0.1025	0.0010	0.0010	0.1276	0.0012	2062	14	2066	20	1971	18	2062	16	-0.2	839	56800	432
19		6.4740	0.1000	0.3693	0.0043	0.62	0.1012	0.0009	0.0009	0.1271	0.0014	2040	14	2024	20	1949	17	2053	20	1.4	1283	88000	222
20		6.5480	0.1000	0.3718	0.0039	0.59	0.1016	0.0010	0.0010	0.1278	0.0014	2049	14	2038	19	1955	19	2061	19	1.1	1289	88100	208
21		6.7050	0.1100	0.3821	0.0048	0.74	0.1027	0.0010	0.0010	0.1275	0.0012	2073	14	2084	22	1975	18	2060	17	-1.2	1119	75400	502
22		6.6230	0.1000	0.3788	0.0043	0.63	0.1028	0.0010	0.0010	0.1272	0.0013	2059	14	2068	20	1977	19	2053	18	-0.7	1397	94500	322
23		5.6940	0.0930	0.3433	0.0042	0.74	0.0960	0.0009	0.0009	0.1203	0.0012	1927	14	1900	20	1852	17	1954	18	2.8	1208	87300	774
24		6.3760	0.1000	0.3671	0.0044	0.67	0.1005	0.0010	0.0010	0.1259	0.0013	2026	14	2015	21	1936	19	2036	18	1.0	1536	105900	556
25		6.4410	0.0990	0.3655	0.0040	0.74	0.1029	0.0011	0.0011	0.1281	0.0012	2036	14	2006	19	1978	20	2067	16	3.0	1458	98300	765
26		6.7010	0.1100	0.3794	0.0045	0.69	0.1040	0.0010	0.0010	0.1277	0.0013	2070	14	2071	21	1999	18	2060	17	-0.5	2048	136900	403
27		6.3940	0.1100	0.3662	0.0045	0.71	0.1021	0.0010	0.0010	0.1265	0.0013	2027	15	2009	21	1964	19	2042	18	1.6	1032	70100	606
28		5.7520	0.0960	0.3505	0.0045	0.66	0.0954	0.0010	0.0010	0.1192	0.0014	1937	15	1935	21	1841	18	1938	21	0.2	1231	88100	410
29		6.2290	0.1000	0.3635	0.0040	0.72	0.1002	0.0010	0.0010	0.1240	0.0012	2005	14	1997	19	1929	19	2008	17	0.5	926	64100	685
30		6.3350	0.0990	0.3674	0.0038	0.68	0.1010	0.0010	0.0010	0.1251	0.0012	2021	14	2015	18	1945	18	2025	17	0.5	970	66500	667
31		5.5830	0.1100	0.3316	0.0044	0.63	0.0902	0.0012	0.0012	0.1223	0.0016	1913	16	1845	21	1748	23	1983	24	7.0	979	76400	336
32		6.4250	0.0990	0.3703	0.0041	0.70	0.1027	0.0011	0.0011	0.1262	0.0012	2034	14	2031	20	1977	19	2043	16	0.6	982	66200	676
33		6.2680	0.0960	0.3642	0.0040	0.65	0.1012	0.0010	0.0010	0.1252	0.0013	2011	13	2000	19	1947	19	2024	18	1.2	1054	72600	438
34		6.5920	0.1000	0.3771	0.0046	0.71	0.1039	0.0011	0.0011	0.1270	0.0012	2057	14	2060	22	1997	21	2050	17	-0.5	1074	72100	602
35		6.6560	0.1100	0.3769	0.0045	0.67	0.1035	0.0010	0.0010	0.1288	0.0013	2064	14	2060	21	1990	19	2076	18	0.8	1007	67400	618

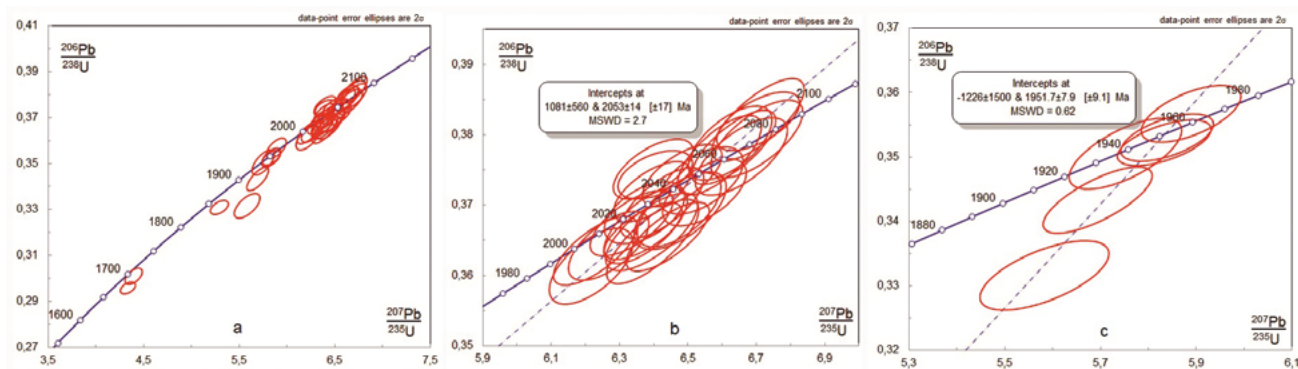


Рис. 3. U-Pb діаграми з конкордією для кристалів монациту із ендербіту, проба ВП-10-1, Сабарівський кар'єр, за даними LA-ICP-MS
Fig. 3. U-Pb isotope plots for monazite crystals from enderbite, sample VP-10-1, Sabariv open pit, according to the LA-ICP-MS data

Вінницит (проба Л-6) розвинутий в північній частині Літинського кар'єру у вигляді розвалів крупних брил, що утворилися після підриву. У вигляді розрізнених фрагментів, вірогідно пластовидного тіла, вінніцити також поширені у поодиноких відслоненнях на південь від кар'єру. Макроскопічно це масивна середньо-крупнозерниста порода, на окремих ділянках дещо катаклазована.

Мінеральний склад (% об.): плагіоклаз – 25–30, кварц – 15–25, КПШ – до 15, гранат – 15–20, в окремих скупченнях до – 30, гіперстен – 5–15, біотит – до 5. Акцесорні мінерали представлені апатитом, цирконом і монацитом, серед рудних переважає пірит.

За даними (Касьяненко, 2016), характерною особливістю цього вінніциту є гранат, склад якого відповідає альмандину (66–70 %) з вміс-

том піропового міналу 24–27 % і grosularового міналу 1–3 %, тоді як частка андрадитового складає 0,2–3 %, а спесартинового не досягає 1 % (0,1–0,7 %). Залізистість гранату сягає 71–73 %. Часто гранат заміщує гіперстен. Хімічний склад плагіоклазів відповідає альбіту An_8 та олігоклазу An_{16-25} .

Монацит представлений відносно дрібними (менше 50 μm) переважно пампушкоподібними світло-жовтими прозорими кристалами із сильно заокругленими контурами. В меншій кількості присутні ізометричні зерна, кількість яких дещо зростає у дрібніших фракціях.

Вік монациту визначали методом TIMS за мультизерновими наважками розмірних фракцій монациту, які отримали скочуванням кристалів по нахиленій площині. Результати аналітичних досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із вінніциту, проба Л-6, Літинський кар'єр

Table 3. Concentrations of Th and U, and isotope composition of Pb in monazite from vinnytsyte (hypersthene-garnet leucogranite), sample L-6, Lityn open pit

Mineral fraction	Concentration, ppm		Isotope ratios					Isotope age, Ma				D, %	$\frac{206}{238}Pb$ %err	$\frac{207}{235}Pb$ %err	Rho 6/8–7/5
	U	Pb	$\frac{206}{204}Pb$	$\frac{206}{207}Pb$	$\frac{206}{208}Pb$	$\frac{206}{238}U$	$\frac{207}{235}U$	$\frac{206}{238}Pb$	$\frac{207}{235}Pb$	$\frac{207}{206}Pb$	σ				
1	1987	4593	4960	7,9707	0,15965	0,35939	6,0901	1979	1989	1998,8	±4,0	1,0	1,1	1,13	0,97992
2	1749	3637	1596	7,6482	0,18099	0,35664	6,0258	1966	1980	1993,6	±3,7	1,4	1,1	1,13	0,98263
3	1863	4234	8000	8,0736	0,16104	0,35646	6,0119	1965	1978	1990,3	±1,3	1,3	1,1	1,1	0,99767
4	1846	4663	4920	7,9033	0,14551	0,36283	6,2011	1996	2005	2013,9	±1,4	0,9	1,1	1,1	0,99744

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2000 млрд років: 1–4 – мультизернові наважки розмірних фракцій монациту.

Таблиця 4. Результати датування кристалів монациту із вінніциту, проба Л-6, методом SIMS
Table 4. Results of dating of monazite crystals from vinnitsite, sample L-6, by the LA-ICP-MS method

#	Isotope ratios										Isotope ages, Ma					Concentrations, ppm					
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	ρ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	disc	Pb	Th	U		
Spot																					
1	5.7730	0.0820	0.3501	0.0034	0.58	0.0964	0.0009	0.1195	0.0012	1940	12	1935	16	1860	17	1943	17	0.4	172	12380	537
2	4.8830	0.0760	0.3189	0.0036	0.66	0.0873	0.0010	0.1105	0.0012	1799	13	1784	18	1691	18	1802	20	1.0	230	17870	543
3	3.7000	0.0720	0.2739	0.0036	0.45	0.0776	0.0013	0.0979	0.0016	1567	16	1559	18	1510	25	1570	30	0.7	5	437	149
4	6.7270	0.1100	0.3781	0.0047	0.68	0.1056	0.0011	0.1290	0.0013	2073	14	2066	22	2029	21	2078	18	0.6	1809	116700	949
5	6.8670	0.1200	0.3899	0.0045	0.52	0.1089	0.0012	0.1278	0.0017	2094	16	2121	21	2089	23	2060	23	-3.0	1963	122300	215
6	6.7900	0.1000	0.3872	0.0037	0.61	0.1045	0.0011	0.1271	0.0013	2083	13	2108	17	2009	20	2055	18	-2.6	2089	140000	415
7	6.8100	0.1000	0.3840	0.0036	0.54	0.1042	0.0011	0.1284	0.0014	2084	13	2097	17	2003	21	2073	19	-1.2	1738	115800	490
8	6.6650	0.1100	0.3813	0.0045	0.55	0.1057	0.0011	0.1271	0.0014	2065	14	2082	21	2030	20	2051	20	-1.5	1759	115600	1217
9	6.6400	0.1100	0.3757	0.0046	0.65	0.1043	0.0012	0.1276	0.0014	2061	15	2054	22	2005	22	2066	19	0.6	769	51400	846
10	6.4400	0.1300	0.3711	0.0078	0.52	0.1035	0.0013	0.1272	0.0024	2036	17	2035	38	1989	25	2055	31	1.0	2476	169600	1388
11	6.2350	0.1000	0.3657	0.0042	0.59	0.1005	0.0011	0.1237	0.0014	2007	14	2007	20	1935	20	2001	21	-0.3	63	4300	538
12	4.4290	0.0710	0.3046	0.0036	0.54	0.0840	0.0012	0.1055	0.0013	1716	13	1712	18	1631	22	1713	22	0.1	7	592	262
13	6.8780	0.1100	0.3878	0.0040	0.52	0.1056	0.0012	0.1288	0.0015	2096	14	2111	19	2028	22	2075	20	-1.7	3044	196100	400
14	6.8900	0.1100	0.3917	0.0049	0.48	0.1079	0.0012	0.1284	0.0016	2095	14	2132	23	2071	21	2064	22	-3.3	2790	180300	371
15	6.9080	0.1100	0.3914	0.0041	0.48	0.1041	0.0011	0.1281	0.0014	2097	14	2127	19	2000	21	2069	20	-2.8	1647	109700	388
16	4.4280	0.0790	0.3040	0.0042	0.66	0.0859	0.0011	0.1056	0.0014	1716	15	1709	21	1665	20	1715	24	0.3	22	1803	367
17	6.2390	0.1100	0.3684	0.0060	0.57	0.1024	0.0013	0.1235	0.0018	2007	16	2021	28	1973	25	1993	26	-1.4	2145	145900	959
18	5.7160	0.1000	0.3409	0.0055	0.64	0.0979	0.0011	0.1223	0.0016	1931	15	1888	26	1887	21	1981	23	4.7	1570	111500	1009
19	5.3170	0.0960	0.3370	0.0048	0.50	0.0947	0.0013	0.1149	0.0017	1867	15	1869	23	1829	24	1867	28	-0.1	221	16300	290
20	6.4820	0.1200	0.3974	0.0071	0.52	0.1047	0.0015	0.1189	0.0020	2040	17	2156	33	2014	28	1927	31	-11.9	921	61100	2373
21	6.9700	0.1300	0.3954	0.0066	0.63	0.1048	0.0013	0.1278	0.0018	2103	17	2144	31	2016	24	2058	26	-4.2	1327	87400	733
22	4.8780	0.1000	0.3214	0.0049	0.47	0.0920	0.0017	0.1100	0.0019	1794	18	1794	24	1777	32	1792	32	-0.1	7	510	116
23	5.3400	0.0950	0.3396	0.0045	0.42	0.0908	0.0012	0.1141	0.0018	1872	15	1882	22	1756	23	1851	28	-1.7	16	1218	190
24	6.0600	0.1300	0.3620	0.0066	0.46	0.1016	0.0018	0.1214	0.0020	1975	19	1987	31	1957	34	1964	30	-1.2	12	851	223
25	5.0340	0.1000	0.3295	0.0049	0.55	0.0893	0.0014	0.1107	0.0017	1821	17	1834	24	1729	26	1802	29	-1.8	30	2310	337
26	4.0070	0.0850	0.2879	0.0045	0.37	0.0830	0.0016	0.1014	0.0020	1631	17	1629	22	1612	30	1633	37	0.2	5	429	102
27	3.8680	0.0730	0.2837	0.0040	0.40	0.0806	0.0013	0.0993	0.0017	1605	15	1608	20	1566	24	1596	31	-0.8	11	903	120
28	6.0300	0.1300	0.3571	0.0076	0.60	0.1033	0.0017	0.1228	0.0022	1975	19	1962	36	1985	31	1983	31	1.1	116	7710	780
29	3.8490	0.0860	0.2820	0.0053	0.59	0.0811	0.0013	0.1001	0.0017	1598	18	1598	26	1576	25	1606	32	0.5	26	2226	359
30	6.5200	0.1500	0.3837	0.0086	0.55	0.1092	0.0020	0.1246	0.0026	2042	21	2090	40	2096	36	2010	37	-4.0	130	8260	567
31	6.3500	0.1400	0.3738	0.0080	0.61	0.1043	0.0017	0.1244	0.0023	2019	20	2040	37	2003	31	2009	32	-1.5	100	6610	545
32	6.3000	0.1300	0.3735	0.0076	0.53	0.1060	0.0016	0.1234	0.0022	2016	18	2039	35	2034	30	1997	32	-2.1	73	4804	752
33	7.0600	0.1400	0.4003	0.0073	0.63	0.1098	0.0017	0.1283	0.0020	2117	18	2164	34	2105	31	2068	29	-4.6	1539	97200	342
34	7.0300	0.1500	0.3970	0.0071	0.66	0.1059	0.0017	0.1290	0.0021	2108	19	2149	33	2033	30	2080	29	-3.3	2169	144900	323
35	7.0700	0.1400	0.3977	0.0071	0.60	0.1071	0.0017	0.1300	0.0020	2114	18	2153	32	2054	30	2091	27	-3.0	1578	102400	392

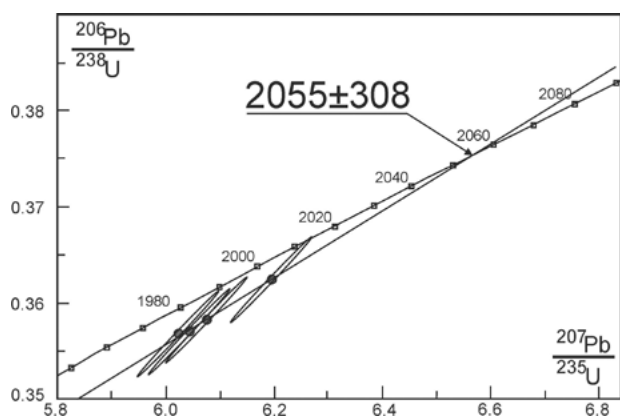


Рис. 4. U-Pb діаграма з конкордією для мультізернових наважок монациту із віннициту, проба Л-6, Літинський кар'єр

Fig. 4. U-Pb isotope plot for multigrain fractions of monazite from vinnytsyte, sample L-6, Lityn open pit

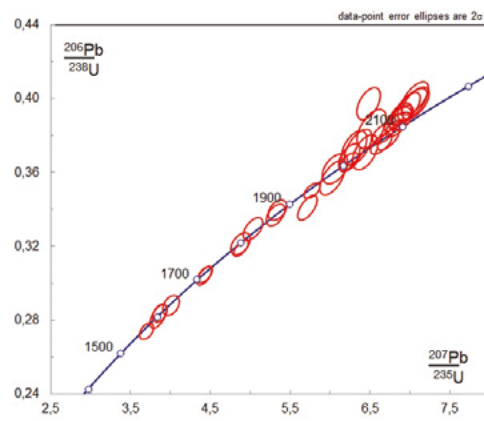


Рис. 5. U-Pb діаграми з конкордією для кристалів монациту із віннициту, проба Л-6, Літинський кар'єр, за даними LA-ICP-MS

Fig. 5. U-Pb isotope plot for monazite from vinnytsyte, sample L-6, Lityn open pit, according to LA-ICP-MS data

Незважаючи на досить високу лінійність у розміщенні фігуративних точок свинець-уранових ізотопних відношень на уран-свинцевій діаграмі з конкордією (рис. 4), СКЗВ = 0,11. Отримано значення віку (2055 ± 308) млн років за верхнім перетином та (1604 ± 533) млн років за нижнім. Ураховуючи велику невизначеність (великі похибки), ми виконали позернове датування монациту за допомогою LA-ICP-MS. Результати аналітичних досліджень наведено в табл. 4 та на рис. 5.

Аналіз даних, поданих у табл. 4, дозволяє припустити, що монацити віннициту зазнали багатоетапного порушення уран-свинцевої ізотопної системи або, що менш вірогідно, кристалізувалися впродовж декількох етапів ендегенної активності. В результаті позернового датування було отримано майже безперервну серію конкордантних і субконкордантних ізотопних дат (див. рис. 5), цифрові значення яких за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ лежать в межах від (2097 ± 27) до (1570 ± 30) млн років (див. табл. 4). При цьому дати трьох із 35 проаналізованих кристалів мають відносно молодий вік: аналіз 2 – (1802 ± 20) млн років, дискордантність – 1,0 %; аналіз 22 – ($1792 \pm$

32) млн років, дискордантність – 0,1 %; аналіз 25 – (1802 ± 29) млн років, дискордантність – 1,8 %. Дати ще шести кристалів (аналізи 3, 12, 16, 26, 27 і 29) є ще молодшими і лежать в інтервалі від (1715 ± 24) до (1570 ± 30) млн років (див. табл. 4).

Антипертитовий ендербіт (проба ВП-1) розкритий Тиврівським кар'єром. Основний породний фон у кар'єрі складають зеленувато-сірі середньозернисті антипертитові ендербіти (типу ВП-1), які подекуди січуться тонкими розгалуженими жилами крупнозернистих пегматоїдних ендербітів. У вигляді кутастих тіл різних розмірів (від перших сантиметрів до декількох метрів) серед ендербітів спостерігаються кристалічні сланці.

Ендербіт – зеленувато-сіра середньозерниста порода з масивною текстурою. Мікроструктура гетеробластова дрібно-середньозерниста, гранобластова, рекристалізаційна з елементами катакластичної. Катаклаз проявляється в наявності тонких смужок з тонко- і мікрозернистим подрібненням мінералів на контактах зерен і рідше всередині них та у хвилястому згасанні кварцу. Хімічний склад двох проб антипертитових ендербітів, відібраних у Тиврівському кар'єрі, наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Хімічний склад антипертитових ендербітів, розкритих Тиврівським кар'єром

Table 5. Chemical composition of antiperthite enderbite, Tyvriv open pit

Sample	Oxides (%)														Total
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	H ₂ O	LOI	
1	72,22	0,06	15,54	0,33	0,98	0,00	0,82	3,16	4,60	1,32	0,08	0,02	0,03	0,31	99,47
2	71,52	0,08	15,96	0,55	0,79	0,02	1,37	3,32	4,23	1,38	0,11	0,01	0,04	0,46	99,84

Примітка: 1 – проба ВП-1; 2 – проба ВП-1п. Аналізи виконані в ІГМР НАН України, аналітик А.В. Ренкас.

Таблиця 6. Результати датування кристалів монациту із антипертитового ендербіту (проба ВП-1) методом SIMS
Table 6. Results of dating of monazite crystals from antiperthite enderbite (sample VP-1) by the LA-ICP-MS method

Spot #	Isotope ratios										Isotope ages, Ma										Concentrations, ppm			
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	ρ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	disc	Pb	Th	U			
1	6.3380	0.1000	0.3636	0.0047	0.78	0.1019	0.0010	0.1262	0.0012	2022	14	1996	22	1960	18	2039	16	2.1	2273	154700	821			
2	6.2300	0.0960	0.3587	0.0043	0.67	0.1000	0.0010	0.1256	0.0013	2006	13	1974	20	1926	18	2031	18	2.8	2388	165800	1549			
3	6.0130	0.0980	0.3572	0.0051	0.66	0.1003	0.0014	0.1218	0.0014	1975	14	1966	24	1931	25	1979	20	0.7	10	730	1354			
4	4.8780	0.0780	0.3257	0.0044	0.67	0.0886	0.0009	0.1086	0.0012	1797	13	1815	22	1715	17	1767	20	-2.7	258	20090	2562			
5	6.2400	0.1400	0.3579	0.0078	0.84	0.1021	0.0014	0.1261	0.0016	2009	21	1969	37	1965	25	2042	22	3.6	2015	132300	921			
6	6.3860	0.1100	0.3648	0.0049	0.69	0.1042	0.0010	0.1267	0.0013	2026	15	2002	23	2003	19	2046	19	2.2	3910	260700	1145			
7	6.4180	0.1200	0.3648	0.0055	0.76	0.1045	0.0011	0.1268	0.0014	2032	16	2002	26	2009	20	2049	20	2.3	3668	238700	881			
8	5.6140	0.1100	0.3458	0.0072	0.62	0.0969	0.0013	0.1184	0.0019	1914	17	1910	34	1868	24	1922	31	0.6	276	19930	1598			
9	6.1880	0.1000	0.3627	0.0047	0.65	0.0990	0.0012	0.1231	0.0014	2001	15	1993	22	1909	21	1997	20	0.2	59	4050	410			
10	5.4140	0.0880	0.3371	0.0052	0.74	0.0963	0.0010	0.1165	0.0013	1884	14	1870	25	1859	18	1896	20	1.4	176	12580	2368			
11	6.1650	0.0960	0.3757	0.0048	0.60	0.1004	0.0011	0.1194	0.0014	1998	14	2054	23	1936	21	1940	20	-5.9	13	899	2418			
12	6.4800	0.1800	0.3671	0.0095	0.69	0.1046	0.0017	0.1287	0.0025	2039	24	2013	44	2011	31	2072	35	2.8	4757	326400	1030			
13	6.5940	0.1000	0.3768	0.0041	0.75	0.1044	0.0009	0.1268	0.0011	2057	14	2060	19	2007	17	2050	16	-0.5	4115	272400	759			
14	5.9290	0.0950	0.3569	0.0046	0.64	0.0966	0.0015	0.1199	0.0013	1962	14	1967	22	1863	27	1950	20	-0.9	21	1530	1290			
15	5.1240	0.0880	0.3221	0.0043	0.75	0.0924	0.0011	0.1148	0.0012	1838	14	1798	21	1786	19	1873	19	4.0	13	974	1336			
16	5.9250	0.1000	0.3731	0.0054	0.67	0.0987	0.0012	0.1150	0.0013	1962	15	2042	25	1903	22	1879	20	-8.7	327	23170	3109			
17	6.2070	0.1100	0.3741	0.0061	0.61	0.1036	0.0012	0.1205	0.0017	2002	15	2045	29	1992	22	1952	25	-4.8	255	17000	2129			
18	6.2400	0.0970	0.3705	0.0053	0.58	0.0999	0.0011	0.1223	0.0015	2010	14	2029	25	1924	21	1984	22	-2.3	2150	148400	2210			
19	6.4860	0.1100	0.3674	0.0049	0.62	0.1041	0.0013	0.1277	0.0015	2041	15	2015	23	2000	23	2060	20	2.2	4218	282400	864			
20	7.1200	0.1500	0.3825	0.0073	0.63	0.1063	0.0014	0.1340	0.0020	2121	18	2084	34	2041	25	2149	26	3.0	4315	282600	941			
21	6.3230	0.1200	0.3696	0.0064	0.61	0.0998	0.0013	0.1241	0.0016	2016	16	2023	30	1924	23	2016	24	-0.3	1638	114200	1171			
22	6.2630	0.1100	0.3862	0.0055	0.62	0.1038	0.0013	0.1175	0.0015	2015	16	2102	26	1996	24	1911	22	-10.0	2431	162200	3049			
23	6.4790	0.1100	0.3721	0.0053	0.64	0.1062	0.0012	0.1254	0.0016	2039	15	2041	26	2042	21	2028	23	-0.6	4067	265100	1153			
24	6.1430	0.1100	0.3569	0.0057	0.55	0.1013	0.0012	0.1251	0.0018	1991	16	1967	27	1949	23	2018	26	2.5	2424	166200	1248			
25	6.1700	0.1300	0.3632	0.0075	0.64	0.1032	0.0015	0.1236	0.0020	1991	19	1994	36	1983	27	2001	28	0.3	2354	158600	956			
26	6.2000	0.1200	0.3893	0.0068	0.59	0.1037	0.0015	0.1156	0.0018	2000	17	2118	31	1993	27	1876	28	-12.9	496	33010	3076			
27	6.1700	0.1200	0.3855	0.0068	0.65	0.1031	0.0014	0.1167	0.0017	1999	17	2097	32	1983	25	1906	25	-10.0	674	45290	3240			
28	5.8800	0.0940	0.3509	0.0041	0.63	0.1082	0.0014	0.1215	0.0012	1955	14	1937	20	2076	25	1973	18	1.8	72	4660	721			
29	6.1560	0.0970	0.3622	0.0045	0.41	0.1015	0.0011	0.1235	0.0015	1995	14	1990	21	1954	21	1997	22	0.4	401	27190	1461			
30	5.7770	0.0890	0.3410	0.0041	0.61	0.0971	0.0010	0.1229	0.0013	1940	13	1891	20	1873	18	1991	19	5.0	2234	159500	1342			
31	6.2150	0.0920	0.3841	0.0041	0.70	0.1033	0.0011	0.1173	0.0011	2004	13	2094	19	1987	20	1913	16	-9.5	579	39000	3400			
32	6.2760	0.0890	0.3837	0.0038	0.57	0.1021	0.0010	0.1185	0.0012	2014	12	2092	18	1964	19	1928	17	-8.5	630	42580	3134			
33	6.2720	0.1000	0.3708	0.0054	0.53	0.1024	0.0011	0.1230	0.0016	2011	14	2030	25	1969	20	1988	24	-2.1	1612	109400	1581			
34	4.8550	0.0820	0.3149	0.0035	0.54	0.0930	0.0019	0.1117	0.0013	1795	14	1763	17	1796	36	1817	22	3.0	6	410	195			
35	6.3890	0.0960	0.3670	0.0037	0.69	0.1041	0.0009	0.1259	0.0011	2030	13	2014	17	2003	17	2037	16	1.1	4285	285900	845			

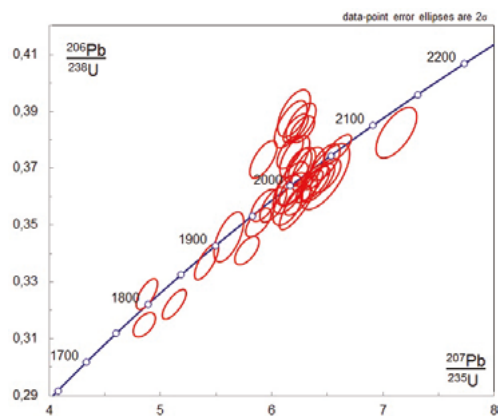


Рис. 6. U-Pb діаграми з конкордією для кристалів монациту із антипертитового ендербіту, проба ВП-1, Тиврівський кар'єр, за даними LA-ICP-MS

Fig. 6. U-Pb isotope plot for monazite from antiperthite enderbite, sample VP-1, Tyvriv open pit, according to LA-ICP-MS data

Мінеральний склад (% об.): плагіоклаз – 70–65, кварц – 28–32, калішпат (лише в антипертитових включеннях) – 5–9, біотит – до 1, гіперстен < 1. Вторинні – карбонат, зелений хлорит. Акцесорні – апатит, циркон, монацит, рудний.

Плагіоклаз (олігоклаз) ізометричний та неправильної форм, розмір кристалів варіює від 0,1 до 4 мм, у середньому 1–2 мм. Зерна з інтенсивно проявленою антипертитовою будовою, інколи з пойкилітовими включеннями кварцу. Вторинні зміни проявляються незначною мірою.

Кварц сплющеної, ізометричної та неправильної форм, розмір кристалів коливається в межах 0,1–5 мм (не враховуючи рекристалізаційну масу), характерне дуже нерівномірне блокове, мозаїчне, хвилясте згасання.

Хлорит світло-зеленого кольору, разом із зеленим біотитом та карбонатом утворює повні псевдоморфози по гіперстену, що мав призматичну та ізометричну форми, зрідка містить його релікти. Також розвивається по плагіоклазу та знаходиться в тонкозернистій рекристалізаційній масі.

Монацит спостерігається в поодиноких дрібних блідо-жовтих прозорих кристалах переважно ізометричної, зрідка пампушкоподібної форм із сильно заокругленими контурами. Через невелику кількість зерен монациту їх вік визначили лише методом LA-ICP-MS. Результати позернового датування наведено в табл. 6 та на рис. 6.

І в даному випадку ми отримали ізотопні дані, які не можна інтерпретувати в рамках моделі Аренса-Везеріла. Майже всі фігуративні точки свинець-уранових ізотопних відношень, за невеликого відхилення, лежать вздовж конкордії

(див. рис. 6); при цьому за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ числові значення віку знаходяться в інтервалі від (2149 ± 26) до (1767 ± 20) млн років. Як і у попередніх пробах, для двох зерен монациту із 35 отримано молоді значення віку: аналіз 4 – (1767 ± 20) млн років (дискордантність – 2,7 %); аналіз 34 – (1817 ± 22) млн років (дискордантність – 3,0 %) (див. табл. 6).

Обговорення

Породні парагенезиси Середнього Побужжя характеризуються тривалою історією геологічного розвитку (Лесная, 1988; Щербак и др., 2005; Claesson et al., 2006). Одним з головних етапів цього розвитку був метаморфізм гранулітової фації, який супроводжувався активним гранітоутворенням і відбувався близько 2,1–2,0 млрд років тому. Гранітоїди цього віку широко розповсюджені на всій території Дністровсько-Бузького району УЩ (Щербаков, 2005; Щербак и др., 2008;).

Оскільки циркон та монацит мають високі температури закриття ізотопних систем, що наближаються до температур кристалізації кислих магматичних розплавів або й навіть їх перевищують, визначений за їхньою допомогою вік має відповідати віку кристалізації гірських порід. Втім, як було показано попередніми дослідниками (Плоткіна, 1994; Степанюк, 2024) і як видно з результатів наших досліджень, деякі з монацитів та цирконів із порід Дністровсько-Бузького району мають вік, значно молодший за вік гранулітового метаморфізму. Подібне явище можна пояснити або тривалим знаходженням гірських порід в умовах гранулітової фації метаморфізму, або ж впливом більш пізньої події, яка спричинила часткову втрату радіогенного свинцю або ж кристалізацію нових кристалів циркону та монациту. Розглянемо обидві можливості.

Окрім сформованих у РТ-умовах гранулітової фації гранітоїдів Дністровсько-Бузького району, циркони віком (1779 ± 10) млн років були виявлені в амфіболітах новокриворізької світи близького віку (1750–1780 млн років) – в породах тетерівської серії (Щербак и др., 2008). Враховуючи знаходження пізньопалеопротерозойських цирконів у геологічних формаціях різних районів УЩ, було запропоновано їх зв'язок з процесами колізії двох сегментів Східноєвропейської платформи – Сарматського та Фенноскандинавського, який відбувався саме в цей час (Elming et al., 2010). Цей час також збігається з формуванням численних дайок основного та

ультраосновного складу, на Верхньому Побужжі представлених так званим Верхньобузьким дайковим полем (Цымбал и др., 2007), вік якого був визначений за баделітом у (1722 ± 12) млн років (Elming et al., 2010), а також Коростенського та Корсунь-Новомиргородського анортозит-рапаківігранітних масивів (Верхогляд, 1995; Щербак и др., 2008; Шестопалова, 2017). У Приазовському районі на цьому етапі укорінилися великі розшаровані інтрузиви, складені піроксенітами, сублужними ферогабро, плагіоклазитами, монцонітами, сієнітами, кварцовими сієнітами та амфібол-біотитовими гранітами та виокремлені у південнокальчицький комплекс (Шеремет и др., 2012). Окрім того, були сформовані штокоподібні масиви рідкісметалевих гранітів кам'яномогильського комплексу (Шеремет и др., 2014) та Октябрський масив, складений сублужними основними та ультраосновними породами (габро, піроксенітами, перидотитами), лужними сієнітами, нефеліновими сієнітами (фойяїтами, маріуполітами) (Кривдик, Ткачук, 1990).

Таким чином, наявні геологічні та геохронологічні дані вказують на те, що близько 1800–1750 млн років тому УЩ зазнавав активних тектонічних і магматичних процесів. Вкорінення в земну кору величезних мас основних і ультраосновних розплавів призводило до її розігріву і часткового плавлення з утворенням гранітоїдних розплавів. Отже, температури розігріву могли сягати в нижній корі 650–700 °C. Цей розігрів міг спричинити або кристалізацію нових генерацій монациту та циркону, або ж часткову або повну втрату вже існуючими кристалами радіогенного свинцю та їх позірне «омолодження».

Втім, звичайний об'ємний (кондуктивний) розігрів ($\pm$ залишкове тепло) кристалічних порід кори мав би рівною мірою впливати на всі кристали циркону та монациту в певному об'ємі породи. Однак ми спостерігаємо, що цей вплив мав якийсь вибірковий характер. Тобто у випадку, коли поява

молодих цирконів та монацитів була зумовлена виключно тривалим часом охолодження, то високі температури впливали б однаковою мірою на всі кристали в породах і на всі породи УЩ. Але у нас, окрім окремих випадків «невдалих» датувань, є велика кількість дат з досить незначними похибками (Степанюк, 2024). Наразі ми схилиємося до думки, що причина в іншому. А саме в ході колізійних процесів, що супроводжувалися розігрівом кори, відбувалося проникнення флюїдів у відносно тонких протяжних лінійних зонах тектонічних порушень (тектонічних деформацій). Саме цим (анізотропією прояву процесу) можна пояснити, чому в одній пробі (5–10 кг) присутні як давні, так і молоді монацити (циркони) та чому в породах з інших ділянок території УЩ молоді кристали цих мінералів відсутні.

Висновки

У межах Дністровсько-Бузького району УЩ набули розвитку породні парагенезиси, в яких високотемпературні мінерали-геохронометри (циркон та монацит) характеризуються широким діапазоном віків. При цьому наймолодші із зафіксованих U-Pb віків становлять 1800–1700 млн років, що на 200–300 млн років пізніше часу прояву гранулітового метаморфізму та вкорінення гранітоїдних масивів. Причинами такого омолодження віку циркону та монациту можуть бути як тривале перебування породних парагенезисів в умовах гранулітової фації метаморфізму, так і повторний розігрів земної кори внаслідок укорінення великого обсягу мантийних розплавів, що супроводжувалися проникненням у зонах тектонічних деформацій флюїдів, що, на наш погляд, є більш вірогідним. Не виключено, що обидва фактори мали сумісний вплив.

Це дослідження було частково профінансовано дослідницьким проектом Інституту геологічних наук Польської академії наук «Petrochron».

Обговорюються результати уран-свинцевого ізотопного датування (метод TIMS і LA ICP MS) монацитів із піроксенвісних гранітоїдів Дністровсько-Бузького району Українського щита. Отримані аналітичні результати датування мультисервових наважок монациту методом TIMS не відповідають моделі Аренса-Везеріла. У результаті використання позернового датування методом LA ICP MS серед кристалів монациту із тих же порід виявлено як давні (віком понад 2,0 млрд років), так і молоді (1,7–1,8 млрд років) кристали.

Поява молодих кристалів може бути зумовлена не тільки поступовим охолодженням порід, але й, що більш вірогідно, повторним їх розігрівом, спричиненим формуванням магматичної провінції 1,80–1,75 млрд років тому. Наразі провінція репрезентована численними полями дайок, двома габро-анортозит-рапаківігранітними масивами у Волинському й Інгульському районах Українського щита (Коростенський і Корсунь-Новомиргородський, відповідно) та численними інтрузивами ультраосновного складу, сублужними породами та гранітами в Приазовському районі. Тектоно-магматична активізація, окрім повторного розігріву, супроводжувалася проникненням флюїдів у зонах тектонічних деформацій, що і могло спричинити кристалізацію (омолодження) віку кристалів монациту і циркону. Саме цим (анізотропією прояву процесу) можна пояснити, чому в одній пробі вагою 5–10 кг присутні як давні, так і молоді монацити (циркони) і чому в породах з інших ділянок території Українського щита молоді кристали цих мінералів відсутні. Не виключено, що обидва фактори мали сумісний вплив.

Список літератури

- Бартницький Е.Н., Биби́кова Е. В., Верхогляд В.М., Легкова Г.В., Скобелев В.М., Терец Г.Я. Международный стандарт циркона для уран-свинцовых изотопных исследований. *Геохимия и рудообразование*. 1995. Вып. 21. С. 164–167.
- Верхогляд В.М. Возрастные этапы магматизма Коростенского плутона. *Геохимия и рудообразование*. 1995. № 21. С. 34–47.
- Геохронологическая шкала докембрия Украинского щита. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницький Е.Н., Верхогляд В.М., Комаристый А.А., Лесная И.М., Мицкевич Н.Ю., Пономаренко А.Н., Скобелев В.М., Щербак Д.Н. Киев: Наукова думка, 1989. 144 с.
- Гранулитовая фация Украинского щита. Белевцев Р.Я., Яковлев Б.Г., Щербакова Т.Г. Киев: Наукова думка, 1985. 219 с.
- Касьяненко К.О. Петрологія чарнокітоїдів Літинської структури: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 2016. 22 с.
- Кривдик С.Г., Ткачук В.И. Петрология щелочных пород Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1990. 407 с.
- Кривдік С.Г., Кравченко Г.Л., Томурко Л.Л., Дубина О.В., Загнітко В.М., Рокачук Т.А., Шнюкова К.Е., Мінеєва В.М. Петрологія і геохімія чарнокітоїдів Українського щита. Київ: Наукова думка, 2011. 216 с.
- Курепин В.А. Термодинамические условия образования гранат-кордиерит-биотитовой ассоциации в бердичевских гранитах (Украинский щит). *Минерал. журн.* 1991. Т. 13, № 1. С. 76–87.
- Лесная И.М. Геохронология чарнокитоидов Побужья. Киев: Наукова думка, 1988. 133 с.
- Метаморфизм Украинского щита. Усенко И.С., Щербаков И.Б., Белевцев Р.Я., Сироштан Р.И., Этингоф И.М., Щербакова Т.Г., Половко Н.И., Кравченко Л.Г., Яковлев Б.Г., Орса В.И., Вендиктов В.М., Зюлцле В.В. Киев: Наукова думка, 1982. 308 с.
- Плоткина Т.Э. Геохимия и петрология эндебито-гнейсов и кристаллосланцев Хашевато-Завальевского блока Украинского щита: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.02 / ИГМР АН Украины. Киев, 1994. 24 с.
- Рябенко В.А. Основные черты тектонического строения Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1970. 125 с.
- Степанюк Л.М. Монацитометрія Українського щита (Волинський і Дністровсько-Бузький мегаблоки). Київ: Академперіодика, 2024. 232 с.
- Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита. Щербак Н.П., Есипчук К.Е., Берзенин Б.З., Глевасский Е.Б., Дранник А.С., Пийяр Ю.К., Скаржинская Т.А., Соловицкий В.Н., Этингоф И.М., Клочков В.М., Решетняк В.В. Киев: Наукова думка, 1985. 168 с.
- Шеремет Е.М., Мельников В.С., Стрекозов С.Н., Козар Н.А., Возняк Д.К., Кульчицкая А.А., Кривдик С.Г., Бородыня Б.В., Волкова Т.П., Седова Е.В., Омельченко А.А., Николаев И.Ю., Николаев Ю.И., Сетая Л.Д., Агаркова Н.Г., Гречановская Е.Е., Фоций Н.В., Екатериненко В.Н. Азовское редкоземельное месторождение Приазовья Украинского щита. Донецк: Ноулидж, 2012. 374 с.
- Шеремет Е.М., Кривдик С.Г., Седова Е.В. Редкометалльные граниты Украинского щита (петрология, геохимия, геофизика и рудоносность). Донецк: Ноулидж, 2014. 251 с.
- Шестопалова О.Е. Геохронологія Корсунь-Новомиргородського плутону: автореф. ... канд. геол. наук. Київ, 2017. 21 с.
- Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Киев: Наукова думка, 2005. 244 с.
- Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянський Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Киев: Наукова думка, 2008. 239 с.
- Щербаков И. Б. Петрология Украинского щита. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.
- Цымбал С.Н., Кривдик С.Г., Довгань Р.Н., Павлюк В.Н. Субщелочные габбро-диабазы юго-западной части Украинского щита. *Минерал. журн.* 2007. Т. 29, № 1. С. 44–57.
- Broska I., Siman P. The breakdown of monazite in the West-Carpathian Veporic orthogneisses and Tatric granites. *Geologica Carpathica*. 1998. Vol. 49. P. 161–167.
- Budzyń B., Wirth R., Sláma J., Kozub-Budzyń G.A., Rzepa G., Schreiber A. A detailed and comprehensive TEM, EPMA and Raman characterization of high-metamorphic grade monazite and their U-Th-Pb systematics (the Góry Sowie Block, SW Poland). *Chemical Geology*. 2022. Vol. 607. P. 121015.
- Cherniak D.J., Watson E.B., Grove M., Harrison T.M. Pb diffusion in monazite: a combined RBS/SIMS study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004. Vol. 68 (4). P. 829–840.
- Claesson S., Bibikova E., Bogdanova S., Skobelev V. Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking and accretion in the Ukrainian Shield, East European Craton. *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, Memoirs. 2006. Vol. 32. P. 645–654. 0435-4052/06/\$15.00
- Clark C., Kirkland C.L., Spaggiari C.V., Oorschot C., Wingate M.T.D., Taylor R.J. Proterozoic granulite formation driven by mafic magmatism: An example from the Fraser Range Metamorphics, Western Australia. *Precambrian Research*. 2014. Vol. 240. P. 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.07.024>
- Elming S.Å., Shumlyanskyy L., Kravchenko S., Layer P., Söderlund U. Proterozoic Basic dykes in the Ukrainian Shield: a palaeomagnetic, geochronologic and geochemical study – the accretion of the Ukrainian Shield to Fennoscandia. *Precamb. Res.* 2010. Vol. 178. P. 119–135. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.02.001>
- Grand'Homme A., Janots E., Seydoux-Guillaume A.M., Guillaume D., Bosse V., Magnin V. Partial resetting of the U-Th-Pb systems in experimentally altered monazite: Nanoscale evidence of incomplete replacement. *Geology*. 2016. Vol. 44. P. 431–434
- Harley S.L., Nandakumar V. Accessory mineral behaviour in granulite migmatites: a case study from the Kerala Khondalite Belt, India. *Journal of Petrology*. 2014. Vol. 55 (10). P. 1965–2002.
- Krough T.E. A law contamination method for hedrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochimica. Cosmochimica Acta*. 1973. Vol. 37, No. 3. P. 485–494.
- Ludwig K.R. Pb Dating for MS-DOS, version 1.06. U.S. Geol. Survey Open-File Rept. 1989. No. 88–542. P. 40.
- Ludwig K.R. ISOPLLOT for MS-DOS, version 2.0. U.S. Geol. Survey Open-File Rept. 1990. No. 88–557. P. 38.
- Seydoux-Guillaume A.M., Montel J.M., Bingen B., Bosse V., De Parseval P., Paquette J., Janots E., Wirth R. Low-temperature alteration of monazite: Fluid-mediated coupled dissolution-precipitation, irradiation damage, and disturbance of the U-Pb and Th-Pb chronometers. *Chemical Geology*. 2012. Vol. 330–331. P. 140–158.
- Spear F.S., Pyle J.M. Apatite, monazite, and xenotime in metamorphic rocks. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2002. Vol. 48 (1). P. 293–335.
- Williams M.L., Jercinovic M.J., Hetherington C.J. Microprobe monazite geochronology: understanding geologic processes by integrating composition and chronology. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2007. Vol. 35. P. 137–175.
- Taylor R.J.M., Kirkland C.L., Clark C. Accessories after the facts: Constraining the timing, duration and conditions of high-temperature metamorphic processes. *Lithos*. 2016. Vol. 264. P. 239–257. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.09.004>

References

- Bartnytskyi E.N., Bibikova E.V., Verkhoglyad V.M., Legkova G.V., Skobelev V.M., Terets G.Ya. 1995. An international zircon standard for uranium-lead isotope studies. *Geochemistry and ore formation*, 21: 164–167 (in Russian).
- Broska I., Siman P. 1998. The breakdown of monazite in the West-Carpathian Veporic orthogneisses and Tatric granites. *Geologica Carpathica*, 49: 161–167.

- Budzyń B., Wirth R., Sláma J., Kozub-Budzyń G.A., Rzepa G., Schreiber A. 2022. A detailed and comprehensive TEM, EPMA and Raman characterization of high-metamorphic grade monazite and their U-Th-Pb systematics (the Góry Sowie Block, SW Poland). *Chemical Geology*, 607: 121015.
- Cherniak D.J., Watson E.B., Grove M., Harrison T.M. 2004. Pb diffusion in monazite: a combined RBS/SIMS study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68: 829–840.
- Claesson S., Bibikova E., Bogdanova S., Skobelev V. 2006. Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking and accretion in the Ukrainian Shield, East European Craton. *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, Memoirs, 32: 645–654. 0435-4052/06/\$15.00
- Clark C., Kirkland C.L., Spaggiari C.V., Oorschot C., Wingate M.T.D., Taylor R.J. 2014. Proterozoic granulite formation driven by mafic magmatism: An example from the Fraser Range metamorphics, Western Australia. *Precambrian Research*, 240: 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.07.024>
- Elmings S.-Å., Shumlyanskyy L., Kravchenko S., Layer P., Söderlund U. 2010. Proterozoic Basic dykes in the Ukrainian Shield: a palaeomagnetic, geochronologic and geochemical study – the accretion of the Ukrainian Shield to Fennoscandia. *Precambrian Research*, 178: 119–135. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.02.001>
- Geochronological scale of the Precambrian of the Ukrainian shield. Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Bartnitskyi E.N., Verkhoglyad V.M., Komaristy A.A., Lesnaya I.M., Mytskevich N.Yu., Ponomarenko A.N., Skobelev V.M., Shcherbak D.N. 1989. Kyiv: Naukova Dumka. 144 p. (in Russian).
- Granulite facies of the Ukrainian Shield. R.Ya. Belevtsev, B.G. Yakovlev T.G. Shcherbakova. 1985. Kyiv: Naukova Dumka. 219 p. (in Russian).
- Grand'Homme A., Janots E., Seydoux-Guillaume A.M., Guillaume D., Bosse V., Magnin V. 2016. Partial resetting of the U-Th-Pb systems in experimentally altered monazite: Nanoscale evidence of incomplete replacement. *Geology*, 44: 431–434.
- Harley S.L., Nandakumar V. 2014. Accessory mineral behaviour in granulite migmatites: a case study from the Kerala Khondalite Belt, India. *Journal of Petrology*, 55: 1965–2002.
- Kasianenko K.O. 2016. Petrology of charnockitoids of the Lityn structure. PhD thesis (abstract). Kyiv. 22 p. (in Ukrainian).
- Kryvdik S.G., Tkachuk V.I. 1990. Petrology of alkaline rocks of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka. 408 p. (in Russian).
- Kryvdik S.G., Kravchenko G.L., Tomurko L.L., Dubyna O.V., Zagnitko V.M., Rokachuk T.A., Shnyukova K.E., Mineeva V.M. 2011. Petrology and geochemistry of charnockitoids of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka. 216 p. (in Ukrainian).
- Krough T.E. 1973. A low contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 37: 485–494.
- Kurepin V.A. 1991. Thermodynamic conditions of formation of garnet-cordierite-biotite association in Berdichev granites (Ukrainian Shield). *Mineral. journal*, 13 (1): 76–87 (in Russian).
- Lesnaya I.M. 1988. Geochronology of charnockites of the Bouh area. Kyiv: Naukova Dumka. 136 p. (in Russian).
- Ludwig K.R. 1989. Pb Dating for MS-DOS, version 1.06. U.S. *Geol. Survey Open-File Rept.*, 88–542: 40.
- Ludwig K.R. 1990. ISOPLLOT for MS-DOS, version 2.0. U.S. *Geol. Survey Open-File Rept.*, 88–557: 38.
- Metamorphism of the Ukrainian Shield. Usenko I.S., Shcherbakov I.B., Belevtsev R.Ya., Syroshtan R.Y., Etingof I.M., Shcherbakova T.G., Polovko N.Y., Kravchenko L.G., Yakovlev B.G., Orsa V.Y., Venidiktov V.M., Zyltsle V.V. 1982. Kyiv: Naukova Dumka. 308 p. (in Russian).
- Plotkina T.E. 1994. Geochemistry and petrology of enderbitto-gneisses and crystalline slates of the Khashchevato-Zavalievsky block of the Ukrainian Shield. Autoref. dis. ... Candidate Geological-Mineralogical Sciences: 04.00.02 / IGMR Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. 24 p. (in Russian).
- Ryabenko V.A. 1970. The main features of the tectonic structure of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka. 125 p. (in Russian).
- Seydoux-Guillaume A.M., Montel J.M., Bingen B., Bosse V., De Parseval P., Paquette J., Janots E., Wirth R. 2012. Low-temperature alteration of monazite: Fluid-mediated coupled dissolution-precipitation, irradiation damage, and disturbance of the U-Pb and Th-Pb chronometers. *Chemical Geology*, 330–331: 140–158.
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko O.M. 2005. Geochronology of the Early Precambrian. Archean. Kyiv: Naukova Dumka. 244 p. (in Russian).
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko O.M., Shumlyanskyy L.V. 2008. Geochronology of the Early Precambrian. Proterozoic. Kyiv: Naukova Dumka. 240 p. (in Russian).
- Shcherbakov I.B. 2005. Petrology of the Ukrainian Shield. Lviv: ZUKTs. 366 p. (in Russian).
- Sheremet Y.M., Melnikov V.S., Strekozov S.N., Kozar N.A., Voznyak D.K., Kulchitskaya A.A., Krivdik S.G., Borodynya B.V., Volkova T.P., Sedova E.V., Omelchenko A.A., Nikolayev I.Y., Setaya L.D., Agarkova N.G., Grechanovskaya Y.Y., Foschiy N.V., Ekaterinenko V.N. 2012. The Azov rare-earth deposit in the Azov region of the Ukrainian Shield. Donetsk: Knowledge. 374 p. (in Russian).
- Sheremet Ye.M., Kryvdik S.G., Sedova E.V. 2014. Rare metal granites of the Ukrainian Shield (petrology, geochemistry, geophysics and ore potential). Donetsk: Knowledge. 251 p. (in Russian).
- Shestopalova O.E. 2017. Geochronology of the Korsun-Novomyrhorod Pluton. Abstract for the degree of Candidate of Geological Sciences. Kyiv. 21 p. (in Ukrainian).
- Spear F.S., Pyle J.M. 2002. Apatite, monazite, and xenotime in metamorphic rocks. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 48 (1): 293–335.
- Stepanyuk L.M. 2024. Monazitometry of the Ukrainian Shield (Volyn and Dniester-Bouh domains). Kyiv: Akademperiodyka. 232 p. (in Ukrainian).
- Stratigraphic sections of the Precambrian of the Ukrainian Shield. Shcherbak N.P., Esypchuk K.E., Berzenin B.Z., Hlevassky E.B., Drannyk A.S., Piyyar Y.K., Skarzhinskaya T.A., Solovitsky V.N., Etingoff I.M., Klochkov V.M., Reshetnyak V.V. 1985. Kyiv: Naukova Dumka. 168 p. (in Russian).
- Verhoglyad V.M. 1995. Age stages of magmatism of the Korosten pluton. *Geochemistry and ore formation*, 21: 34–47 (in Russian).
- Williams M.L., Jercinovic M.J., Hetherington C.J. 2007. Microprobe monazite geochronology: understanding geologic processes by integrating composition and chronology. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35: 137–175.
- Taylor R.J.M., Kirkland C.L., Clark C. 2016. Accessories after the facts: Constraining the timing, duration and conditions of high-temperature metamorphic processes. *Lithos*, 264: 239–257. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.09.004>
- Tsybal S.N., Kryvdik S.G., Dovgan R.N., Pavlyuk V.N. 2007. Sub-alkaline gabbro-diorite of the southwestern part of the Ukrainian Shield. *Mineral. Journal*, 29 (1): 44–57 (in Russian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.316816>

UDC 550.4+553.94(477)

Rare and trace elements of the Verkhniidniprovske deposit of the Dnipro brown coal basin as an indicator of Ukrainian Shield metallogeny

E-mail: ariadna.v.ivanova@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-6540-5605>;
l.b.zaitseva@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-2572-3139>;
gavryltsev@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-4234-2282>

*Corresponding author /

Автор для кореспонденції:

A.V. Ivanova, ariadna.v.ivanova@gmail.com

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

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

Рідкісні та розсіяні елементи Верхньодніпровського родовища Дніпровського буровугільного басейну як показник металогенії Українського щита

А.В. Іванова*, Л.Б. Зайцева, В.Б. Гаврильцев

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

Received / Надійшла до редакції:

05.12.24

Received in revised form /

Надійшла у ревізованій формі:

10.01.2025

Accepted / Прийнята:

30.01.2025

Keywords: Dnipro brown coal basin, Ukrainian Shield, rare and trace elements, coal microcomponents, correlation analysis.

Ключові слова: Дніпровський буровугільний басейн, Український щит, рідкісні та розсіяні елементи, мікрокомпоненти вугілля, кореляційний аналіз.

The geochemical features of the coal from the Verkhniidniprovske deposit of the Dnipro brown coal basin, located within the Dnipro megablock of the Ukrainian Shield, have been studied. The position of the deposit within the Shield was defined according to metallogenic, geochemical, and landscape-geochemical zoning. It is shown that the crystalline rocks of the Ukrainian Shield are the source of rare and trace elements in the coal. Correlation analysis was used to evaluate the associations between the considered elements. Two stable associations have been found: Yb-Y-Be and Ti-Zr-Sc-V-Cr. The migration pathways of the elements into the peat bed and the possible forms of fixation of the elements in the organic matter of the coal are demonstrated. For the first time, an analysis of the correlations of the considered elements with the microcomponents of the coal organic matter of the lignite, huminite-helite, fusinite and liptinite groups is presented. The most coalphilic elements are Be, Yb, Y, Ge, Mo, Sc. Elements such as Ti, Zr, V, Cr, Pb, Ga, Cu, La, Mn, Ni are more often associated with terrigenous material, which does not exclude their presence in coal in sorption and organically bound form. A highly correlated dependence of Ge on the resin content in the benzene extract was found, which makes it possible to recover Ge in the technological process of bitumen extraction from coal.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Citation: Ivanova A.V., Zaitseva L.B., Gavryltsev V.B. 2025. Rare and trace elements of the Verkhniidniprovske brown coal deposit of the Dniprobas as an indicator of Ukrainian Shield metallogeny. *Geologichnij žurnal*, 1 (390): 25–32. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.316816>

Цитування: Іванова А.В., Зайцева Л.Б., Гаврильцев В.Б. Рідкісні та розсіяні елементи Верхньодніпровського родовища Дніпровського буровугільного басейну як показник металогенії Українського щита. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 25–32. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.316816>

Introduction

The study of rare and trace elements in coal, which are considered as associated minerals and are used in almost all areas of science and technology, is of great scientific and applied importance.

The study of the metal content of brown coal, especially of the Dnipro brown coal basin (Dniprobass), began in the 1960s. The conditions of migration and concentration of elements in coal, the role of tectonic processes in the metal content of coal, etc. were studied (Mitskevych, 1962; Saprykin, Bogdanov, 1967; Kler, 1979; Lepigov et al., 1986; Radzivil et al., 1987 et al.). However, many issues of coal geochemistry and the role of its individual microcomponents in this process remain to be solved. Previous studies on the metallogeny of the Ukrainian Shield (USh), relating to its metallogenic, geochemical and landscape-geochemical zonation, are mentioned below with appropriate references.

The aim of this study was to identify the pathways of elements entering the peat beds from the source areas, the form of their accumulation, and to determine the role of coal as a concentrator of rare and trace elements.

150 petrographic sections were analyzed in transmitted polarized light, the results of 146 determinations of chemical and technological indicators of coal quality, 144 determinations of the chemical composition of ash and spectral analysis were used. Coal petrographic, geochemical, chemical, and statistical research methods were applied.

The materials of this article were presented at the All-Ukrainian scientific conference "Geological Structure and History of Geological Development of the Ukrainian Shield" (Ivanova et al., 2024).

Object of study

The geochemical characteristics of coal from the Verkhniodniprovske deposit of the Dniprobass, which is located within the USh, were studied (Fig. 1).

The main source of rare and trace elements in the peat beds were the rocks of the crystalline basement of the Dnipro granite-greenstone catastable megablock of the USh (Kyryliuk, Shevchenko, 2023). According to the metallogenic zoning (Bochay et al., 1999; Goshovskiy, 2003), the deposit belongs to the Middle Dnipro subprovince with a wide development of greenstone rocks, the metallogenic specificity of which is determined by the presence of Ni, Co, Cu, Cr, Mo, Au ore occurrences and titanium-zirconium placers. According to the metallogenic zoning by individual stages of the development of the USh, this area belongs to the Middle Dnipro metallogenic region, the Paleogene deposits of which are characterized by the presence of Ti, Zr, and partially Sn (Shevchenko, Goyzhevskiy, 1984). According to the map of rare metal mineralization of the USh, the deposit belongs to the Dnipro metallogenic subprovince with ore occurrences of Mo, Ta-Nb, rare-earth elements (Nechaev et al., 2019). According to the geochemical zoning, the deposit is located within the Dnipro weakly differentiated chalcophile-siderophile geochemical region, which is characterized by numerous local concentrations of Cu, Ni, Co, Mo, Mn, Sc, V (Galetskiy, 1984). According to the landscape-geochemical zoning of the territory of the USh (Mitskevych, 1971), the deposit is located within the Steppe region (Ingul-Ingulets steppe subregion), where in the humus horizons of geochemical landscapes directly connected with the

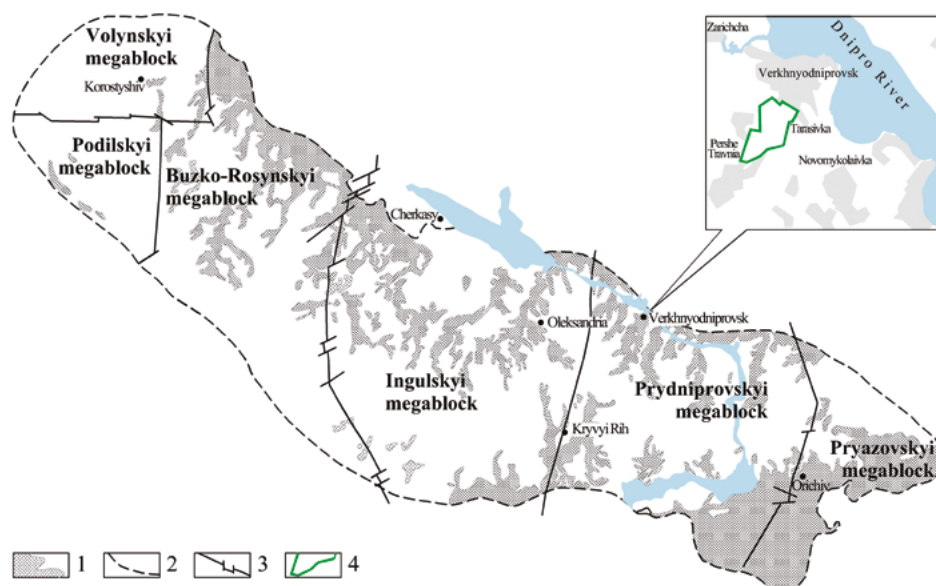


Fig. 1. Dnipro brown coal basin (Radzivil et al., 1987; Kyryliuk, Shevchenko, 2023): 1 – coal-bearing deposits of the Buchak suite; 2 – boundaries of the Dniprobass; 3 – deep faults; 4 – contours of the Verkhniodniprovske deposit

crystalline rock basement, the elements Mn, Ni, Ti, V, Cr, Zr, Cu, Pb, Zn, Y, Sr form the most stable secondary dispersion halos, while Co, Be, Sn, Ga, La, Ba form less stable ones.

A similar spectrum of elements was found in the coal of the Verkhniidniprovske deposit: Mn, Ni, Ti, V, Cr, Mo, Zr, Cu, Pb, Ga, Ge, Be, Sc, Y, Yb, La.

The degree of concentration of the elements, their qualitative composition and distribution features were determined both by the crystal-chemical properties of the atoms of the elements and by the physico-chemical and facies conditions of peat bog formation.

Coal petrographic studies

The classification developed by M.O. Ignatchenko (Ignatchenko, Zaitseva, 1978) for brown coal was used to establish the features of the relationship between rare elements and microcomponents of brown coal during microscopic examination. An important feature of the classification is the ability to clearly subdivide organic microcomponents depending on the source material, morphology, structure, and degree of transformation of plant residues. The studied coal was divided into lignite, huminite-gelinite, fusinite, and liptinite groups. The primary role belongs to the components of the huminite-helinite and lignite groups. Within the groups, microcomponents are divided depending on the raw plant material, the anatomical and morphological features of the plant residue and the degree of preservation of the botanical structure.

The lignite group is represented by yellow and yellowish-orange tissues that originated from the remains of coniferous plants. The huminite-helinite group, which plays a major role in the composition of the coal, includes various red, brownish-red tissues of angiosperms (xylinite, parenchyme, felinite). Structural fragments are observed quite rarely, atrite is the most common. Sometimes dopplerinite is found, filling the cavities of cracks. The components of the fusinite group are observed sporadically and are represented by single fragments of semifusinite. The prevalence of ortho- and nigrosclerotinite is characteristic for the brown coal of the studied deposit. The composition of the liptinite group includes various components: suberinite of different states of preservation, suberinite-atrite, resinite, cutinite bordering leaf blades, and, rarely – microexinite. It is necessary to note the significant distribution of the structureless microcomponent – bituminite-desmite.

Mineral components are represented by quartz, clayey material, often of kaolinite composition, muscovite, biotite, glauconite, pyrite. Minerals of feldspar, amphiboles and pyroxene groups are less common. Accessory minerals are quite common: tourmaline, zircon, rutile, garnet, magnetite, ilmenite, staurolite, etc.

The assessment of the paleoenvironment of peat formation based on the microcomponent composition of coal by the method of S.F.K. Diessel (Diessel, 1992) indicates that peat accumulation occurred in the zone of the lacustrine-marsh coastal lowland under conditions of high flooding and erosion-tectonic paleovalleys with a noticeable influence of the marine environment (limno-telmatic conditions, marsh), less often in overgrown lakes (limnic conditions) (Ivanova et al., 2021) (Fig. 2).

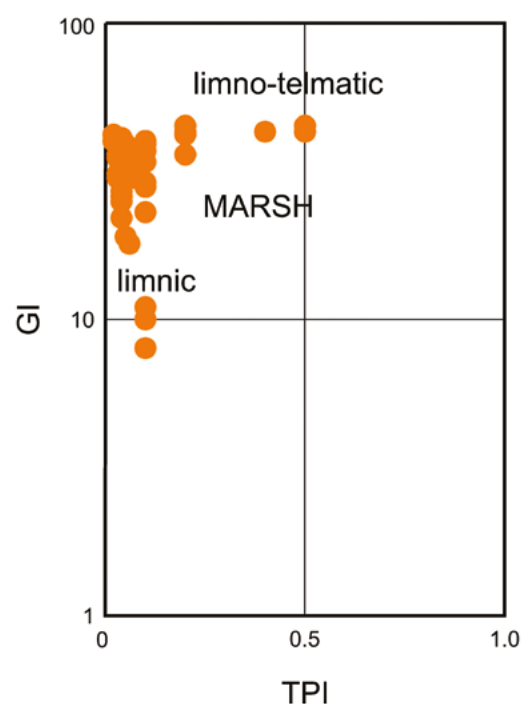


Fig. 2. Diagram of the reconstruction of the conditions of peat accumulation in the Verkhniidniprovske deposit of the Dniprobas

The chemical influence of the seawater on the peat bed is indicated by the ratio $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ (Werner's coefficient (Werner, 1954)), which averages 5.6, and the Leifman-Vassoevich coefficient (Vassoevich, Leifman, 1979), which averages 0.54. These indicators suggest the formation of peat beds from plants of terrestrial origin under the influence of marine conditions.

Results and their discussion

On the correlation matrix of the data of ash content (A^c), chemical composition of ash and spectral analysis, geochemical associations (Yudovich, 1978) of rare and trace elements Yb-Y-Be (at the level of correlation coefficients $r = 0.79$ and higher) (Fig. 3) and Ti-Zr-Sc-V-Cr (at the level of $r = 0.48$ and higher) (Fig. 4) were identified. The remaining elements do not form stable associations.

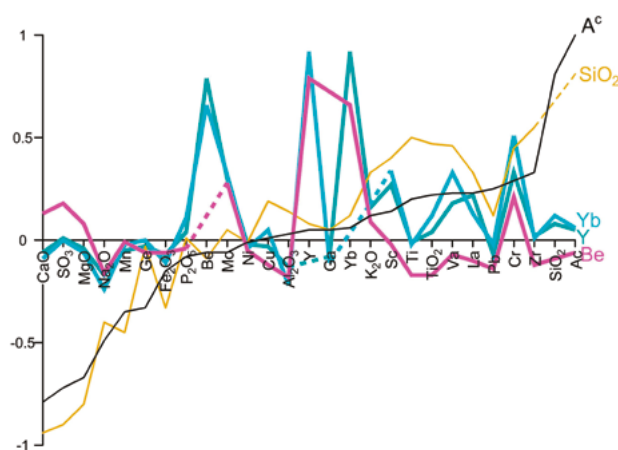


Fig. 3. Correlation profiles of the elements of the Yb-Y-Be association

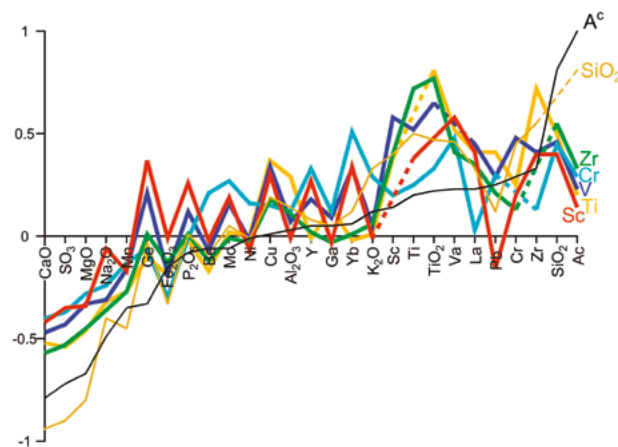


Fig. 4. Correlation profiles of the elements of the Ti-Zr-Sc-V-Cr association

Elements of the geochemical association Yb-Y-Be have almost zero correlations with ash content and silica, insignificant relationships or their absence with other ash-forming components. At the same time, positive correlations are observed with humic acids (r up to 0.23), parenchyme (r up to 0.37), parenchyme-atrite (r up to 0.34), felinite (r up to 0.15), felinite-atrite (r up to 0.26) and microcomponents of the liptinite group (r up to 0.26). This means that these elements have significant coalphilic

properties. Migrating in solutions in the form of elemental cations, complex carbonates and fluorine anions (Kraynov, Shvets, 1980; Yudovich, Ketris, 2002), they are sorbed by the organic matter (OM) of coal or form organometallic compounds with it (Manskaya, Drozdova, 1964; Mitskevych et al., 1983; Yudovich, Ketris, 2002). In addition, they can be impurity elements in minerals of terrigenous origin: rock-forming – amphiboles (hornblende), feldspars, biotite, accessory – garnet, zircon (Lazarenko, Vinar, 1975; Shcherban, 1986). These elements came to the peat bed with groundwater and surface water in the form of suspensions, the solid phase of which was formed as a result of erosion of crystalline rocks and weathering crust of acidic composition. Their presence within the same association can be explained by the common source of their input and the common mechanism of their transfer from the source to the peat bed.

Elements included in the geochemical association Ti-Zr-Sc-V-Cr have high correlations with silica, quite high relationships with ash content, high inverse relationships with calcium, magnesium and sulfur oxides. These elements are associated with terrigenous material of basic (Ti, V, Cr) and acidic (Zr, Sc) composition accumulated during the peat stage. The presence in the coal of rock-forming and accessory minerals-carriers of elements of this association (pyroxenes, rutile, ilmenite, zircon) and minerals in which they are found as impurities (amphiboles, feldspars, biotite, garnet, magnetite, tourmaline) (Lazarenko, Vinar, 1975; Shcherban, 1986) confirms this conclusion.

Positive correlations of these elements with bitumen (Ti, V, $r = 0.27$; Zr, $r = 0.18$; Sc, $r = 0.44$; Cr, $r = 0.15$), dopplerinite (Zr, $r = 0.17$; Ti, $r = 0.11$), parenchyme (Zr, $r = 0.31$; Ti, Sc, $r = 0.11$), semifusinite (Ti, $r = 0.21$) and lignitite (Sc, $r = 0.52$), indicating the possibility of their presence in the coal in a non-mineral sorbed form or in complexes with OM (Manskaya, Drozdova, 1964; Yudovich, Ketris, 2002). They entered the peat bed in the form of elemental anions, oxyanions, carbonate and hydroxocomplex anions (Kraynov, Shvets, 1980; Yudovich, Ketris, 2002). These elements are probably related by the synchronicity of their accumulation.

The elements Pb, Ga, Cu, which form an unstable association (Fig. 5), have positive correlations with ash content, silicon and aluminum oxides, negative correlations with calcium and magnesium oxides, sulfuric anhydride and sulfur. They could have come as impurity elements with ter-

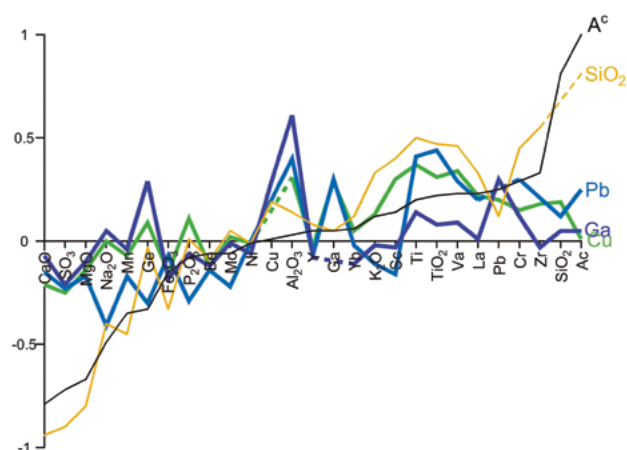


Fig. 5. Correlation profiles of Pb, Ga, Cu

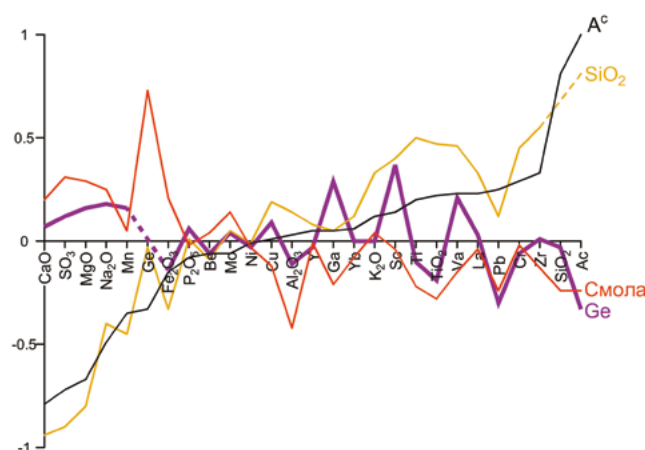


Fig. 6. Correlation profile of Ge

igenous rocks from acidic to basic composition. These elements can be associated with aluminosilicates (kaolinite, muscovite, biotite) and oxides (magnetite). The positive correlation of these elements with Ti (r up to 0.41) suggests the presence of their impurities in accessory minerals of titanium (ilmenite). In solution, these elements could have entered the peat bed mainly in the form of elemental cations and hydroxocomplex anions (Kraynov, Shvets, 1980; Yudovich, Ketris, 2002). Their positive correlation with felineite (Pb, Ga, r up to 0.18), sclerotinite (Pb, $r = 0.26$) and bituminite-desmite (Cu, $r = 0.20$) indicates the possibility of their presence in the coal OM in the sorbed form and in the form of organomineral complexes, especially complex compounds of the chelate type (Manskaya, Drozdova, 1964; Yudovich, Ketris, 2002).

Ge has a significant negative dependence on ash content and small and negative correlations with ash-forming components. At the same time, there is a high positive correlation ($r = 0.73$) between Ge and the resin content of the benzene extract (Fig. 6) and a significant positive dependence on the content of lignitite ($r = 0.19$), xylinitite ($r = 0.24$), felineite-atrite ($r = 0.34$) and sclerotinite ($r = 0.33$). This certainly confirms the predominant association of Ge with the OM of brown coal, where it can be found in a non-mineral sorbed form, in the form of simple and complex humates of the chelate type, as well as Ge-organic compounds (Yudovich, Ketris, 2004). These elements could be delivered to the peat bed with the solution mainly in the form of oxyanions (Kraynov, Shvets, 1980; Yudovich, Ketris, 2002;). The high correlation of

Ge with the resin content of the benzene extract allows to obtain germanium in the technological process of separating bitumen from coal.

Mo is characterized by the absence of dependence on ash content and ash-forming components and a positive relationship with potassium oxide (Fig. 7), which indicates the possibility of its occurrence as an impurity in potassium feldspars, muscovite, biotite. Mo could enter the peat bed in the form of elemental anions and oxyanions (Kraynov, Shvets, 1980; Yudovich, Ketris, 2002). In coal, where a positive relationship of molybdenum with lignitite, lignitite-atrite and parenchyte (r up to 0.20) is recorded, it can be found in a physically sorbed non-mineral form and in the form of organic complexes containing oxycompounds in the ortho position (Manskaya, Drozdova, 1964; Yudovich, Ketris, 2002).

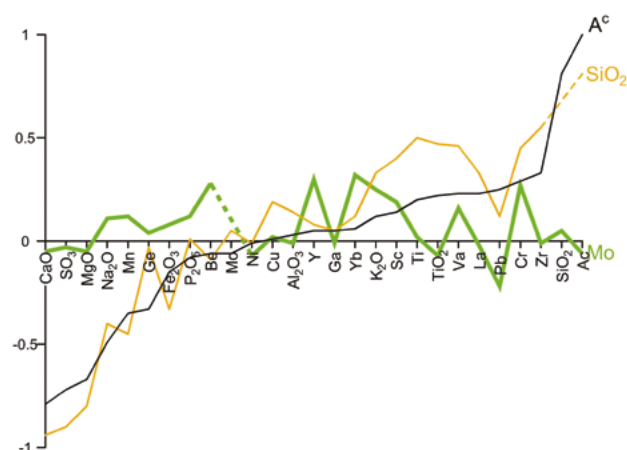


Fig. 7. Correlation profiles of Mo

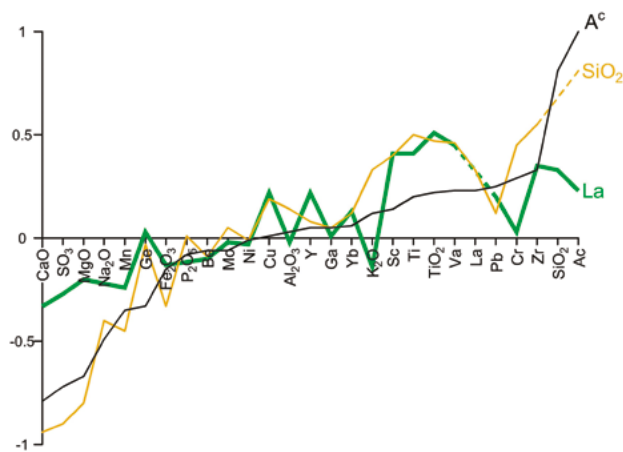


Fig. 8. Correlation profiles of La

La has a positive relationship with ash content and silica, and a negative relationship with other ash-forming components (Fig. 8). This indicates its input with terrigenous material of acidic composition. It can be present as an impurity in silicates (albite, muscovite) (Mitskevich, 1976; Shcherban, 1986). The high positive relationship of La with Ti ($r = 0.41$) suggests the presence of an admixture of La in accessory titanium minerals (ilmenite, rutile). Lanthanum could enter the peat bed with the solution in the form of simple cations, complex carbonate and fluorine anions (Kraynov, Shvets, 1980; Yudovich, Ketris, 2002). The positive correlation with bitumen ($r = 0.29$) and such microcomponents as xylinite and parenchymite (r up to 0.15) indicates the possibility of lanthanum occurrence in the OM of coal, both in the sorbed form and in the form of organic complexes.

Mn has negative correlations with silicates and ash content and positive correlations with calcium, magnesium and sulfur oxides (Fig. 9).



Fig. 9. Correlation profiles of Mn

This suggests its presence as an impurity in carbonates and iron sulfides. The Mn admixture is inherent to micas (biotite, muscovite), hydromicas (glauconite) and some accessory minerals (garnet, staurolite, ilmenite, magnetite) (Lazarenko, Vinar, 1975). Migration of Mn, which is released during weathering of crystalline rocks, is possible not only in mineral form, but also in solutions in the form of elemental cations and hydroxocomplex anions (Kraynov, Shvets, 1980; Yudovich, Ketris, 2002). Mn is slightly positively correlated with humic acids ($r = 0.15$), phyllinite and sclerotinite ($r = 0.12$ – 0.13). According to (Manskaya, Drozdova, 1964), manganese may be present in coal in the form of organometallic complexes.

Ni does not correlate with ash content and ash-forming components (Fig. 10), except for K_2O oxide. It can be found in a non-mineral sorbed form in clay minerals, micas, and also as an impurity in some accessory minerals (staurolite, magnetite) (Lazarenko, Vinar, 1975). Nickel enters the peat bed in the form of elemental cations and hydroxocomplex anions (Kraynov, Shvets, 1980; Yudovich, Ketris, 2002). It is positively correlated with bituminite-desmrite ($r = 0.20$). It can probably be found in coal in sorbed form and in the form of humates (Yudovich, Ketris, 2002).

According to the authors, the main amount of elements in coal is accumulated at the stage of sedimentogenesis. It is during peat formation that OM is characterized by high reactivity, with the highest sorption and ion exchange properties. At this stage, optimal conditions for contact and interaction with chemical elements introduced into the peat bed were created.

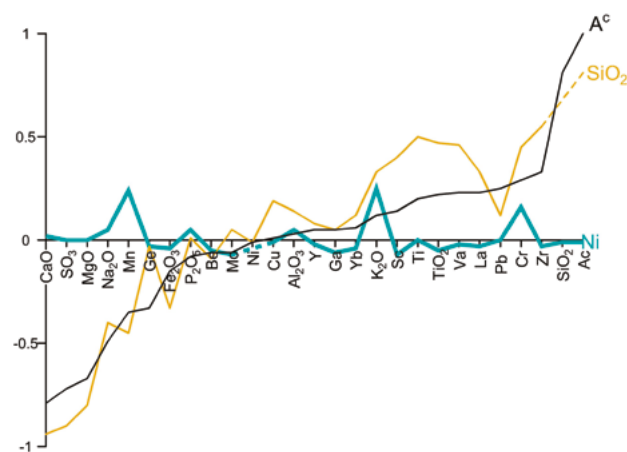


Fig. 10. Correlation profiles of Ni

As mentioned above, all the elements considered migrated in solutions in the form of simple ions, oxyanions and complex compounds whose ligands were hydroxide, carbonate or fluoride ions.

However, it should be noted that natural waters contain a large number of natural organic compounds (humic and fulvic acids). Due to their chemical structure and the presence of functional groups, they can form complexes with migrating metals, which vary in strength and solubility and are capable of moving over long distances (Manskaya, Drozdova, 1964; Kravynov, Shvets, 1980). They, like the above-mentioned forms of migratory elements, can be introduced into the peat bed and absorbed by the peat OM.

Conclusions

It was found that the source of rare and trace elements in brown coal is the crystalline rocks of the USh and their weathering crust. They entered the peat bed with groundwater and surface water in the form of suspensions, the solid phase of which was formed as a result of erosion of crystalline rocks and weathering crust. The considered elements also migrated in solution in the form of simple ions, oxyanions and complex compounds whose ligands were hydroxide, carbonate or fluorine ions. Their migration is also possible in the form of soluble organic complexes.

The considered elements are found in coal as impurities or main components in minerals dispersed in the coal substance, in the form of finely dispersed inclusions sorbed on the coal surface, and in the form of organometallic compounds.

For the first time, an analysis of the correlations of the considered elements with the microcomponents of the coal OM of the lignite, huminite-helite, fusinite and liptinite groups is presented.

The most coalphilic elements are Be, Yb, Y, Ge, Mo, Sc. Elements such as Ti, Zr, V, Cr, Pb, Ga, Cu, La, Mn, Ni are more often associated with terrigenous material, which does not exclude their presence in coal in sorption and organically bound form.

The high correlation of Ge with the resin content of the benzene extract allows to obtain Ge in the technological process of separation of bitumen from coal.

The work was carried out at the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine within the framework of the research on the topic "Coal-Bearing and Shale-Bearing Formations of Ukraine and Related Mineral Resources of Strategic Importance (code: III-3-24)" for 2024-2027 (code for program classification of expenditures and lending to local budgets 6541030).

Вивчено геохімічні особливості вугілля Верхньодніпровського родовища Дніпровського буровугільного басейну, що знаходиться в межах Придніпровського мегаблоку Українського щита. Визначено положення родовища в межах щита за металогенічним, геохімічним та ландшафтно-геохімічним районуванням. Показано, що джерелом надходження у вугілля рідкісних та розсіяних елементів є кристалічні породи Українського щита. З допомогою кореляційного аналізу проведено оцінку асоційованості розглянутих елементів. Виділено дві стійкі асоціації: Yb-Y-Be та Ti-Zr-Sc-V-Cr. Виявлено шляхи міграції елементів у торфовище та можливі форми фіксації елементів в органічній речовині вугілля. Вперше представлено аналіз кореляційних зв'язків розглянутих елементів з мікрокомпонентами органічної речовини вугілля груп лігнітиту, гумініто-геліту, фюзиніту та ліптиніту. Найбільш вуглефільними є елементи Be, Yb, Y, Ge, Mo, Sc. Такі елементи, як Ti, Zr, V, Cr, Pb, Ga, Cu, La, Mn, Ni, частіше пов'язані з теригенним матеріалом, що не виключає їх присутності у вугіллі в сорбційній та органічно пов'язаній формах. Виявлено високу кореляційну залежність Ge від вмісту смоли бензолного екстракту, що дозволяє отримати германій у технологічному процесі виділення з вугілля бітуму.

References

- Bochay L.V., Pokidko V.E., Kulish E.A., Kolosovskaya V.A. 1999. Map of rare-metal ore mineralization of the Ukrainian Shield. Scale 1:1,500,000. Explanatory note. Kyiv: Geoinform (in Russian).
- Diessel C.F.K. 1992. Coal-Bearing Depositional Systems. Berlin: Springer-Verlag.
- Galetskiy L.S. (Ed.). 1984. Precambrian geology and metallogeny of the Ukrainian Shield: a set of maps at the scale of 1:1,000,000. Explanatory note. Book 2. Geochemical Map of the Ukrainian Shield. Kyiv: Ministry of Geology of the Ukrainian SSR (in Russian).
- Goshovskiy S.V. (Ed.). 2003. Complex metallogenic map of Ukraine at the scale of 1:500,000 and explanatory notes. Kyiv: Publ. of UkrDGRI (in Ukrainian).
- Ignatchenko N.A., Zaitseva L.B. 1978. Principles of rational classification of microcomponents and coal types in the Dnieper basin. *Geologičnij žurnal*, 38 (6): 72–82 (in Russian).
- Ivanova A.V., Zaitseva L.B., Gavryltsev V.B. 2021. Reconstruction of sediment and peat accumulation conditions based on the petrographic composition of coal in the Verkhnedneprovsk deposit, Dnieper brown coal basin. *Lithology and Mineral Resources*, 56 (6): 535–547. DOI: [10.1134/S0024490221050023](https://doi.org/10.1134/S0024490221050023)
- Kler V.R. 1979. Study of associated minerals during the exploration of coal deposits. Moscow: Nedra (in Russian).
- Kraynov S.R., Shvets V.M. 1980. Basics of groundwater geochemistry. Moscow: Nedra (in Russian).
- Kyryliuk V.P., Shevchenko O.M. 2023. Determining structural elements of the Ukrainian Shield basement (from the experience of compiling maps of geological content). *Mineral resources of Ukraine*, 4: 27–37. DOI: [10.31996/mru.2023.4.27-37](https://doi.org/10.31996/mru.2023.4.27-37) (in Ukrainian).
- Lazarenko E.K., Vynar O.M. 1975. Mineralogical dictionary: Ukrainian-English. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Lepigov G.D., Samarin M.A., Guridov S.A., Zarutsky K.M. 1986. The role of the structure and composition of the basement in the metal content of the Dneprobass coal. *Tectonics and Stratigraphy*, 27: 5–41 (in Russian).
- Manskaya S.M., Drozdova T.V. 1964. Geochemistry of organic matter. Moscow: Nauka (in Russian).
- Mitskevych B.F. 1962. Germanium in rocks of the north-western part of the Ukrainian Crystalline Shield. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 1: 82–85 (in Ukrainian).
- Mitskevych B.F. 1971. Geochemical landscapes of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Mitskevich B.F. (Ed.). 1976. Accessory minerals of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Mitskevych B.F., Sushchik Y.Ya., Samchuk A.I. 1983. The form of metals migration as an indicator of the conditions of formation of dispersion flows of ore deposits. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Series B*, 8: 21–23 (in Ukrainian).
- Nechaev S.V., Gintov O.B., Mychak S.V. 2019. On the relation between the rare-earth – rare-metal and gold ore mineralization and fault-block tectonics of the Ukrainian Shield.1. *Geophysical Journal*, 41 (1): 3–32. DOI: [10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158861](https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158861) (in Russian).
- Radzivil A.Ya., Guridov S.A., Samarin M.A., Metalidi S.V., Oksenchuk R.M. 1987. The Dnieper brown coal basin. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Saprykin F.Ya., Bogdanov V.V. (Eds.). 1967. Methodological guide to the study and assessment of coal deposits of germanium and other rare elements. Moscow: Nedra (in Russian).
- Shcherban I.P. (Ed.). 1986. Rare elements of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Shevchenko O.E., Goyzhevskiy A.A. 1984. Metallogenic zoning and ore-bearing prospects of the sedimentary cover of the Ukrainian Shield. In: *Metallogeny of the Phanerozoic platform part of Ukraine*. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 55–62 (in Russian).
- Werner H. 1954. Über den Nachweis mariner Beeinflussung von Torf und Kohle. *Geol. Jahrb.*, 69: 287–292.
- Yudovich Ya.E. 1978. Geochemistry of fossil coals. Leningrad: Nauka (in Russian).
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. 2002. Inorganic matter of coal. Ekaterinburg: UrO RAN (in Russian).
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. 2004. Germanium in coal. Syktyvkar: Komi NTs UrO RAN (in Russian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.301847>

UDC 561:551.735(477.6)

A new record of the myriapod genus *Arthropleura* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854 from the Pennsylvanian of Ukraine

E-mail: vitaly Dernov@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-5873-394X>

Received / Надійшла до редакції:
22.07.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
10.11.2024

Accepted / Прийнята:
10.01.2025

V.S. Dernov^{1, 2}

¹Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ²National Museum of Natural History of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Нова знахідка багатоніжок роду *Arthropleura* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854 у пенсильванії України

В.С. Дернов^{1, 2}

¹Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна; ²Національний науково-природничий музей НАН України, Київ, Україна

Keywords: Arthropoda, *Arthropleura*, Myriapoda, Pennsylvanian, Donets Basin, Ukraine.

Ключові слова: членистоногі, багатоніжки, *Arthropleura*, пенсильваній, Донецький басейн, Україна.

New finds of remains of probably juvenile giant terrestrial myriapods belonging to the genus *Arthropleura* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854, defined under open nomenclature only to the genus level (*A. sp.*), are described from continental (probably lacustrine) rocks of the Mospyne Formation (late Bashkirian, Early Pennsylvanian) of the southern Luhansk Region, eastern Ukraine. The specimens of *A. sp.* differ from most arthropleurid fossils described and figured by previous researchers by their much smaller size, much fewer tubercles on the surface of the probable paratergites, and the absence of a significant size gradation of the tubercles. The new findings support the assumption of some researchers that juvenile and adult individuals of the genus *Arthropleura* may have chosen different habitats for their existence.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Citation: Dernov V.S. 2025. A new record of the myriapod genus *Arthropleura* Jordan et von Meyer, 1854 from the Pennsylvanian on Ukraine. *Geologičnij žurnal*, 1 (390): 33–43. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.301847>

Цитування: Дернов В.С. Нова знахідка багатоніжок роду *Arthropleura* Jordan et von Meyer, 1854 у пенсильванії України. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 33–43. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.301847>

Introduction

Giant myriapods of the genus *Arthropleura* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854, with some individuals reaching a length of about 2.5 m (Hahn et al., 1986; Schneider, Werneburg, 1998, 2010; Pillola, Zoboli, 2021), are among the largest terrestrial invertebrates in the Earth history. This genus ranged from the late Visean (Mississippian) to the Sakmarian (Cisuralian, Permian) of the palaeoequatorial belt of Euramerica (Schneider et al., 2010; Chaney et al., 2013; Davies et al., 2021).

In the fossil record, these arthropods are represented mainly by isolated fragments of the exoskeleton (see review in (Davies et al., 2021)), as well as giant trackways named *Diplichnites cuithensis* Briggs, Rolfe et Brannan, 1979 and its junior synonym *D. minimus* Walter et Gaitzsch, 1988 (Ferguson, 1966; Ryan, 1986; Marks, 1998; Lucas et al., 2005; etc). Trackways assigned to *Diplichnites cuithensis* with widths of 18–50 cm and *D. minimus* with widths of 5–8 cm have been reported from the Visean to the Cisuralian of the USA, Canada, Scotland, France, Germany, Ukraine, and Kazakhstan (for more details see (Moreau et al., 2021: Table 2) and (Davies et al., 2021: Table 1)).

At present, only three more or less complete adult specimens of *Arthropleura* are known, two of which come from the Pennsylvanian of Germany (Guthörl, 1934, 1935; Hahn et al., 1986; Schneider, Barthel, 1997; Schneider et al., 2010) and one specimen was described by Davies et al. (2021) from the Serpukhovian of England. There are several reports of complete exoskeletons of apparently juvenile individuals of *Arthropleura* (Calman, 1915; Almond, 1985; Briggs, Almond, 1994; Schneider et al., 2010; Lhéritier et al., 2024).

Previously, the present author (Dernov, 2019a) figured body remains of *Arthropleura* sp. and locomotion traces assigned to *Diplichnites cuithensis* from two deltaic sandstone beds in the middle part of the Mospyne Formation (late Bashkirian, Early Pennsylvanian) exposed near the village of Makedonivka in Luhansk Region, eastern Ukraine. The body remains of *Arthropleura* sp. are very fragmentary here and occur together with pebbles and plant debris as clusters of numerous exoskeleton fragments on the sandstone bedding plane. The new finds of arthropleurid remains from the Mospyne Formation exposed in the south part of Luhansk Region are described on this paper. These finds come from a new

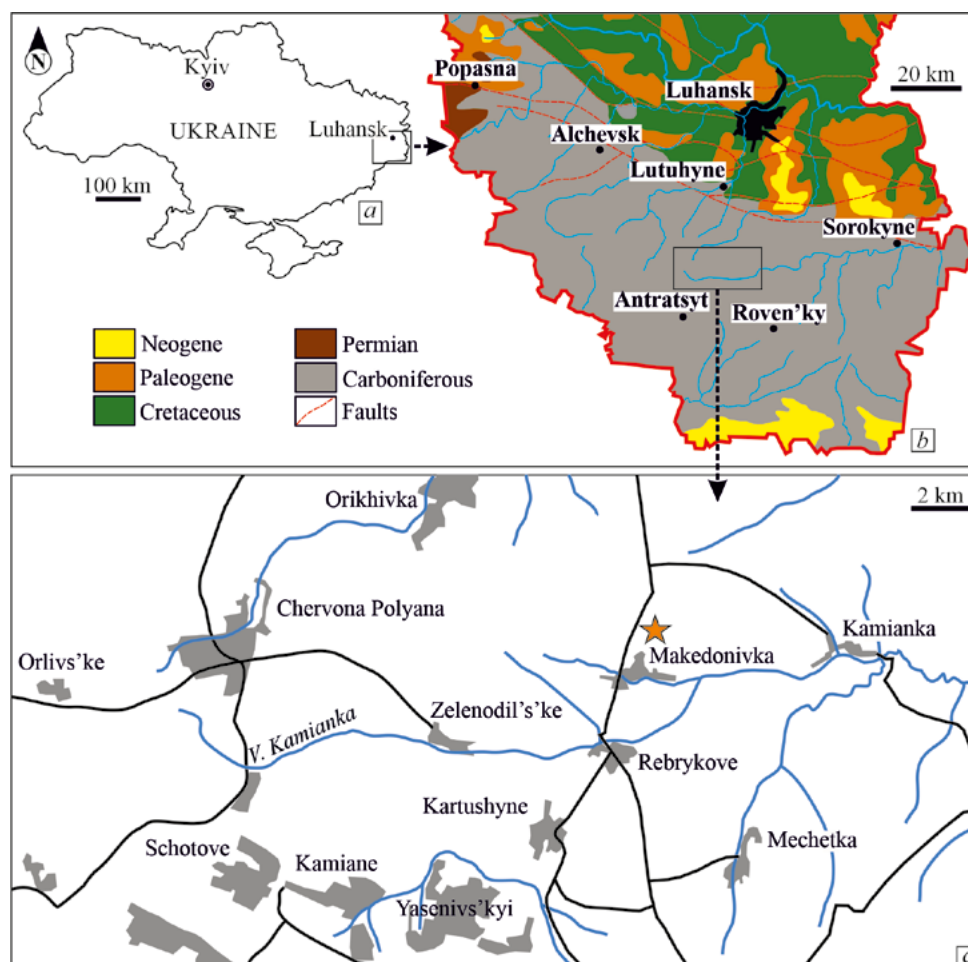


Fig. 1. Geographical location of the arthropleurid-bearing locality (orange asterisk)

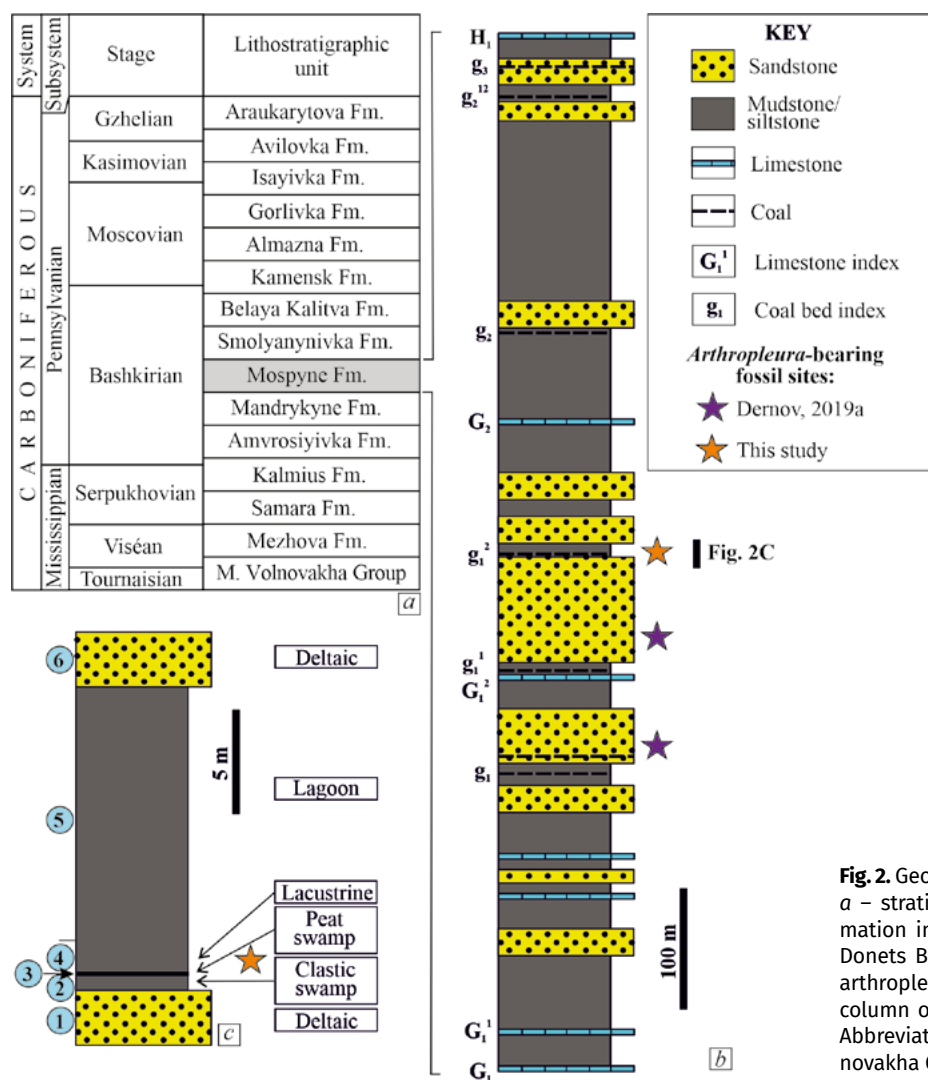


Fig. 2. Geological setting of the studied fossil site: a – stratigraphic position of the Mospyne Formation in the Carboniferous succession of the Donets Basin, b – stratigraphic position of the arthropleurid-bearing fossil sites, c – lithological column of the arthropleurid-bearing fossil site. Abbreviation: M. Volnovakha Group – Mokra Volnovakha Group

stratigraphic level and facies than the previously described fossils (Dernov, 2019a). Various groups of non-marine arthropods have been previously studied from the Carboniferous of the Donets Basin, i.e., arthropleurids (Dernov, 2019a), eurypterids (Chernyshev, 1933; Shpinev, 2014), horseshoe crabs (Chernyshev, 1927, 1928; Karlov, 1948; Shpinev, 2018; Dernov, 2019a, 2019b), trigonotarbid (Dunlop, Dernov, 2023), thelyphonids (Selden et al., 2013), conchostracans (Chernyshev, 1927, 1928; Dunaeva, 1950), cyclids (Dernov, 2022c), freshwater barnacles (Tchernyshev, 1935), pygocephalomorphs (Birshtein, 1966; Schram, 1980), and insects (Sharov, Sinitshenkova, 1977; Aristov, 2015; Dernov, 2019a; Aristov, Rasnitsyn, 2022). Unfortunately, many of these groups need to be revised, because much time has passed since their original study and the taxonomy of arthropods has undergone significant changes since. Arthropleurids are an excellent tool for palaeogeographic and palaeobiogeographic reconstructions, since these arthropods predominantly inhabited wetland forests of the palaeoequatorial belt.

Geological setting

Locality. The studied body fossils of *Arthropleura* sp. were collected from dumps of a small, very old (c. 100–120 years old) coal mine near the village of Makedonivka (Ukraine, Luhansk Region; coordinates: 48°14'36"N 39°17'58"E) (Fig. 1). The fossil-bearing rock is a roof shale of the g₁² coal bed in the middle part of the Mospyne Formation (Fig. 2, b).

Numerous animal fossils such as the non-marine bivalves *Curvirimula trapeziforma* (Dewar, 1939) (Fig. 3, d, e) and *C. tessellata* (Jones, 1891) (Fig. 3, f), a juvenile horseshoe crab, problematic remains, fish scales assigned to *Rhizodopsis sauroides* (Williams, 1849) (Fig. 3, i) and *Rhabdoderma elegans* (Newberry, 1856), a bradyodont tooth assigned to *Helodus* sp., and undetermined fish remains (Fig. 3, g) have been collected from this stratigraphic level (Dernov, 2019b, 2022a).

A rich terrestrial plant assemblage consisting of *Asolanus camptotaenia* Wood, 1860,



Fig. 3. Geological and palaeontological features of the *Arthropleura*-bearing shale above the g_2 coal bed: *a* – general view of the studied fossil site, *b* – pteridosperm *Neuraethopteris schlehanii* (Stur, 1877) Cremer, 1893, *c* – pteridosperm *Paripteris gigantea* (Sternberg, 1823) Gothan, 1941, *d*, *e* – bivalves *Curvirimula trapeziforma* (Dewar, 1939), *f* – bivalve *Curvirimula tessellata* (Jones, 1891), *g* – impression of the fish fin, *h* – limonitized coprolite, *i* – fish scale *Rhizodopsis sauroides* (Williams, 1849), *j* – ?bromalite, *k* – trace fossil *Cochlichnus anguineus* Hitchcock, 1858. Scale bars = 5 mm

Bothrodendron minutifolium (Boulay, 1876) Zeiller, 1879, *Cyperites bicarinatus* Lindley et Hutton, 1832, *Halonina* sp., *Lepidodendron lycopodioides* Sternberg, 1820, *Lepidophloios laricinus* (Sternberg, 1820) Goldenberg, 1857, *Lepidostrobophyllum* sp., *Syringodendron* sp., *Stigmaria ficoides* (Sternberg, 1820) Brongniart, 1822, *Asterophyllites grandis* (Sternberg, 1825) Geinitz, 1854, *As. longifolius* (Sternberg, 1825) Brongniart, 1828, *Calamites carinatus* Sternberg, 1823, *C. undulatus* Sternberg, 1825, *C. cistii* Brongniart, 1828, *Pinnularia capillacea* Lindley et Hutton, 1834, *Sphenophyllum cuneifolium* (Sternberg, 1821) Zeiller, 1879, *Corynepteris coralloides* (Gutbier, 1835) Zeiller, 1888, *Dictyoxylon* sp., *Eusphenopteris* cf. *obtusiloba* (Brongniart, 1830–1831) Novik, 1947, *Neuraethopteris schlehanii* (Stur, 1877) Cremer, 1893 (Fig. 3, b), *Paripteris gigantea* (Sternberg, 1823) Gothan, 1941 (Fig. 3, c), etc., was collected at this fossil site (Dernov, Udovychenko, 2019). Plant fossils sometimes bear bioturbations (e.g., galls, ovipositions, and margin feedings) (Dernov, 2021). The trace fossils *Planolites beverleyensis* (Billings, 1862) and *Cochlichnus anguineus* Hitchcock, 1858 (Fig. 3, k) were also found here (Dernov, 2019b, 2023).

Stratigraphy. The arthropleurid-bearing rocks lie in the middle part of the Mospyne Formation (see Fig. 2, a, b), which consists of a 315 to 730-m-thick sequence of mudstones, siltstones, sandstones, limestones, and coals (Aisenverg et al., 1963, 1975; Feofilova, Levenstein, 1963; Dunaeva, 1969; Poletaev et al., 2011; Nemyrovska, Yefimenko, 2013). The formation corresponds to the lower part of the Zuyivkian Horizon (lower half of the Kayalian Regional Stage) of the Regional stratigraphic scheme of the Don-Dnipro Trough (Poletaev et al., 2011; Nemyrovska, Yefimenko, 2013). The lower part of the formation (below the g_1 coal bed) in the study area is replaced by the shale-dominated succession, which is very poor in fossils. Apparently, this part of the Mospyne Formation should be referred to the Dyakove Group (late Visean–late Bashkirian) (Dernov, 2022b; Dernov, Poletaev, 2024).

The Mospyne Formation contains typical Langsettian terrestrial plants (Novik, 1974; Dernov, Udovychenko, 2019) and ammonoids (Popov, 1979; Dernov, 2022b), non-marine bivalves of the upper part of the *lenisulcata* Zone and the lower part of the *communis* Zone (Dernov, 2022a), the late Bashkirian conodonts *Declinognathodus noduliferus* (Ellison et Graves, 1941) s.l., ?*D. pseudol-*

ateralis Nemyrovska, 1999, *Idiognathodus prae-delicatus* Nemyrovska, 1999, *Id. primulus* Higgins, 1975, *Id. sinuosus* Ellison et Graves, 1941, and *Idiognathoides lanei* Nemirovskaya in Kozitskaya et al., 1978 (Nemyrovska, 1999), and other marine and terrestrial biota such as miospores, foraminiferans, corals, bryozoans, brachiopods, scaphopods, gastropods, horseshoe crabs, insects, and fishes.

Taphonomy and palaeoecology. As the studied fossils were collected in the dumps of a small coal mine, they probably originate from different parts of the roof shale of the g_1^2 coal seam. As a rule, roof shales of coal beds in the Donets Basin consist of several palaeoenvironmental “zones” differing in depositional conditions (Chernyshev, 1931; Yefimov, 1934; Logvinenko, 1953; Posudiyevsky, 1977; Dernov 2022a), namely: (1) Swamp (in the lower part) and lacustrine (in the upper part) black mudstone and siltstone with frequent plant debris, non-marine bivalves, and conchostracans; (2) Shallow marine and brackish black mudstone and siltstone with lingulide brachiopods, marine bivalves, and ostracods; (3) Offshore marine shale with marine bivalves, gastropods, ammonoids, and other normal marine fauna. The remains of *Arthropleura* apparently originate from the lacustrine black shale of the swamp/lacustrine “zone”.

The trace fossils assigned to *Cochlichnus anguineus* Hitchcock, 1858 (see Fig. 3, k), which are interpreted as locomotion traces of nematodes, insect larvae, or annelids (Gluszek, 1995; Metz, 1995; Buatois et al., 1996, 1997; Lucas et al., 2004), were found at the site. In addition, feeding traces of unidentified “worm-like organisms” (Mikuláš, Dronov, 2006), *Planolites beverleyensis* (Billings, 1862), have been found at several stratigraphic levels of the studied section. In the roof of the sandstone unit (Bed No. 1; see Fig. 2, c), myriapod locomotion traces assigned to *Diplopodichnus biformis* Brady, 1947 were found; arthropod locomotion traces *Diplichnites* isp. have been found in the Bed No. 6. The horseshoe crab resting traces *Selenichnites hundalensis* (Romano et Whyte, 1987) with *Planolites beverleyensis* were found at the base of the Bed No. 7.

The remains of bivalves from the roof shales of the g_1^2 coal bed are often represented by shell fragments. The formation of shell debris is probably not related to the influence of abiotic environmental factors (e.g., high water activity), since, on the basis of the lithological features, mudstone was formed under conditions of low water dynam-

ics. It is possible that sclerophagous fishes that fed on molluscs were the producers of shell debris. Together with bivalves, a single tooth plate of the bradyodont fish belonging to the genus *Helodus* and scales of sarcopterygians were found in the Bed No. 4. In the same mudstones, elongated clusters of small fish scales and bone debris are often observed, which may be fish bromalites (see Fig. 3, j).

Bivalves of the studied locality existed in shallow eutrophic freshwater or brackish lakes located on the coastal accumulative lowland. These palaeobasins were characterized by a significantly depleted composition of aquatic organisms, low sedimentation rate, dysaerobic environments, and an active supply of nutrients from the adjacent lowland wetland (Dernov, 2022a).

The representatives of the genus *Curvirimula* probably led a pseudoplanktonic lifestyle, attaching themselves to various floating (e.g., wood fragments) or bottom-located objects (e.g., benthic macroscopic algae) (Warth, 1967; Wignall, Sims, 1990). In this way, these molluscs rose above the oxygen-depleted water column zone. It should be noted that the pseudoplanktonic lifestyle may be optional for these molluscs and under more favorable conditions they could lead a benthic lifestyle. The coastal zone of these lakes was covered by dense, but systematically monotonous, hydrophilic vegetation represented by monotonous assemblages of the arborescent sphenopsid genus *Calamites* (Fissunenکو, 1987). Bivalves of the genus *Curvirimula* existed in brackish water basins (Betekhtina, 1974; 1979; Anderson et al., 1997).

Material and methods

Two newly collected, poorly preserved fragmental impressions of supposed paratergites of *Arthropleura* sp. preserved in carbonaceous, black mudstone (specimen GMLNU-19/01) and siltstone (specimen NMNH-G 8640/01) together with rare plant debris were examined in this study. One fossil described below has been previously figured by the author (Dernov, 2019b: Fig. 3.6), but not formally described. Studied fossils, collected by the author during fieldwork in 2013–2014, are stored in the Department of Geology, National Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv (specimen NMNH-G 8640/01) and in the Geological Museum of the Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava (specimen GMLNU-19/01).

Systematic palaeontology

Phylum Arthropoda von Siebold, 1848

Subphylum Myriapoda Latreille, 1802

Order Arthropleurida Waterlot, 1934

Family Arthropleuridae von Zittel, 1885

Genus *Arthropleura* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854

Type species. *Arthropleura armata* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854; by original designation.

Arthropleura sp.

Fig. 4

Material. Two poorly preserved fragmental impressions of probable paratergites with partially preserved carbonized cuticle from the roof shale of the g₁² coal bed, late Bashkirian-aged Mospyne Formation (fossil site near the village of Make-donivka, Luhansk Region, Ukraine).

Description. Specimen NMNH-G 8640/01 (Fig. 4, a) is a fragment of a weakly convex sub-triangular left lateral (?)paratergite, about 10 mm long and 6 mm wide, preserved as a thin carbonized film in siltstone together with small carbonized plant debris. Two short, slightly curved faint furrows, 3–4 mm long and c. 1 mm thick, are situated on the outer surface of the (?)paratergite, in the area close to the supposed medial tergite. Four sharp, rounded and slightly ellipsoidal tubercles (three clearly visible and one faintly visible), 1 mm in diameter at the base, spaced about 2.0–2.5 mm apart, are arranged in a checkerboard pattern near the narrow (lateral) margin of the (?)paratergite. One or two tubercles have broken-off tips and are therefore truncated. The surface of the (?)paratergite between the tubercles is smooth and shows no evidence of the surface fine ornamentation.

Specimen GMLNU-19/01 (Fig. 4, b) is a sub-triangular fragment of a flattened (?)paratergite, about 14 mm long and 9 mm wide at its widest part, preserved as a thin carbonized film in mudstone. The outer surface of the (?)paratergite bears four well-defined ellipsoidal and rounded tubercles, 1–2 mm in diameter, spaced 3.0–3.5 mm apart and arranged in a checkerboard pattern, and one barely visible slightly larger ellipsoidal tubercle 2.5 mm in length along the long axis. Most of the tubercles are truncated because they have broken-off tips. The surface of the (?)paratergite between the tubercles is smooth and shows no evidence of the surface fine ornamentation.

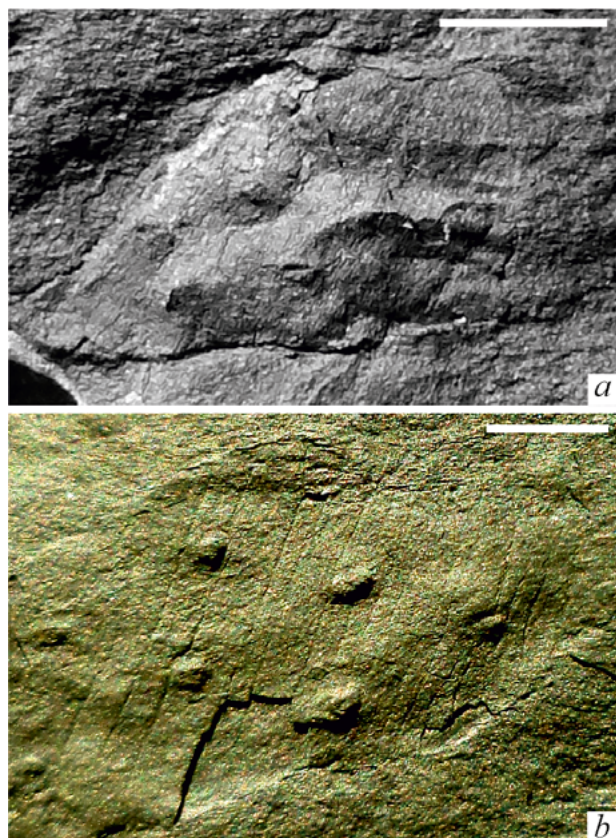


Fig. 4. *Arthropleura* sp. from the Mospyne Formation of the Donets Basin: *a* – specimen NMNH-G 8640/01, *b* – specimen GML-NU-19/01. Scale bars = 5 mm

Remarks. It is not possible to compare the specimens of *A. sp.* described here with reliably identified remains of species of the genus *Arthropleura*, since the available material, limited in quantity, is very poorly preserved and may belong to juvenile individuals of this genus, which, unfortunately, are less frequently described (e.g., Calman, 1915; Almond, 1985; Briggs, Almond, 1994) than the remains of adults.

Occurrence. Late Bashkirian-aged Mospyne Formation of the central Donets Basin, Ukraine.

Discussion

The previously reported occasional finds of the trackway *Diplichnites cuithensis* from the Donets Basin (Dernov, 2019a: Fig. 8.9) confirm the opinion of Schneider et al. (2010) that the limited record of these large trace fossils in Central and Eastern Europe, where *Arthropleura* body remains are very common, is simply due to the lack of large exposure surfaces in Upper Palaeozoic fluvial sandstone units. In the recent past, laminated marine and rarely deltaic sandstones have been actively mined in the Donets Basin. Alluvial sandstones, in which *Diplichnites cuithensis* is most commonly

preserved (see (Schneider et al., 2010)) for a review, have hardly been mined, thus there are no large areas of exposed alluvial sandstone bedding planes.

It should be noted that the only figured specimen of *Diplichnites cuithensis* from the Donets Basin (Dernov, 2019a: Fig. 8.9) is rather poorly preserved, probably caused by wave erosion, and is also represented by a small fragment of a trackway. In terms of preservation, this specimen is similar to traces of *Diplichnites cuithensis* from the Pennsylvanian of Kentucky, USA (Martino, Greb, 2009). However, unlike the trace fossils from Kentucky, *Diplichnites cuithensis* from the Donets Basin are located on an erosion surface that was probably not covered with microbial mats, which may greatly enhance the preservation of animal surface tracks (Seilacher, 2008; Marty et al., 2009; Carmona et al., 2012), including the trackways *Diplichnites cuithensis* (Prescott et al., 2014).

It is impossible to attribute the described probable paratergites to a specific species of the genus *Arthropleura*, since they are very poorly preserved and represented by only two specimens. Externally, the two specimens of *Arthropleura* sp. described above differ somewhat from each other, so it is likely that they belong to different species of the genus *Arthropleura*, although this cannot be proven based on the available material.

The specimens of *A. sp.* described above differ from most arthropleurid fossils described and figured by previous researchers (e.g., Pruvost, 1912, 1930; Waterlot, 1934; Copeland, 1957; Castro, 1997; Pacyna et al., 2012; Pillola, Zoboli, 2021) by their much smaller size, far fewer tubercles on the surface of the probable paratergites, and the absence of a significant size gradation of the tubercles. However, the latter feature may be caused by the small size of the studied fossils and their poor preservation. It should be noted that the paratergite of *Arthropleura armata* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854 from the Visean of Germany (Rößler, Schneider, 1997: Fig. 16a, b; Schneider et al., 2010: Fig. 9B) bears tubercles arranged in a staggered pattern and differing slightly in size.

It is likely that the described material represents the remains of juvenile individuals of *Arthropleura*. The paratergites of juvenile arthropleurids from the latest Stephanian–earliest Autunian of Montceau-les-Mines in France (see (Schneider et al., 2010: Fig. 10A, B; Schneider, Werneburg, 2010: Fig. 11; Lhéritier et al., 2024: Fig. 6)), bear rare tubercles of approximately the same size. The same applies to the

juvenile specimen of *Arthropleura* described under the name *A. moyseyi* Calman, 1915 from the Westphalian of England (Calman, 1915). These tubercles are sometimes staggered, although more often they are arranged linearly. In addition to spines, the paratergites also have a broad longitudinal ridge. Schneider et al. (2010) also reported very long and thin, spike-like sculpture cones on the paratergites of *A. moyseyi*, which are only observed on silicon rubber casts, but are not visible on the holotype of *A. moyseyi* (see GB3D Type Fossils).

On the other hand, it should be noted that the small size of the arthropleurid remains described here could be a collecting artifact, as the *Arthropleura*-bearing fossil site is an old mine dump composed of weathered small (up to 5 cm) pieces of rock. Under such conditions, large fragments of *Arthropleura* exoskeletons could not have been preserved.

Juvenile and adult arthropleurids may have inhabited different habitats and the preferred habitat of adult arthropleurids could be characterized as loosely vegetated sandy areas in open river landscapes under a year-round wet climate in coastal environments to seasonally wet, semi-humid climates in continental settings (Schneider et al., 2010). Therefore, the absence of remains of adult arthropleurids in the material described here could also be due to these reasons, although the small amount of material studied does not allow us to determine this with certainty.

Another morphological feature of the fossils described above that distinguishes them from the remains of *Arthropleura* described by previous authors (e.g., Pillola, Zoboli 2021) is the absence of fine ornamentation on the surface of the exoskeleton fragments, which cannot be explained by the insufficient preservation of the described fossils,

which were preserved in fine-grained rocks (siltstone and mudstone) as positive impressions with partially preserved carbonized cuticle. The absence of surface texture on fragments of the exoskeleton is characteristic of arthropleurid remains buried in coarse-grained psammite rocks (Davies et al., 2021).

Conclusions

The study of new finds of remains of terrestrial arthropods of the genus *Arthropleura* from the Pennsylvanian of the Donets Basin demonstrated the great importance of the so-called collecting artifact in the completeness of collections of arthropleurid remains and the age structure of representatives of these arthropods in these collections. The absence of complete trackways of arthropleurids belonging to the ichnospecies *Diplichnites cuithensis* in the Upper Palaeozoic of Central and Eastern Europe is probably due to the lack of large areas of exposed fluvial sandstones of this age in these macroregions. The arthropleurid fossils and locomotion traces from the Mospyne Formation of the Donets Basin described in this paper and studied earlier may indicate different living conditions for juvenile and mature arthropleurids, as proposed by some previous researchers.

Acknowledgments. I thank Dr Joerg Schneider (Freiberg) for his help with interpretation of the specimen NMNH-G 8640/01 and Dr Jason Dunlop (Berlin) for improving the quality of an earlier version of the manuscript. I would like to thank the anonymous reviewers who helped improve the quality of this article. The research was carried out within the framework of the programme “Late Precambrian and Phanerozoic biota of Ukraine: biodiversity, revision of systematic composition and phylogeny of leading groups” (No. 0122U001609).

З континентальних (ймовірно, озерних) порід моспінської світи (верхня частина башкирського ярусу, нижній пенсильваній) півдня Луганської області описано нові знахідки решток, вірогідно, ювенільних особин гігантських наземних багатоніжок роду *Arthropleura* Jordan in Jordan et von Meyer, 1854, визначених за відкритою номенклатурою лише до родового рівня (*A. sp.*). Вивчені рештки *A. sp.* відрізняються від більшості скам'янілостей артроплеврид, описаних і зображених попередніми дослідниками, значно меншими розмірами, значно меншою кількістю горбків на поверхні паратергітів і відсутністю значної градації розмірів цих горбків. Нові знахідки підтверджують припущення деяких дослідників щодо того, що молоді та дорослі особини роду *Arthropleura* могли обирати різні біотопи для свого існування.

References

- Aisenverg D.Ye., Belenko N.G., Dedov V.S., Levenshtein M.L., Markarov I.A., Nesterenko L.P., Poletaev V.I., Popov V.S., Sokolova G.U., Fissunen O.P., Shchegolev A.K. 1975. Stratigraphic excursion. In: Aisenverg D.Ye., Lagutina V.V., Levenshtein M.L., Popov V.S. (Eds.), *Field excursion guidebook for the Donets Basin*. Moscow: Nauka, pp. 201–245 (in Russian).
- Aisenverg D.Ye., Brazhnikova N.E., Novik K.O., Rotai A.P., Shulga P.L. 1963. Carboniferous stratigraphy of the Donets Basin. Kyiv: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (in Russian).
- Almond J.E. 1985. Les Arthropleurides du Stéphanien de Montceau-les-Mines, France. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Autun*, 115: 59–60.
- Anderson L.I., Dunlop J.A., Horrocks C.A., Winkelmann H.M., Eagar R.M.C. 1997. Exceptionally preserved fossils from Bickershaw, Lancashire UK (Upper Carboniferous, Westphalian A (Langsettian)). *Geological Journal*, 32: 197–210. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1034\(199709\)32:3<197::aid-gj739>3.0.co;2-6](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1034(199709)32:3<197::aid-gj739>3.0.co;2-6)
- Aristov D.S. 2015. Classification of order Eoblattida (Insecta; Blattodea) with description of new taxa. *Far Eastern Entomologist*, 301: 1–56.
- Aristov D.S., Rasnitsyn A.P. 2022. New species of the genus *Glyphyrophlebia* (Insecta, Blattinopsida: Blattinopsidae) from the Upper Carboniferous of Ukraine. *Far Eastern Entomologist*, 450: 9–11. <https://doi.org/10.25221/fee.450.2>
- Betekhtina O.A. 1974. Non-marine bivalves, biostratigraphy and correlation of the Late Paleozoic Coal Measures. Novosibirsk: Nauka (in Russian).
- Betekhtina O.A. 1979. Ecological types of non-marine bivalve assemblages and their significance for biostratigraphy. In: Betekhtina O.A., Zhuravleva I.T. (Eds.), *Environment and life in the geologic past. Problems of ecostratigraphy*. Novosibirsk: Nauka, pp. 63–68 (in Russian).
- Billings E. 1862. New species of fossils from different parts of the Lower, Middle and Upper Silurian rocks of Canada. *Palaeozoic fossils, Geological Survey of Canada*, 1: 96–168. <https://doi.org/10.4095/131583>
- Birshtein Ya.A. 1966. Notes on the Palaeozoic malacostracans of the USSR. Pygocephalomorpha. *Paleontological Journal*, 2: 49–56 (in Russian).
- Boulay N.-J. 1876. Le terrain houiller du Nord de la France et ses végétaux fossils. Thèse de Géologie. Lille: Lefebvre-Ducrocq.
- Briggs D.E.G., Almond J.E. 1994. The arthropleurids from the Stephanian (Late Carboniferous) of Montceau-les-Mines (Massif Central – France). *Mémoires de la Section des Sciences*, 12: 127–135.
- Briggs D.E.G., Rolfe W.D.I., Brannan J. 1979. A giant myriapod trail from the Namurian of Arran, Scotland. *Palaeontology*, 22: 273–291.
- Brongniart A. 1822. Sur la classification et la distribution des végétaux fossiles en général, et sur ceux des terrains de sédiment supérieur en particulier. *Mémoires Muséum d'Histoire naturelle de Paris*, 8: 203–348.
- Brongniart A. 1828. Prodrome d'une histoire des végétaux fossiles. Paris, Strasbourg: F.G. Levrault. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.62840>
- Buatois L.A., Jalfin G., Acenolaza F.G. 1997. Permian nonmarine invertebrate trace fossils from southern Patagonia, Argentina: ichnologic signatures of substrate consolidation and colonization sequences. *Journal of Paleontology*, 71: 324–337. <https://doi.org/10.1017/s0022336000039238>
- Buatois L.A., Mángano M.G., Wu Xiantao, Zhang Guocheng. 1996. Trace fossils from Jurassic lacustrine turbidites of the Anyao Formation (central China) and their environmental and evolutionary significance. *Ichnos*, 4: 287–303. <https://doi.org/10.1080/10420949609380137>
- Calman M.P. 1915. On *Arthropleura moyseyi* n. sp. from the Coal Measures of Derbyshire. *Geological Magazine*, 51: 541–544. <https://doi.org/10.1017/s0016756800153452>
- Carmona N., Bournod C., Ponce J.J., Cuadrado D. 2012. The role of microbial mats in the preservation of bird footprints: a case study from the mesotidal Bahia Blanca estuary (Argentina). In: Noffke N., Chafetz H.S. (Eds.), *Microbial mats in siliclastic depositional systems through time. Society for Sedimentary Geology Special Publication*, 101: 37–45. <https://doi.org/10.2110/sepm.101.037>
- Castro M.P. 1997. Hallazgos de *Arthropleura* en el Estefaniense de la Península Ibérica. *Revista de la Sociedad Española de Paleontología*, 12: 15–22.
- Chaney D.S., Lucas S.G., Elrick S. 2013. New occurrence of an arthropleurid trackway from the lower Permian of Utah. In: Lucas S.G., DiMichele W.A., Barrick J.E., Schneider J.W., Spielmann J.A. (Eds.), *The Carboniferous–Permian transition. New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin*, 60: 64–65.
- Chernyshev B.I. 1927. On *Estheria* and *Estheriella* from the Donets Basin. *Yearbook of the Russian Palaeontological Society*, 6: 67–82 (in Russian).
- Chernyshev B.I. 1928. More on Phyllopoda and Xiphosura of the Donets Basin. *Proceedings of the Geological Committee*, 47: 519–533 (in Russian).
- Chernyshev B.I. 1931. *Carbonicola, Anthracomya and Najadites of the Donets Basin*. Moscow; Leningrad (in Russian).
- Chernyshev B.I. 1933. Arthropods from the Urals and other regions of the USSR. *Materials of the Central Research Institute of Geological Prospecting: Palaeontology and stratigraphy*, 1: 15–24 (in Russian).
- Copeland M.J. 1957. The arthropod fauna of the Upper Carboniferous rocks of the Maritime Provinces. *Geological survey of Canada, Memoir*, 286: 1–110. <https://doi.org/10.4095/101505>
- Cremer L. 1893. Über die Fossilen Farne des Westfälischen Carbons und ihre Bedeutung für eine Gliederung des letzteren. *Mitteilungen aus dem Geologischen Museum der Westfälischen Bergwerkschafskasse*, 1: 1–49.
- Davies N.S., Garwood R.J., McMahon W.J., Schneider J.W., Shillito A.P. 2021. The largest arthropod in Earth history: insights from newly discovered *Arthropleura* remains (Serpukhovian Stainmore Formation, Northumberland, England). *Journal of the Geological Society*, 179: 18 p. <https://doi.org/10.1144/jgs2021-115>
- Dernov V. 2019a. Taphonomy and paleoecology of fauna and flora from deltaic sandstones of the Mospinka Formation (Middle Carboniferous) of the Donets Basin. *GEO&BIO*, 18: 37–63. <https://doi.org/10.15407/gb1805>
- Dernov V.S. 2019b. On the study of the non-marine fauna of the Mospino Formation (Middle Carboniferous, Donets Basin). *Tectonics and stratigraphy*, 46: 105–115. <https://doi.org/10.30836/igs.0375-7773.2019.208882> (in Ukrainian).
- Dernov V. 2021. The earliest insect endophytic oviposition (Early Pennsylvanian, Eastern Ukraine). *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 95: 16–24. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.95.02>
- Dernov V. 2022a. Nonmarine bivalves from the Mospyne Formation (upper Bashkirian) of the Donets Basin: taxonomy, paleoecology, and stratigraphic significance. *Geologichnij žurnal*, 380: 34–56. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.255491> (in Ukrainian).
- Dernov V. 2022b. Late Bashkirian ammonoids from the Mospyne Formation of the Donets Basin, Ukraine. *Fossil Imprint*, 78: 489–512. <https://doi.org/10.37520/fi.2022.021>
- Dernov V.S. 2022c. The first record of Cyclida (Pancrustacea, Multicrustacea) in the Carboniferous of the Donets Basin, Ukraine. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, 15: 78–85. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2022.267079>
- Dernov V. 2023. The first record of the trace fossils *Cochlichnus* from the Pennsylvanian continental and marine deposits in the Donets Basin, Ukraine. *Geo&Bio*, 25: 109–120. <https://doi.org/10.53452/gb2508>

- Dernov V.S., Poletaev V.I. 2024. New geological and palaeontological data of the Dyakove Group (Carboniferous) and age-related rock formations of the central Donets Basin, Ukraine. *Geologičnij žurnal*, 386: 3–21. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.1.285644>
- Dernov V.S., Udovichenko N.I. 2019. On the palaeobotanical characteristic of the Mospino Formation. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Geology, Geography, Ecology*, 51: 67–82. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-05> (in Russian).
- Dewar W. 1939. Anthraconauta (*Anthracomya*) minima (Auctorum) and its associates in the Lancashire coalfield. *Bulletin of Geological Survey of Great Britain*, 1: 47–66.
- Dunaeva N.N. 1950. On Branchiopoda from the Upper Carboniferous strata of the Donets Basin. *Materials on the stratigraphy and palaeontology of the Donets Basin*. Kharkiv; Moscow: Ugletekhnizdat, pp. 160–174 (in Russian).
- Dunaeva N.M. 1969. Open Donets Basin. In: Bondarchuk V.G. (Ed.), *Stratigraphy of the Ukrainian SSR. 5. Carboniferous*. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 21–48 (in Ukrainian).
- Dunlop J., Dernov V. 2023. The first trigonotarbid arachnid from Ukraine. *Acta Geologica Polonica*, 73: 181–187. <https://doi.org/10.24425/aggp.2022.143600>
- Ellison S., Graves R.W. Jr. 1941. Lower Pennsylvanian (Dimple Limestone) conodonts of the Marathon Region, Texas. *Bulletin of the Missouri University, School of Mines and Metallurgy*, 14: 1–21.
- Feofilova A.P., Levenshtein M.L. 1963. Features of the sedimentation and coal accumulation in the early and middle Carboniferous of the Donets Basin. Moscow: Publishing House of Academy of Sciences of the USSR (in Russian).
- Ferguson L. 1966. The recovery of some large track-bearing slabs from Joggins, Nova Scotia. *Atlantic Geoscience*, 2: 128–130. <https://doi.org/10.4138/1501>
- Fissunen O.P. 1987. Middle Carboniferous landscapes of the Donets Basin. In: Bogdanova T.N., Khozatsky L.I. (Eds.), *Palaeontology and geologic history of the paleobasins*. Leningrad: Nedra, pp. 92–99 (in Russian).
- GB3D Type Fossils: <https://www.3d-fossils.ac.uk>
- Geinitz H.B. 1854. Darstellung der Flora des Hainichen-Ebersdorfer und des Floehaer Kohlenbassins, im Vergleich zu der Flora des Zwickauer Steinkohlengebirges. Leipzig: Hirzel.
- Gluszek A. 1995. Invertebrate trace fossils in the continental deposits of an Upper Carboniferous coal-bearing succession, Upper Silesia, Poland. *Studia Geologica Polonica*, 108: 171–202.
- Goldenberg F. 1857. Flora Saraepontana fossilis. Die Pflanzenversteinerungen des Steinkohlengebirges von Saarbrücken. Heft II. Die Sigillarien des Kohlengrubes, in analytischer, beschreibender und bildlicher Darstellung. Saarbrücken: Verlag der Neumann'schen Buchhandlung.
- Gothan W. 1941. Paläobotanische Mitteilungen 5–7. *Paläontologische Zeitschrift*, 22: 424–438. <https://doi.org/10.1007/bf03042701>
- Gutbier A. von. 1835. Versteinerungen des Zwickauer Schwarzkohlen-Gebirges. Zwickau: G. Richter'schen Buchhandlung. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.152878>
- Guthörl P. 1934. Die Arthropoden aus dem Carbon und Perm des Saar-Nahe-Pfalz-Gebietes. *Abhandlungen der Preussischen Geologischen Landesanstalt, Neue Folge*, 164: 1–219.
- Guthörl P. 1935. Entdeckung und Bergung des größten, bis jetzt bekannten Exemplars von *Arthropleura armata* Jordan & v. Meyer in Grube Maybach-Saar. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 87: 687–692.
- Hahn G., Hahn R., Brauckmann C. 1986. Zur Kenntnis von *Arthropleura* (Myriapoda; Ober-Karbon). *Geologica et Palaeontologica*, 20: 125–137.
- Higgins A.C. 1975. Conodont zonation of the late Visean-early Westphalian strata of the south and central Pennines of northern England. *Bulletin of the Geological Survey of Great Britain*, 53: 1–127.
- Hitchcock E. 1858. Ichnology of New England; a report on the sandstone of the Connecticut Valley, especially its footmarks. Boston: W. White.
- Jones T.R. 1891. On some *Estheria* and *Estheria*-like shells from the Carboniferous shales of Western Scotland. *Transactions of the Geological Society of Glasgow*, 9: 79–85. <https://doi.org/10.1144/transglas.9.1.79>
- Jordan F.W.H., von Meyer H. 1854. Über die Crustaceen der Steinkohlenformation von Saarbrücken. *Palaeontographica*, 4: 1–15.
- Karlov N.N. 1948. *Prestwischinella tschernyschevi* sp. nov., a new representative of Xiphosura from the Carboniferous coal-bearing succession of the Donets Basin. *Collection of papers on palaeontology and stratigraphy*. Kyiv: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, pp. 41–47 (in Ukrainian).
- Kozitskaya R.I., Kossenko Z.A., Lipnyagov O.M., Nemirovskaya T.I. 1978. Carboniferous conodonts of the Donets Basin. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Latreille P.A. 1802. Histoire naturelle générale et particulière des crustacés et des insectes: ouvrage faisant suite aux Oeuvres de Leclerc de Buffon, et partie du Cours complet d'histoire naturelle rédigé par C.S. Sonnini, 7. Paris: F. Dufart. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.70894>
- Lhéritier M., Edgecombe G.D., Garwood R.J., Buisson A., Gerbe A., Mongiardino Koch N., Vannier J., Escarguel G., Adrien J., Fernandez V., Bergeret-Medina A., Perrier V. 2024. Head anatomy and phylogenomics show the Carboniferous giant *Arthropleura* belonged to a millipede-centipede group. *Science Advances*, 10: 11 p. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adp6362>
- Lindley J., Hutton W. 1831–1837. The fossil flora of Great Britain; or, figures and descriptions of the vegetable remains found in a fossil state in this country. Vol. 1 (1831–1833) – 1831: 1–47, pls 1–14; 1832: 48–166, pls 15–59; 1833: 167–224, pls 60–79; Vol. 2 (1833–1835) – 1833: 1–56, pls 80–99; 1834: 57–156, pls 100–137; 1835: 157–208, pls 138–156; Vol. 3 (1835–1837) – 1835: 1–72, pls 157–176; 1836: 73–122, pls 177–194; 1837: 123–208, pls 195–230. London: James Ridgway and Sons. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.102097>
- Logvinenko N.V. 1953. Lithology and palaeogeography of the Carboniferous coal-bearing deposits of the Donets Basin. Kharkiv: Kharkiv University Press (in Russian).
- Lucas S.G., Bruner M., Shipman P. 2004. Middle Pennsylvanian ichnofauna from eastern Oklahoma, USA. *Ichnos*, 11: 45–55. <https://doi.org/10.1080/10420940490442322>
- Lucas S.G., Lerner A.J., Hannibal J.T., Hunt A.P., Schneider J.W. 2005. Trackway of a giant *Arthropleura* from the Upper Pennsylvanian of El Cobre Canyon, New Mexico. *New Mexico Geological Society, 56th Field Conference Guidebook*, pp. 279–282.
- Marks W.J. 1998. Problematic tracks in the Casselman Formation of Cambria County. *Pennsylvania Geology*, 29: 2–6.
- Martino R.L., Greb S.F. 2009. Walking trails of the giant terrestrial arthropod *Arthropleura* from the Upper Carboniferous of Kentucky. *Journal of Paleontology*, 83: 140–146. <https://doi.org/10.1017/s0022336000058200>
- Marty D., Strasser A., Meye C.A. 2009. Formation and taphonomy of human footprints in microbial mats of present-day tidal-flat environments: implications for the study of fossil footprints. *Ichnos*, 16: 127–142. <https://doi.org/10.1080/10420940802471027>
- Metz R. 1995. Ichnologic study of the Lockatong Formation (Late Triassic), Newark Basin, southeastern Pennsylvania. *Ichnos*, 4: 43–51. <https://doi.org/10.1080/10420949509380113>
- Metz R. 1996. Newark Basin ichnology: The Late Triassic Perkasie Member of the Passiac Formation, Sanatoga, Pennsylvania. *Northeastern Geology and Environmental Sciences*, 18: 118–129.
- Mikuláš R., Dronov A. 2006. Palaeoichnology – Introduction to the study of trace fossils. Prague, Institute of Geology, Academy of Sciences of Czech Republic (in Russian).
- Moreau J.D., Gand G., Fara E., Galtier J., Aubert N., Fouché S. 2021. Trackways of *Arthropleura* from the Late Pennsylvanian of Graissessac (Hérault, southern France). *Historical Biology*, 33: 996–1007. <https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1675055>
- Newberry, J.S. 1856. Description of several new genera and species of fossil fishes, from the Carboniferous strata of Ohio. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 8: 96–100.

- Nemyrovska T.I. 1999. Bashkirian conodonts of the Donets Basin, Ukraine. *Scripta Geologica*, 119: 1–116.
- Nemyrovska T.I., Yefimenko V.I. 2013. Middle Carboniferous (Lower Pennsylvanian). In: Gozhik P.F. (Ed.), *Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. 1. Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Palaeozoic and Mesozoic*. Kyiv: LAT&K, pp. 283–303 (in Ukrainian).
- Novik E.O. Classification of Carboniferous pteridosperms. Reports of the Academy of Sciences of the USSR, 48: 277–279 (in Russian).
- Novik E.O. 1974. Regularities of development of the Carboniferous flora of the south of the European part of the USSR. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Pacyna G., Florjan S., Borzêcki R. 2012. New morphological features of *Arthropleura* sp. (Myriapoda, Diplopoda) based on new specimens from the Upper Carboniferous of Lower Silesia (Poland). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 82: 121–126.
- Pillola G.L., Zoboli D. 2021. First occurrence of *Arthropleura armata* (Myriapoda) in the Moscovian (Carboniferous) of SW Sardinia (Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 60: 49–54.
- Poletaev V.I., Vdovenko M.V., Shchogolev O.K., Boyarina N.I., Markarov I.A. 2011. Stratotypes of the Carboniferous and Lower Permian regional stratigraphic units of the Dnipro-Donets Downwarp. Kyiv: Logos (in Ukrainian).
- Popov A.V. 1979. Carboniferous ammonoids of the Donets Basin and their stratigraphic significance. Leningrad: Nedra (in Russian).
- Posudiyevsky A.B. 1977. To the study of depositional environments of the roof shales of the coal beds in the Donets Basin. *Lithology and mineral resources*, 3: 156–159 (in Russian).
- Prescott Z.M., Stimson M.R., Dafoe L.T., Gibling M.R., Macrae A., Calder J.H., Hebert B.L. 2014. Microbial mats and ichnofauna of a fluvial-tidal channel in the lower Pennsylvanian Jogjins Formation, Canada. *Palaios*, 29: 624–645. <https://doi.org/10.2110/palo.2013.073>
- Pruvost P. 1912. Sur la présence du genre *Arthropleura* dans le terrain houiller du Nord et du Pas-de-Calais. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 41: 57–64.
- Pruvost P. 1930. La faune continentale du terrain houiller de la Belgique. *Memoires du Musée royal d'histoire naturelle de Belgique*, 44: 103–282.
- Rößler R., Schneider J.W. 1997. Eine bemerkenswerte Paläobiocoenose im Unterkarbon Mitteleuropas – Fossilführung und Paläoenvironment der Hainichen-Subgruppe (Erzgebirge-Becken). *Veröffentlichungen des Museum für Naturkunde Chemnitz*, 20: 5–44.
- Romano M., Whyte M.A. 1987. A limulid trace fossil from the Scarborough Formation (Jurassic) of Yorkshire; its occurrence, taxonomy and interpretation. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 46: 85–95. <https://doi.org/10.1144/pygs.46.2.85>
- Ryan R.J. 1986. Fossil myriapod trails in the Permo-Carboniferous strata of northern Nova Scotia, Canada. *Atlantic Geology*, 22: 156–161. <https://doi.org/10.4138/1604>
- Schneider J., Barthel M. 1997. Eine Taphocoenose mit *Arthropleura* (Arthropoda) aus dem Rotliegend (?Unterperm) des Döhlen-Becken (Elbe-Zone, Sachsen). *Freiberger Forschungsheft C*, 466: 183–223.
- Schneider J.W., Lucas S.G., Werneburg R., Rößler R. 2010. Euramerican Late Pennsylvanian/Early Permian arthropleurid/tetrapod associations—implications for the habitat and paleobiology of the largest terrestrial arthropod. Carboniferous–Permian transition in Canon del Cobre, northern New Mexico. *New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin*, 49: 49–70.
- Schneider J.W., Werneburg R. 1998. *Arthropleura* und *Diplopoda* (Arthropoda) aus dem Unter-Rotliegend (Unter-Perm, Assel) des Thüringer Waldes (Südwest-Saale-Senke). *Veröffentlichungen Naturhistorisches Museum Schleusingen*, 13: 19–36.
- Schneider J.W., Werneburg R. 2010. *Arthropleura*, der größte landlebende Arthropode der Erdgeschichte – neue Funde und neue Ideen. *Semana*, 25: 75–100.
- Schram F.R. 1980. *Pygocephalus* from the Upper Carboniferous of the Soviet Union. *Journal of Paleontology*, 54: 50–56.
- Seilacher A. 2008. Biomats, biofilms, and bioglime as preservational agents for arthropod trackways. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 270: 252–257. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.07.011>
- Selden P.A., Shcherbakov D.E., Dunlop J.A., Eskov K.Yu. 2013. Arachnids from the Carboniferous of Russia and Ukraine, and the Permian of Kazakhstan. *Paläontologische Zeitschrift*, 88: 297–307. <https://doi.org/10.1007/s12542-013-0198-9>
- Sharov A.G., Sinitshenkova N.D. 1977. New Palaeodictyoptera from the USSR. *Paleontological Journal*, 11: 44–59 (in Russian).
- Shpinev E.S. 2014. New data on eurypterids (Eurypterida, Chelicerata) from the Upper Carboniferous deposits of the Donets Basin. *Paleontological Journal*, 48: 287–293. <https://doi.org/10.1134/s0031030114030162>
- Shpinev E.S. 2018. New data on Carboniferous xiphosurans (Xiphosura, Chelicerata) of the Donets Coal Basin. *Paleontological Journal*, 52: 271–283. <https://doi.org/10.1134/s0031030118030127>
- Siebold C.T. von. 1848. Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbellosen Thiere. Erster Theil. In: von Siebold C.T., Stannius H. (Eds.), *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie*. Berlin: Verlag von Veit & Comp., pp. 1–679.
- Sternberg K. von. 1820–1838. Versuch einer geognostisch-botanischer Darstellung der Flora der Vorwelt II, 7/8. Prague: Gottlieb Häse Söhne. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.154066>
- Stur D. 1877. Die Culm-Flora der Ostrauer und Waldenburger Schichten. *Abhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt*, 8: 107–472.
- Tchernyshev B. 1935. Cirripedia aus den Donez- und Kuznezbecken. *Yearbook of the All-Russian Paleontological Society*, 10: 31–38.
- Walter H., Gaitzsch B. 1988. Beiträge zur Ichnologie limnisch-terrestrischer Sedimentationsräume. Teil II: *Diplichnites minimus* n. ichnosp. aus dem Permosiles des Flechtinger Höhenzuges. *Freiberger Forschungsheft C*, 427: 73–84.
- Warth M. 1967. Die nichtmarinen Muscheln des Westfal A unter besonderer Berücksichtigung des Ruhrkarbons und einige grundlegende Erkenntnisse zur Taxonomie. Westdeutscher Verlag, Köln.
- Waterlot G. 1934. A propos des *Arthropleura* du terrain houiller de la Sarre et de la Lorraine. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 59: 17–19.
- Wignall P.B., Sims M.J. 1990. Pseudoplankton. *Palaeontology*, 33: 359–378.
- Williamson W.C. 1849. On the microscopic structure of the scales and dermal teeth of some ganoid and placoid fish. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 139: 435–474. <https://doi.org/10.1098/rstl.1849.0023>
- Wood H.C. 1869. A contribution to the knowledge of the flora of the Coal Period in the United States. *Transactions of the American Philosophical Society, new series*, 13: 341–349. <https://doi.org/10.2307/1005370>
- Yefimov I.N. 1934. Distribution of fossils in the roof shales of the coal beds in the Donets Basin. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, 6: 123–125 (in Russian).
- Zeiller R. 1879. Vegetaux fossiles du terrain Houiller de la France. *Explication de la carte géologique de la France*, 4: 1–185.
- Zeiller R. 1886–1888. Bassin Houiller de Valenciennes. Description de la flore fossile. Études des Gîtes minéraux de la France. Atlas (1886): pls I–XCIV. Texte (1888): pp. 1–729. Paris: Maison Quantin.
- Zittel K.A. von. 1885. Handbuch der Palaeontologie: Abtheilung 1, Palaeozoologie – Mollusca und Arthropoda. Band 2. R. Oldenbourg.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.322779>

UDC 624.131:551.435.6(477.25)

E-mail: kotkotmag@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-4324-9231>;
streltsov.kiev.ua@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0008-5394-8731>

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

Received / Надійшла до редакції:
22.20.24

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
10.01.2025

Accepted / Прийнята:
10.03.2025

Keywords: engineering and geological conditions, landslide hazard boundary, slope stability factor, excessive moisture, Janbu method, engineering protection, Dnipro slopes of Kyiv.

Ключові слова: інженерно-геологічні умови, межі зсувної небезпеки, коефіцієнт стійкості схилу, надмірне зволоження, метод Ямбу, інженерний захист, дніпровські схили Києва.

Identification of landslide hazard boundaries of the Dnipro slope near Mykilska Brama, Kyiv

T.V. Kril*, A.O. Streltsov

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

Визначення зсувонебезпечних меж дніпровського схилу біля Микільської брами, Київ

Т.В. Кріль*, А.О. Стрельцов

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

For the first time, the landslide hazard boundaries for the Dnipro slopes near Mykilska Brama have been scientifically substantiated and established, both for current and forecast conditions, based on the position of the slip surface. The study was conducted using a risk analysis of landslide activation, considering additional soil moisture as a result of the impact of anomalous meteorological and technogenic factors. The position of the slip surfaces was supported by the normative safety factor. Their delineation was carried out based on mathematical modeling for three profiles on the slope under natural physical and mechanical properties and in the forecasted (saturated) state. The calculations were performed using the RocScience Slide 6 software package, employing the Janbu method for a circular cylindrical slip surface. The engineering-geological conditions of this slope are characterized as complex due to the presence of a layer of subsiding loess soils and slope angles ranging from 20° to 43°. Field observations recorded markers of erosion-gravitational processes, including the “drunken forest” and tension cracks. The main factor for the loss of equilibrium of the soils on the slope is overmoisturization, which may result from anomalous rainfall or the influx of technogenic water into the soils from water supply network leaks. According to calculations of the slope safety factor in the forecasted state, in this case, with soil overmoisturization, a decrease of 10.4–22.4 % was determined compared to the actual condition. The landslide hazard boundary, considering the impact of additional soil overmoisturization and the corresponding decrease in soil strength properties, shifted by 30 meters in the middle section towards the edge of the slope. The methodology presented in the studies for determining landslide hazard boundaries serves as a practical tool for establishing such boundaries along the entire length of the Dnipro slope in Kyiv. Identifying landslide hazards in two states allows for the differentiation of risk levels associated with the loss of equilibrium of the slope's soil mass and material losses due to the activation of displacements.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Citation: Kril T.V., Streltsov A.O. 2025. Identification of landslide hazard boundaries of the Dnipro slope near Mykilska Brama, Kyiv. *Geologichnyi žurnal*, 1 (390): 44–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.322779>

Цитування: Кріль Т.В., Стрельцов А.О. Визначення зсувонебезпечних меж дніпровського схилу біля Микільської брами, Київ. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 44–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.322779>

1. Introduction

Urbanization processes and the development of construction technologies necessitate the use of areas with complex engineering-geological (geo-technical) conditions. In large cities, these include areas affected by landslides, flooding, subsidence, waterlogging, etc. In Kyiv, 18.9 % of the total city area consists of floodplain territories, 5% are landslide-hazardous or landslide-affected areas, 6.2 % are areas with a high groundwater level, and 6.6 % are areas with soils exhibiting subsiding properties (General..., 2024). Among them, the most attractive areas for construction investments are the slopes.

Designing structures on slopes requires a series of steps, including preliminary slope stability calculations, determination of safety factor values, justification of landslide prevention measures for the specific case, development of construction techniques for working on the slope, etc. (Demchyshyn, 1992; Bases..., 2009; Engineering..., 2017; Planning..., 2019).

A lot of researches focus on identifying the shapes of potential landslides at large scales (Ugenti et al., 2025) or creating small-scale maps that highlight areas with a high risk of landslide hazards (Jaedicke et al., 2014; Dahal B., Dahal R., 2017; Shekhunova et al., 2022; Yakovlev et al., 2024; Global..., 2024). For example, landslide hazard mapping based on expert and statistical models conducted for cities in Europe has proven to be a fundamental tool for disaster management, utilizing a ranking of areas where mitigation measures might be most effective (Jaedicke et al., 2014). The parameters considered include susceptibility factors (such as slope angle, lithology, soil moisture, vegetation cover, and other factors when available) and triggering factors (such as extreme precipitation and seismicity). Also, thematic maps representing various factors associated with landslide activity in the Higher Himalayas of Nepal were generated using field data and GIS techniques (Dahal B., Dahal R., 2017). However, when planning urban development and designing construction projects, it is more significant for architects, investors, and builders to have approved boundaries of landslide-prone zones, rather than the contours of individual landslides.

In such works, it is essential to consider the landslide hazard zoning schemes and landslide prevention measures. For the territory of Kyiv, these schemes were developed by Kyivproekt, Specialized Management of Landslide Prevention Underground Works (SMLPUW), and the Institute

of Geological Sciences. They were created while taking into account geomorphological conditions, hydrogeological conditions, geological structure, and other factors. The purpose of the "Master Scheme of Landslide Prevention Measures" developed by "Kyivproekt" in 1983 was a regional forecast of landslide processes in Kyiv using analogy methods. To achieve this, 77 existing landslides in Kyiv were described based on data from the Kyiv Comprehensive Hydrogeological and Engineering-Geological Part "Pivnichukrgeologia" and "Kyivproekt", with their classification provided. On the SMLPUW map, landslide-hazard areas are marked along the edges of the slope terraces (Scheme..., 2020). In 2001, the "Map-Scheme of Landslide Processes in Kyiv, Highlighting the Most Hazardous Areas" was compiled by the Department of Engineering Geology of the Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine (Demchyshyn et al., 2001) commissioned by "Kyivproekt".

However, given the changes in climatic and meteorological conditions, such schemes should be developed based on a risk analysis of the impact of anomalous meteorological conditions, changes in hydrogeological conditions. They should also be refined to account for the influence of emergency situations in water supply networks. Additionally, the impact of new construction must be considered not only on slope stability but also on existing buildings, particularly those of historical and cultural significance. In this case, the landslide hazard boundary, established by the safety factor representing the sliding surface, would determine the risk of a hazardous event occurring under the corresponding calculation factors. Considering the class of structures on the slope, whether built or under design, each of the defined boundaries may indirectly indicate the magnitude of material losses during gravitational shifts, or the amount of capital required to maintain the slope in a state of equilibrium and ensure the stable operation of the buildings. Considering such factors is possible using mathematical modeling methods and probabilistic approaches to determine slope stability (Bases..., 2009; Duncan et al., 2014; Khan, Wang, 2020; Shekhunova et al., 2020; Sampa, Schorr, 2024).

Stability calculations for the Dnipro slopes in the central part of Kyiv were conducted both under natural conditions and considering the impact of existing buildings during the construction of new buildings (Shumynsky et al., 2018a, b). The calculations, performed using H.M. Shakhuniants' method

and an analysis of the stress-strain state, revealed a significant decrease in the slope safety factor when accounting for the weight of structures and complete soil saturation. This saturation may occur due to anomalous atmospheric precipitation, snowmelt, and full soil moistening.

Calculations performed using the Plaxis software application for modeling of the central part of the Dnipro slopes identified areas of potential landslides on total displacement contours and plastic zone contours in the slope when its upper layers are in a saturated state (Technogenic..., 2016). The primary soils actively involved in forming landslide deposits on the Dnipro slopes include loess-like loams, moraine loams, brown clays, and the upper layers of mottled clays. Under significant saturation from atmospheric precipitation, snowmelt, groundwater, or technogenic sources (leakage from water supply networks) water, high hydrostatic pressures (pore pressures) develop. These pressures act as a sharp trigger for the destabilization of the stress-strain state of the soil mass, specifically the destruction of structural bonds, leading to gradual movement of the soil mass along the slope.

In the study (Kril, Cherevko, 2023), mathematical modelling and observations of landslide hazard factors (surface deformations, crack openings in structural elements of buildings) on the slope of the Far-Caves Hill of the Kyiv-Pechersk Lavra identified potential locations. The study suggests that the identified boundaries of landslide and landslide-hazard zones should be extended deeper into the hill territory.

However, the determination of landslide-prone boundaries based on slip surfaces using risk analysis, which takes into account additional moisture through modern computational methods for calculating the stability factor, was not performed. This aspect was not addressed in the published works.

The main objective of this research was to identify the boundaries of landslide risk based on slip surfaces using risk analysis that considers additional moisture on the Dnipro slopes, employing mathematical modeling methods.

To achieve this, the following tasks were undertaken: collection and analysis of historical data and previous engineering-geological studies within the area; field investigations, including field observations of deformation signs on the slope and drilling of boreholes; analysis of natural deformation factors; modeling and stability calculations of the slope along three calculation profiles; and the development of recommendations for slope reinforcement in the zone of active interaction between soil and structures.

The study was conducted on a section of the Dnipro slopes near Mykilska Brama in the Pechersk district of Kyiv.

2. Research Methodology

The research utilized materials from engineering-geological surveys (Technical..., 2011, 2012, 2020), engineering-geological maps, and studies (Kolot et al., 1984; Demchyshyn, Kril, 2019). In 2020, with the participation of author A.O. Streltsov, drilling was conducted, and soil samples were taken for analysis. Based on the results, the geological and hydrogeological conditions of the studied area were analyzed (Technical..., 2020).

The physical and mechanical properties of the soils were determined based on laboratory test results and in accordance with state standards and building codes (Bases..., 1996a, b, 2001, 2009a; Soils..., 2016). Classification parameters (natural moisture content, plasticity index, moisture content at the liquid limit and plastic limit, plasticity number, liquidity index, granulometric composition) were obtained through laboratory tests on disturbed structure samples. Mechanical properties (internal friction angle, specific cohesion) and density were measured on undisturbed structure samples (monoliths). Deformation characteristics (compression index, compressive modulus) of the soils were obtained using oedometers that prevent lateral expansion of the soil sample during vertical pressure loading up to 0.3–0.6 MPa. Table 1 presents the values of the physical-mechanical properties of the soils in the studied area. To calculate the stability of the slope in the forecasted (saturated) state, the samples were saturated to full water saturation, followed by the determination of the corresponding characteristics. All data used in the calculations are up-to-date and comply with the requirements of DBN A.2.1-1-2008 regarding the validity period for engineering-geological surveys.

There are many methods for calculating slope stability, which depend on the number of assumptions made about the conditions of the limit equilibrium state at the points of the sliding prism, the shape and position of the potential slip surface, the distribution of normal forces along the slip surface, the relationship between the tangential and normal forces on the side faces of the blocks, as well as the degree of certainty regarding the slope parameters, etc. The methods for calculating slope stability are based on determining the relationship between the resisting and shearing forces acting on a portion of the soil (Duncan et al., 2014; Engineering..., 2017; Khan, Wang, 2020):

$$Kst = \Sigma R / \Sigma T,$$

where R is the resisting force to shearing; T is the shearing force.

It should be noted that the safety factor Kst obtained in this way is not a constant value. It varies seasonally and depends on the impact of external factors of both natural and anthropogenic origin.

The current building codes and regulations (DBN, DSTU) do not provide clear guidelines for the application of specific calculation methods. The choice of method depends on the engineering-geological conditions, the type of shear deformations, and the mechanism of potential soil displacement (Engineering..., 2017). Considering the engineering-geological conditions of the studied slope section and the analysis of calculation methods performed in

works (Duncan, Wright, 2014; Khan, Wang, 2020), the Janbu method was selected among the limit equilibrium methods to determine the landslide-prone boundaries beyond the slip surface.

The analysis of changes in the slope stability factor was carried out by varying the moisture content factor and the corresponding changes in the physical and mechanical properties of the soils. The calculations were performed using the Janbu method for a circular cylindrical slip surface, implemented in the RocScience Slide 6 software (Analysis..., 2024).

The stability of slip surfaces was calculated using limit equilibrium methods for vertical slices. This method allows for the analysis of individual slip surfaces or the application of investigative methods to determine the critical slip surface for a given slope.

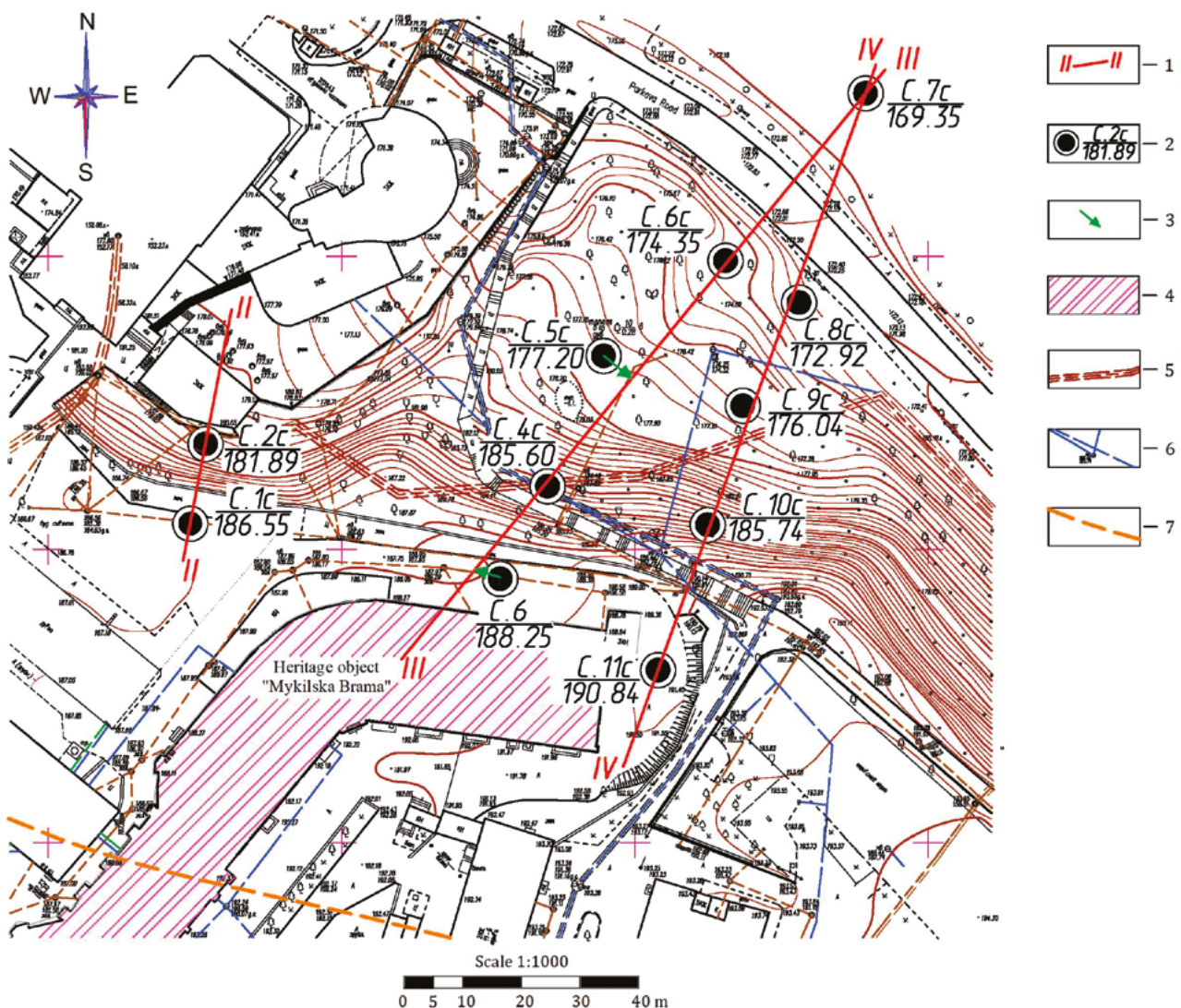


Fig. 1. The location of the stability assessment cross-sections within the study area: 1 – the cross-section line; 2 – observed wells (drilled boreholes); 3 – displacement of boreholes to the calculation profile line; 4 – the building of historical significance, Mykilska Brama; 5 – drainage-tunnel systems; 6 – water supply networks; 7 – the landslide hazard line according to the Scheme (Scheme..., 2020)

Table. Physical and mechanical characteristics of the soils of the slope near Mykilska Brama (Technical..., 2020)

No.	EGE	Description of the engineering-geological element (EGE)	Genesis, geological index	Liquidity index, I_L , decimal quantity	Unit weight, γ , kN/m^3	Void ratio, e , decimal quantity	Modulus of deformation, E , MPa	Calculated values ($\alpha = 0.95$)		
								γ_1^* , kN/m^3	φ_1^* , °	c_1^* , kPa
1	77	Bulk soils: sandy and silty loams	tH	0.17	17.0	0.890	7	16.7	19	8
		**Forecast saturation $S_r = 0.8$		–	18.4			18.1	17	7
2	16	Sandy loam, dusty, hard	dzH	-1.47	16.7	0.783	9	16.4	19	10
3	17	Sandy loam, dusty, plastic up to fluid		0.47	18.5	0.776	6	18.2	15	4
4	18	Sandy loam, plastic		0.53	18.4	0.695	12	18.1	17	7
5	19	Light silty loam, rigid, heavily peaty	bH	0.33	15.6	1.420	3.2	15.3	5	5
6	20	Light and heavy loam, dusty, soft plastic		0.52	17.5	0.906	8	17.2	10	9
7	1a	Sandy loam, dusty, hard, loess, subsidence	edv P_{III-H}	-1.18	16.6	0.814	13	16.3	22	16
		**Forecast saturation $S_r = 0.8$		0.73	18.3		6	18.0	16	6
8	2	Loam, rigid plastic	f, l-g P_{II-dn}	0.28	18.7	0.770	16	18.4	18	17
9	4	Dusty sand, low water saturation		–	18.2	0.592	25	17.9	28	3
		**Forecast saturation $S_r = 0.8$		–	20.4		23	20.1	26	1
10	6	Heavy and light sandy loam, semi-hard	gP_{II-dn}	0.16	19.7	0.598	27	19.4	14	41
11	7	Light and heavy loam, dusty, rigid plastic	IP_{I-II}	0.23	18.7	0.725	15	18.4	13	28
12	8	Clay is light and heavy, dusty, semi-hard		0.11	20.3	0.677	28	20.0	13	49
13	9	Light and heavy loam, dusty, rigid plastic		0.45	19.0	0.770	18	18.7	12	23
14	10	Clay is light and heavy, dusty, hard and semi-hard	$N_2\check{c}b$	0.02	20.2	0.672	32	19.9	9	137
15	11	Clay is light and heavy, dusty, hard and semi-hard	$N_{1-2}sg$	0.02	20.4	0.689	35	20.1	16	99
16	12	Sandy loam, hard	$N_{I,np}$	-1.14	19.8	0.549	40	19.5	24	33

γ_1 – unit weight; e – void ratio; φ_1 – soil friction angle.

** – values used in calculation for forecast state of slope.

The method for calculating the stability factor was chosen based on the results of test modeling of the IV–IV profile using the following methods: Simplified Bishop, Janbu, Spencer, GLE (general limit equilibrium)/Morgenstern-Price. The Janbu method yielded the lowest stability factor values. It is used for analyzing complex slopes (complex slope geometry, heterogeneous soils, complex loading conditions, changes in moisture conditions), where the assumption of circular sliding zones is not sufficiently accurate.

The behavior of the soils was characterized using the Mohr-Coulomb model. The calculated property characteristics of the identified engineering-geological elements were taken with a confidence probability of $\alpha = 0.95$. The slope stability calculation in both the factual and forecasted states was performed along profiles II–II, III–III, and IV–IV, as shown in Fig. 1. The factual condition refers to the state of the slope that corresponds to the state of the soil massif in 2020, with existing buildings. The forecast state corresponds to the state when

the soil layers IGE-77, IGE-1a, IGE-4 are subject to possible additional saturation, the values of physical and mechanical parameters corresponding to **Forecast saturation $S_r = 0.8$, see the Table. Data from individual actually drilled boreholes were used to construct the calculation profiles (indicated by an arrow in Fig. 1).

The identification of landslide-hazard boundaries for both the factual and forecasted states was performed on a topographic map based on the calculated slip surfaces at their extreme points along the slope edge. The spline method of the automated design system was used.

3. Results and Discussion

3.1. Engineering-geological features of the area

Administratively, the study area is located in the Pechersk district of Kyiv, at 1, I. Mazepa Street. The lower boundary of the studied area of the slope is Parkova Road, with the Dnipro River



Fig. 2. Markers of erosion-gravitational processes: erosion processes (a), tilted trees, known as “drunken forest” (b), photo by A.O. Streltsov, April 2020

located 350 m away. Almost at the edge of the slope lies the national architectural monument Mykilska Brama, part of the 19th-century Kyiv fortification system. At a depth of 1.5–2 m, water supply engineering networks are present. In the soil massif, at depths of 16–22 m, there are drainage-tunnel systems constructed with masonry that have been decommissioned. These systems were not considered in the calculations.

The engineering-geological conditions are complex (Technical..., 2011, 2012, 2020) due to the presence of soil layers prone to subsidence (more than 10 m thick). The slope angle varies between 20° and 43°, with an average value of 32–35°. The prevailing direction of the slope is northwest. The absolute elevation of the ground surface within the study area ranges from 168.0 to 192.2 m.

The relief of the studied area was formed as a result of active erosion processes, such as ravine and gully erosion, which occurred in the past, as well as subsequent land levelling during urban development activities.

The area borders the XV landslide circus according to the SMLPUW classification. The latest landslide displacement in this area occurred in 1953, with a volume of 800 m³ (General..., 1972).

Intense landslide activity occurred here between the mid-19th and early 20th centuries. Among other factors (vegetation, slope angle, lithological composition, etc.), the activation of movements on the Dnipro slopes was associated with the I and II aquifer horizons, which are widespread in the freshwater silty clay of the late-Quaternary-age and the sands of the Kharkiv series, respectively. This determined the block-type development of the landslide processes (Technogenic..., 2016; Bileush, 2009), as well as the flow of excessive moisture in the upper layers of the geological section, according to M.M. Maslov's classification (Maslov, Kotlov, 1972). In terms of plan form, they are classified as cirque-like according to E.P. Emelyanova's classification (Emelyanova, 1972).

At the same time, uncontrolled surface runoff created conditions for the development of erosion processes on the slopes, followed by the subsequent gravitational soil displacement along them. Considering the synergistic contribution of these processes in shaping the slope relief (landslide cirques), we find it important to further consider the development of erosion-gravitational processes, as they cannot be treated separately, for the central section of the Dnieper slopes in Kyiv. The impact of hydrogeological conditions on the formation of landslides is clearly expressed (Demchyshyn, 1992, 2001, 2019).

At present, no active landslide processes have been recorded in the study area. However, under excessive soil moisture, erosion-gravitational processes may become active. During field surveys of the site, signs and markers of erosion-gravitational processes were found: deep washouts, both planar and linear erosion, and a significant number of tilted trees, a phenomenon known as the “drunken forest”, as shown in Fig. 2.

The groundwater levels in the boreholes at the time of the surveys in March 2020 were established at depths ranging from 5.0 to 14.5 m (179.59 to 162.35 m in the Baltic system) (Technical..., 2020). Within the upper plain area of the site, the absolute elevation of the groundwater table ranges from 179.59 m near Mazepa Street to 175.05 m at the edge of the slope. Along the slope, the levels vary between 175.00 and 162.35 m. Seasonal fluctuations in groundwater levels reach 1.5 m. The filtration direction is northeast, from the loess plateau towards the Dnipro. It should be noted that some boreholes exhibit abnormally high groundwater levels – 175.00 m. This is related to the formation of a perched water table due to losses from the water supply network running along the edge of the slope. The perched water table has a localized lens-shaped distribution.

The geological structure of the studied slope is generally typical of the central part of the Dnipro slopes. To a depth of 30 m, it is represented by the following deposits:

- tH – technogenic embankment soils, consisting of sandy loams and silty sands, which are dark gray, black, brown-gray, both firm and plastic, occasionally containing organic matter and inclusions of construction debris up to 25 % (broken bricks, rubble stone, wood, glass, scrap metal, etc.), with layers and lenses of stiff to soft plastic clay, 15 %, with a thickness of up to 10.4 m;
- d, dz, b H – Holocene complex of alluvial, alluvial-landslide, and marshy soils, consisting of silty sandy loams, ranging from hard to fluid consistency, and light, rigid, plastic loams, occasionally with organic matter and lenses of highly peat-accumulated soils. The thickness of the complex reaches up to 11.8 m in some areas;
- edv P_{III}-H – Eluvial-alluvial-eolian Late Neopleistocene-Holocene soils, represented by silty, loess-like, silty, hard and plastic sandy loams, light and heavy silty, tightly plastic loams. The thickness of the layer reaches up to 12.1 m;
- f,l-g P_{II}dn – Complex of Middle Neopleistocene deposits of fluvial, limnoglacial, and glacial genesis, represented by dusty, dense sands, sandy loams, and light and heavy loams of various consistencies. The thickness of the layer reaches up to 9.0 m;
- l P_{I-II} – Complex of Lower Neopleistocene limnic deposits, represented by firm and semi-firm clays, light and heavy silty clays, with a total thickness of up to 9.7 m;
- N₂čb – Deposits of the Neogene system, Pliocene (red-brown clays), represented by light and heavy silty clays, semi-firm and firm, with a thickness of up to 7.5 m;
- N₁₋₂sg – Deposits of the Neogene system, Lower Pliocene-Upper Miocene (mottled clays), composed of light and heavy clays, semi-firm and firm, with a thickness of up to 8.1 m;
- N₁np – Deposits of the Neogene system, Poltava series, represented by firm sandy loams with lenses of weakly cemented sandstone, with an exposed thickness of up to 6.3 m.

Within the studied area, 21 engineering-geological elements (EGE) were identified across three calculation profiles. The geological structure along profile IV-IV is shown in Fig. 3.

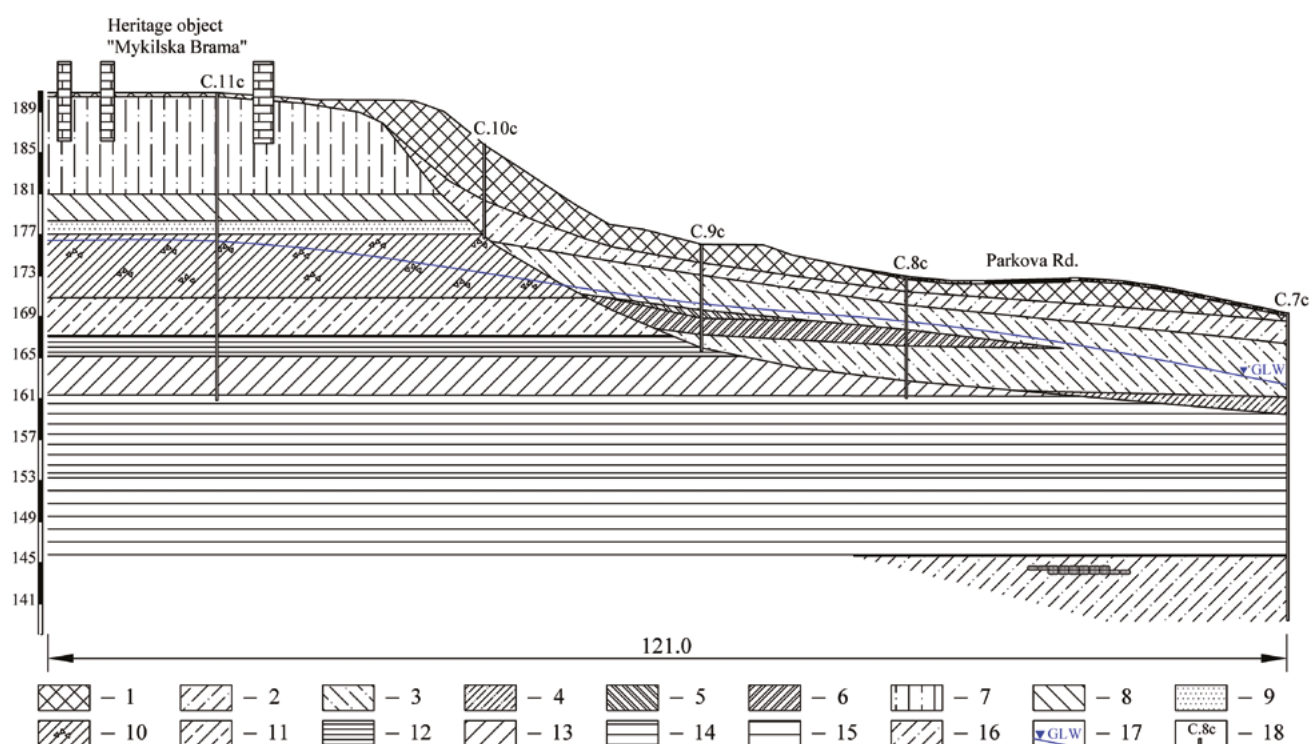


Fig. 3. Engineering-geological section along the profile IV-IV: 1 – EGE-77 – embankment soils: sandy and silty sandy soils (tH); 2 – EGE-16 – sandy loam with layers of fine sand and light clay (dzH); 3 – EGE-17 – sandy loam, dusty, plastic, occasionally fluid (dzH); 4 – EGE-18 – sandy loam, plastic, with layers and lenses of water-saturated sand (dzH); 5 – EGE-19 – light silty loam, rigid, heavily peaty (bH); 6 – EGE-20 – light and heavy loam, dusty, soft-plastic, with an admixture of organic matter (bH); 7 – EGE-1a – loess-like sandy loam, dusty, hard, subsidence (edv P_{III}-H); 8 – EGE-2 – light and heavy loam, dusty, rigid (edv P_{III}-H); 9 – EGE-4 – dense silty sand, ranging from low to fully saturated with water (f,l-g P_{II}dn); 10 – EGE-6 – loam heavy and light sandy, semi-hard, dense, with sand lenses (g P_{II}dn); 11 – EGE-7 – light and heavy loam, dusty, rigid (l P_{I-II}); 12 – EGE-8 – clay light and heavy dusty, semi-hard (l P_{I-II}); 13 – EGE-9 – light and heavy loam, dusty, rigid (l P_{I-II}); 14 – EGE-10 – clay light and heavy dusty, hard and semi-hard (N₂čb); 15 – EGE-11 – clay light and heavy dusty, hard and semi-hard (N₁₋₂sg); 16 – EGE-12 – sandy loam, hard, with thin lenses of sandstone (N₁np); 17 – boreholes; 18 – groundwater level as of March 2020 (Technical..., 2020)

3.2. Analysis of changes in the safety factor under excessive moisture condition

Slope stability calculations near Mykilska Brama were performed for both the factual state of the soils and the forecasted water-saturated condition. In the second case, the model incorporated the values of the physical-mechanical properties corresponding to the water-saturated state (forecasted state) for EGE-77, EGE-1a and EGE-4, see the Table. The results of the calculations provided the slip surfaces with the lowest safety factor – defined as the ratio of resisting to shearing forces on the slope – as well as the slip surfaces where the highest shear stresses would occur. The normative safety factor was taken as 1.25 in accordance with the regulations (Engineering..., 2017).

The slope along profile II-II is reinforced by several tiers of retaining walls, which were built during the construction of the residential complex at 9a, Hrushevskoho Street. These walls, along with the building structure, withstand the main shear pressure. In the factual state, the likely slip surface is located in the upper part of the slope, within the embankment soils. The safety factor K_{st} is 1.41, which exceeds the normative value and indicates a stable condition. In the forecasted state, $K_{st}=1.19$. This value is 4.8 % below the normative, but the slope remains stable, since $K_{st} \geq 1$.

Along profile III-III, in the factual state, the slip surface begins behind the Mykilska Brama building and extends through the Lower Neopleistocene deposits

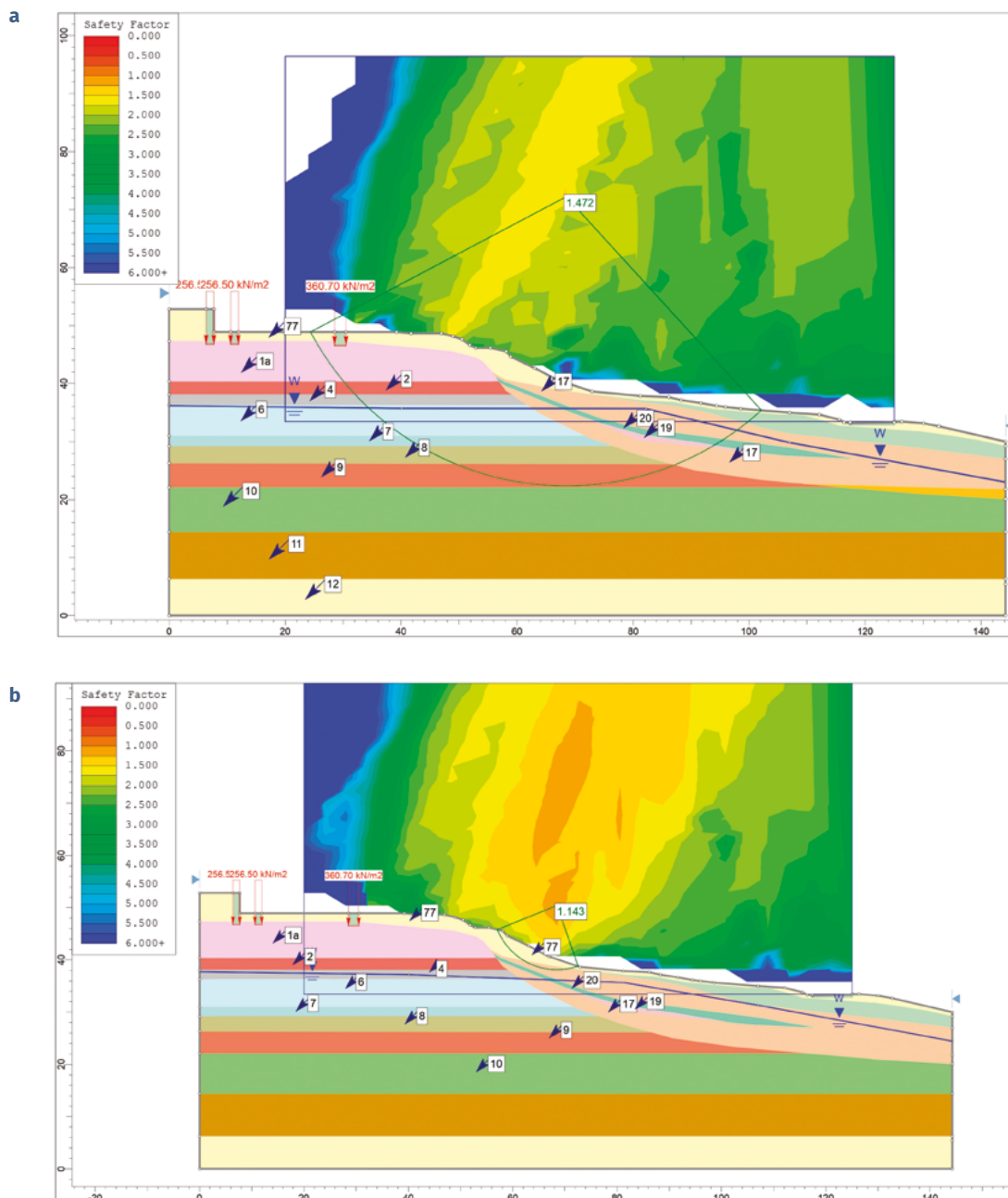


Fig. 4. The calculation models of the section along profile III-III in the factual (a) and forecast (b) states

of limnic genesis, which are lithologically represented by clays and silty clays. The safety factor $K_{st} = 1.47$. The slope is in a stable condition and fully meets the requirements of the normative safety factor.

In the forecasted state, the slip surface shifts to the steepest part of the slope and extends through weak, heterogeneous deluvial landsliding and embankment soils. The safety factor $K_{st} = 1.14$, which is 8.8 % below the normative value, indicating that the slope is approaching the state of limit equilibrium.

Along profile IV–IV, in the factual state, the slip surface passes through the embankment soils and has a safety factor $K_{st} = 1.04$. The obtained safety factor is significantly (16.8 %) below the normative value, indicating that this section of the slope is in a state of limit equilibrium. This is evidenced by the landslide markers recorded on-site: erosion, the

“drunken forest” (see Fig. 2), and the formation of a crack in the slope. In the forecast state, the factor of safety reserve $K_{st} = 0.932$. Under such conditions, there is a loss of stability and activation of shear processes within the slope.

Fig. 4 presents the calculation models for profile III–III, where the changes in the position of the sliding surface were the largest.

The nature of the development of the most probable slip surfaces within the studied slope area indicates that under these conditions the development of landslide processes will occur on bulk, deluvial landsliding soils.

The specific relief of the area in the lower part of profile III–III suggests that, in the past, there was liquefaction of the soil mass of deluvial landsliding soils.

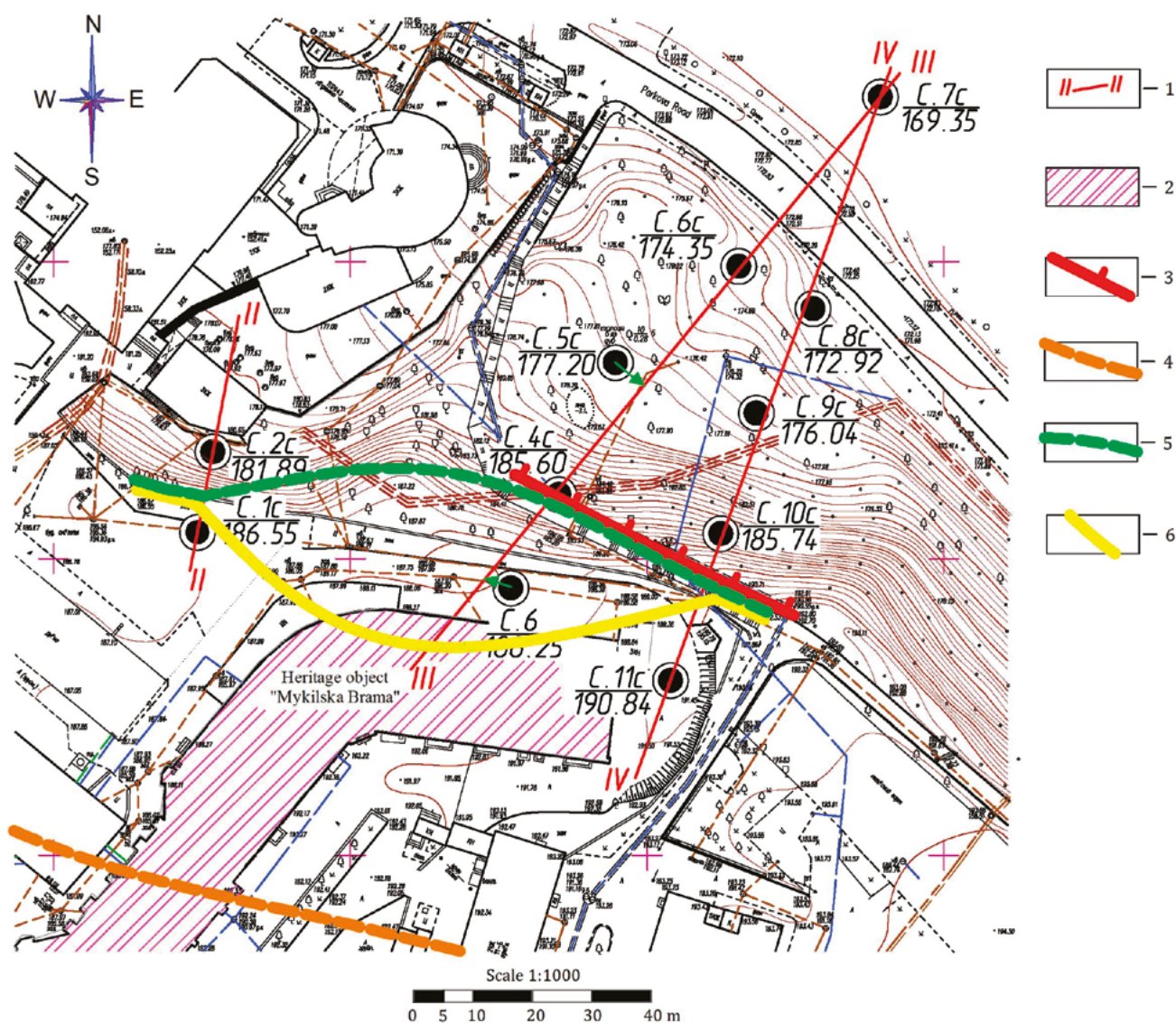


Fig. 5. Landslide-hazardous boundaries of the Dnipro slopes near Mykilska Brama: 1 – the cross-section line; 2 – historical structure, Mykilska Brama; 3 – crack-shear, determined by field observations; 4 – the landslide hazard line according to the Scheme (Scheme..., 2020); 5 – landslide-hazardous boundary of the forecast state; 6 – landslide-hazardous boundary of the factual state

To identify the factors affecting slope stability, calculations of the slope stability factor were carried out without the influence of preloading from existing structures. For calculation profiles III-III and IV-IV, it was determined that the decrease in K_{st} compared to the factual state is 14.5–22.5 %, and compared to the forecast state, it is 24.30–27.80 %.

It was noted that in the forecast state, the slip surface in the three calculation profiles is located above the groundwater table, so hydrodynamic pressures do not affect the stability factor. Pore pressure has a significant impact on the change in slope stability due to the reduction in effective stresses in the soil mass.

The combination of the upper boundaries of the sliding surfaces on the top plane allowed us to construct two types of landslide-hazardous boundaries for this slope, as shown in Fig. 5. The boundary drawn for the factual state of the slope extends deeper into the loess plateau compared to the forecast one. However, within these limits, the safety factor is higher and, accordingly, the safety margin of the soil massif is higher. Compared to the landslide hazard line according to the Scheme (Scheme..., 2020), the obtained boundaries are located 60 meters closer to the edge of the slope.

The calculations of the slope safety factor in the forecast state, in this case under conditions of soil moisture, show a decrease of 10.4 % for profile IV-IV, 15.1 % for profile II-II, and 22.4 % for profile III-III compared to the factual state. The greatest reduction in the safety factor (K_{st}) occurred in the middle profile III-III, which resulted in the displacement of the boundary of potential activation of erosion-gravitational processes by 30 meters toward the edge – the steepest areas of the slope.

The historical building of Mykilska Brama may be at risk of landslides and could experience deformation and damage, depending on the technical condition of its foundations and structures.

The landslide hazard boundary in the forecast state in the southeastern part of the site is located very close to the line of crack-shear recorded during field inspections. This indicates that the destabilization of the soil mass in this area is linked to the moistening of the upper soil layers, likely caused by leaks from the nearby water supply network.

According to the conducted modeling of the soil mass stability with additional soil moisture, the slope area requires the renovation of the water supply network, the regulation of surface and groundwater runoff, and the use of retaining engi-

neering structures to ensure long-term safe use in accordance with DBN B.1.1-46:2017 (Engineering..., 2017). The landslide hazard boundary, considering the impact of additional soil moisture and the corresponding decrease in soil strength properties, has shifted by 30 m in the middle part toward the edge of the slope. In the case of displacement of a section of the slope along the embankment soils, the formation of new sliding surfaces may occur near the slope wall of the existing historical building.

The historical building of Mykilska Brama in the northeastern part requires the implementation of engineering protection measures. It has been recommended to reinforce the building's foundations using the jet-grouting method to prevent the effects of subsidence processes in loess-like sandy loams and to transfer the building's loads to well-consolidated glacial deposits.

To minimize and eliminate the impact of erosion-gravitational processes on safety and extend the operational lifespan of structures in the zone of active interaction, it is proposed to install a retaining wall made of bored piles below the most hazardous sliding plane, as identified in all profiles.

4. Conclusion

The slope area near Mykilska Brama has a complex geomorphological structure, with the presence of anthropogenic sources of soil water saturation, which lead to a differentiated soil moisture distribution and varying levels of surface erosion activity.

The main factors influencing slope stability in the studied area have been identified. These include the additional load on the slope from existing structures (resulting in a decrease in K_{st} of 14.5–22.5 %), the geometric parameters of the slope (such as the angles of inclination and height), the presence of anthropogenic soils and soils with low strength and deformation characteristics (for the study area EGE-17, EGE-19, EGE-20), as well as potential emergency leaks from the water supply network etc.

The scientific novelty lies in the fact that, for the first time, the landslide hazard boundaries for the Dnipro slopes near Mykilska Brama have been scientifically substantiated and established, both for current and forecast conditions, based on the position of the slip surface. The analysis was conducted using mathematical modeling, and the calculations were performed in the modern software application RocScience Slide 6. The determination

of landslide hazard boundaries for two soil conditions (factual and saturated) allows for a clear differentiation of the risk levels of slope instability and material losses during landslide activation, which is crucial for urban planning.

The methodology for determining landslide hazard boundaries presented in the study serves as a practical tool for establishing such boundaries along the entire length of the Dnipro slope in Kyiv, as well as in other urbanized areas and for integrating them into Urban Design Master Plans at the regulatory level. At the same time, their construction should be based on properly substanti-

ated geological and hydrogeological models of the slope, and the data on the physical and mechanical properties of the soils must be obtained in accordance with the requirements of DBN A.2.1-1-2008.

Identifying landslide hazards in slopes under two conditions (factual and forecast) allows for the differentiation of risk levels related to the loss of equilibrium in the soil mass of the slope and material losses in the event of landslide activation. The use of schemes developed based on this methodological approach in urban planning activities will contribute to minimizing risks in decision-making processes.

Вперше науково обґрунтовано та встановлено межі зсувної небезпеки для ділянки схилів Дніпра в районі Микільської брами як у фактичних, так і прогнозованих умовах за положенням площини ковзання. Дослідження виконано на основі ризик-аналізу активізації зсувів, що враховує додаткове зволоження як наслідок впливу аномальних метеорологічних та техногенних факторів. Положення поверхонь ковзання обґрунтовано значенням нормативного коефіцієнта стійкості. Їх виділення виконано на основі математичного моделювання для трьох профілів на схилі при природних показниках фізико-механічних властивостей та у прогнозованому (замоченому) стані. Розрахунки проведено у програмному комплексі RocScience Slides 6, застосовано метод Янбу круглоциліндричної поверхні ковзання. Інженерно-геологічні умови даного схилу охарактеризовано як складні через наявність товщі просідних лесових ґрунтів, кутів нахилу 20–43°. При натурних спостереженнях зафіксовані ознаки ерозійно-гравітаційних процесів, зокрема «п'яний ліс» та тріщини заколу. Основним фактором втрати рівноважного стану ґрунтів на схилі є перезволоження, що може бути як наслідком аномальних атмосферних опадів, так і надходження в ґрунти техногенних вод через витоки з мереж водогону. За розрахунками коефіцієнта стійкості схилу у прогнозованому стані, у даному випадку при перезволоженні ґрунтів встановлено його зниження на 10,4–22,4 % у порівнянні з фактичним станом. Зсувонебезпечна межа при врахуванні впливу додаткового перезволоження ґрунтів та відповідно зниження міцнісних властивостей ґрунтів змістилась на 30 м у середній частині у бік брівки схилу. Наведена у дослідженнях методика проведення зсувонебезпечних меж є практичним інструментом для побудови таких меж на всій протяжності дніпровського схилу в м. Київ. Виділення зсувної небезпеки схилів за двома станами дозволяє диференціювати рівні ризиків втрати рівноважного стану ґрунтового масиву схилу, матеріальних втрат при активізації зрушень.

References

- Analysis Methods. Rocscience. URL: <https://www.rocscience.com/help/slide2/documentation/slide-model/project-settings/methods/analysis-methods> (accessed 25 December 2024).
- Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Classification. DSTU B V.2.1-2-96. 1996a. Kyiv, Derzhkommistobuduvannia, 47 p. (State Standard of Ukraine) (in Ukrainian).
- Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Sampling, packing, transportation and keeping of samples. DSTU B V.2.1-8-2001. 2001. Kyiv, Derzhkommistobuduvannia, 16 p. (State Standard of Ukraine) (in Ukrainian).
- Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Laboratory methods for determination of subsiding characteristics. DSTU B V.2.1-22:2009. 2009a. Kyiv, SE "UkrNDNC", 13 p. (State Standard of Ukraine) (in Ukrainian).
- Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Laboratory methods for determining the strength and strain characteristics. DSTU_B_V.2.1-4-96. 1996b. Kyiv, Derzhkommistobuduvannia, 102 p. (State Standard of Ukraine) (in Ukrainian).
- Bases and foundations of buildings: DBN B.2.1-10-2009 [Effective from 2009-10-01]. 2009b. Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 2009. 161 p. (State building regulations of Ukraine) (in Ukrainian).
- Bileush A.I. 2009. Landslides and anti-landslide measures. Kyiv: Naukova Dumka. 560 p. (in Russian).
- Dahal B., Dahal R. 2017. Landslide hazard map: tool for optimization of low-cost mitigation. *Geoenviron Disasters*, 4: 8. <https://doi.org/10.1186/s40677-017-0071-3>
- Demchyshyn M.G. 1992. The current dynamics of slopes on the territory of Ukraine (engineering and geological aspects). Kyiv: Naukova Dumka. 256 p. (in Russian).
- Demchyshyn M.G., Kril T.V. 2019. Improvement of the Engineering Protection Systems of the Kyiv-Pechersk Lavra Reserve Territory. *Nauka i innovacii*, 15 (3): 37–51. <https://doi.org/10.15407/scin15.03.037>
- Demchyshyn M.G., Rybin V.F., Shekhunova S.B., Elin V.M., Bespalova O.M., Cherevko I.A. 'Map-scheme of landslide processes in Kyiv with the allocation of the most dangerous areas. Engineering-geological and hydrogeological conditions of landslide development: Report on the research work of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine. Kyiv' (in Ukrainian).
- Duncan J.M., Wright S.G., Brandon T.L. 2014. Soil Strength and Slope Stability. Second ed. John Wiley and Sons. NY.
- Emelyanova E.P. 1972. Basic laws of landslide processes. Moscow: Nedra. 308 p. (in Russian).
- Engineering protection of territories, buildings and structures from landslides and collapses. Basic provisions: DBN B.1.1-46:2017. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 47 p. (State building regulations of Ukraine) (in Ukrainian).
- General plan for urban development of Kyiv and its suburban areas by 2025. URL: <https://kievgenplan.grad.gov.ua> (accessed 25 December 2024). (in Ukrainian).
- General scheme of landslide prevention measures for the territory of Kyiv. 1972. 2. Geological substantiation (Dnieper slopes). State Institute "Kyivproekt". Kyiv (in Russian).
- Global landslide hazard map. URL: <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0037584/Global-landslide-hazard-map> (accessed 30 December 2024).
- Jaedicke C., Van Den Eeckhaut M., Nadim F., Hervás J., Kalsnes B., Vidar Vangelsten B., Smith J.T., Tofani V., Ciurean R., Winter M.G., Sverdrup-Thygeson K., Syre E., Smebye H. 2014. Identification of landslide hazard and risk "hotspots" in Europe. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 73: 325–339. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0541-0>

- Khan M.S., Wang S. 2020. Comparing the various slope stability methods to find the optimum method for calculating factor of slope safety. *Mater. Corros. Eng. Manag.*, 1 (1): 6–9. <https://doi.org/10.26480/macem.01.2020.06.09>
- Kolot Ye.I., Kuzyshyna L.P., Kutovoi V.Y., Lavryk V.F., Marakhovskaia Y.Y., Selyn Yu.Y., Solovytskyi V.N., Shestopalova E.V. 1984. Geological Map of Ukrainian SSR of Scale 1:50,000. Kyiv Industrial Area; Explanatory note in 2 parts; Ministry of Geology of the Ukrainian SSR. Kyiv, Ukraine (in Russian).
- Kril T., Cherevko I. 2023. Identification on Unstable (Landslide Hazard) Areas on Lavra Far-Caves Hill. In *Proceedings of the Fourth EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and Impact on Communities*, Lviv, Ukraine, 18–20 September 2023. Lviv, 2023, pp. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023500017>
- Maslov N.N., Kotlov M.F. 1972. Engineering Geology. Moscow: Stroyizdat. 340 p. (in Russian).
- Planning and development of territories: DBN B.2.2–12–20019. 2019. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 185 p. (State building regulations of Ukraine) (in Ukrainian).
- Sampa N.C., Schorr J. 2024. A novel stability equation for the estimation of the factor of safety for homogeneous dry finite slopes. *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.*, 48: 2430–2449. <https://doi.org/10.1002/nag.3744>
- Scheme of the boundaries of landslide-prone areas of the Pechersk district of Kyiv. 2020. Sheet 6. KP SUPPR, Kyiv (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Kril T.V., Stadnichenko S.M., Siumar N.P. 2020. Natural and man-induced landslides formation factors within the Tysa-Apshytsia interfluvium (Transcarpathia, Ukraine). *Second EAGE Workshop on assessment of landslide hazards and impact on communities*, 8–9 September 2020, Kyiv, Ukraine. L-2020-01-18. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055018>
- Shekhunova S.B., Siumar N.P., Lobasov O.P., Stadnichenko S.M. 2022. Analysis of spatial patterns of landslide formation with GIS tools (Zakarpatska oblast). *Ukrainian Geographical Journal*, 3: 11–20. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.03.011> (in Ukrainian).
- Shuminsky V.D., Stepanchuk S.V., Slobodianik I.Yu., Stepanchuk N.V., Kostetska S.M. 2018a. Assessment of the stability of the slope at the stage of designing the administrative and public complex on the street. I. Mazepa, 1 in Kyiv. *Resource-saving materials, constructions, buildings and structures*, 36: 329–340. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/12591/1/329-340%203ax.pdf> (in Ukrainian).
- Shumynsky V., Stepanchuk S., Slobodianik I., Stepanchuk N., Kostetska S. 2018b. The assessment of the slope stability and hydrogeological regime during the stages of designing and operation of the administrative public complex at 1 I. Mazepa str. in Kyiv. *Science and Construction*, 18 (4): 50–59. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v18i4.57> (in Ukrainian).
- Soils. Field test methods by static and dynamic sounding. DSTU B V.2.1-9:2016. Kyiv, SE “UkrNDNC”, 22 p. (State Standard of Ukraine) (in Ukrainian).
- Technical report on engineering and geological surveys “Multifunctional administrative and public complex with apartments and parking, with reconstruction and restoration, with adaptation of the architectural monument “Mykolaiv Gates” with adjacent buildings (1846–1850) on Ivan Mazepa Str., 1 in the Pechersk district of Kyiv”. 2020. Kyiv: LLC “OSNOVA”. 78 p. (in Ukrainian).
- Technical report on engineering and geological surveys “Multifunctional administrative and public complex with apartments and parking with reconstruction and restoration with adaptation of the architectural monument “Mykolaiv Gates” with adjacent buildings (1846–1850) at 1 Ivan Mazepa Str. in the Pechersk district of Kyiv”. Kyiv: State Enterprise of the Ministry of Defense of Ukraine “CENTRAL DESIGN INSTITUTE”, 2012. 150 p. (in Ukrainian).
- Technical report on engineering and geological surveys “Survey and assessment of the technical condition of the commandant’s office building to be reconstructed at 1 I. Mazepa Str. in the Pechersk district of Kyiv”. Kyiv: Geoproject LLC, 2011. 12 p. (in Ukrainian).
- Technogenic impacts on the geological environment of historical areas of super-significant and significant cities of Ukraine. 2016. Curator: Demchyshyn M.G. Scientific report. Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. 305 p. (in Ukrainian).
- Ugenti A., Mevoli F.A., Lucia D., Lollino P., Fazio N.L. 2025. Moving beyond single slope quantitative analysis: A 3D slope stability assessment at urban scale. *Engineering Geology*, 344, 107841: 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107841>
- Yakovlev Y.O., Rogozhin O.G., Kreta D.L. 2024. Features of the assessment of regional engineering and geological hazards in Ukraine during the war and post-war periods. *Mineral Resources of Ukraine*, 4: 76–81. <https://doi.org/10.31996/mru.2024.4.76-81> (in Ukrainian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325107>

УДК 550.82.5 (262.5)

До 95-річчя від дня народження Євгена Федоровича Шнюкова

E-mail: vstar@igph.kiev.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-7960-00;>
vpkobolev@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0001-5625-547;>
shiptsov@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-6285-0663;>
sergejgeofizik@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-8312-6244;>
valyyan@onu.edu.ua,
[https://orcid.org/0000-0003-4933-5066](https://orcid.org/0000-0003-4933-5066;)

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

Received / Надійшла до редакції:
22.10.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
10.01.2025

Accepted / Прийнята:
30.01.2025

Keywords: biography, achievements,
marine expeditions, geological structure,
gas-mud volcanism.

Ключові слова: біографія, досягнення,
морські експедиції, геологічна будова,
газогрязьовий вулканізм.

В.І. Старостенко¹, В.П. Коболев^{1*}, О.А. Щипцов², С.В. Гошовський², В.В. Янко³

¹ Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна; ² Державна установа «Науковий гідрофізичний центр НАН України», Київ, Україна; ³ Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, Одеса, Україна

To the 95th anniversary of the birth of Yevgen Fedorovich Shnyukov

V.I. Starostenko¹, V.P. Kobolev^{1*}, O.A. Shchypstov², S.V. Goshovskiy², V.V. Yanko³

¹ S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ² State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the NAS of Ukraine", Kyiv, Ukraine; ³ I.I. Mechnikov Odesa National University, Odesa, Ukraine

This article is devoted to the significant milestones accomplished during the research career of the outstanding Ukrainian scientist-geologist, Ye.F. Shnyukov. It highlights his role in the development of marine geological and geophysical research in Ukraine, and his organization and management of expeditions in the Black, Mediterranean, and Azov seas to study the geological structure of the water areas and gas-mud volcanism. Some of Shnyukov's most significant achievements are in elucidating the processes of metallogeny at the bottom of the Indian and Atlantic Oceans, and his participation in the work of the UN Committee on Peaceful uses of the Sea-Bed and the Ocean Floor beyond the limits of National Jurisdiction, as well as the Intergovernmental Oceanographic Commission.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Цитування: Старостенко В.І., Коболев В.П., Щипцов О.А., Гошовський С.В., Янко В.В. До 95-річчя від дня народження Євгена Федоровича Шнюкова. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 56–65. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325107>

Citation: Starostenko V.I., Kobolev V.P., Shchypstov O.A., Goshovskiy S.V., Yanko V.V. 2025. To the 95th anniversary of the birth of Yevgen Fedorovich Shnyukov. *Geologichnij zhurnal*, 1 (390): 56–65. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325107>

Вступ

26 березня 2025 р. знаменна дата – 95 років від дня народження дорогої і близької нам людини – Євгена Федоровича Шнюкова (1930–2022). Минуло вже понад два роки, як він пішов у небуття, але біль від непоправної втрати не вщухає і сьогодні. З його відходом у вічність нав'язливо приходить думка, що закінчилась ціла епоха морських геологічних досліджень України в акваторіях Світового океану. Варто зазначити, що з 2014 р., після анексії Криму РФ, морські експедиційні геолого-геофізичні дослідження науковцями НАН України в акваторіях Світового океану не виконуються.

Прізвище Євгена Федоровича добре відоме широкому геологічному загалу і не потребує приставки наукових академічних ступенів і звань, державних та відомчих нагород. Але їх перелік по-справжньому вражає: доктор геолого-мінералогічних наук (1966), професор (1970), академік НАН України (1982), двічі лауреат Державної премії УРСР у галузі науки і техніки (1989, 2000), заслужений діяч науки і техніки України (1991). Вчений удостоєний багатьох урядових нагород, зокрема орденів «Знак пошани» (1980) і «За заслуги» III ступеня (2000). Його нагороджено Почесною грамотою Верховної Ради України та іншими медалями (Гожик, 2020).

Значна частина творчого життя Є.Ф. Шнюкова тісно пов'язана з Інститутом геологічних наук (ІГН) НАН України, де він пройшов шлях від аспіранта (1953–1956) до заступника директора з наукової роботи (1968–1969), а потім упродовж 17 років очолював Інститут (1977–1992), а також був головним редактором «Геологічного журналу». Тому ми вирішили згадати про нього саме на сторінках цього науково-теоретичного фахового видання, яке має найтривалішу історію серед вітчизняних журналів у галузі наук про Землю (Старостенко, Коболев, 2024).

Євгену Федоровичу присвячено безліч довідкових (Евгений..., 1990, 2000, 2010, 2020 та ін.) та ювілейних (Старостенко, Коболев, 2010; Старостенко, 2020; Гожик, 2020; Коболев, 2020 та ін.) публікацій. У цій статті, не дотримуючись датованої послідовності, фрагментарно зупинимось лише на знакових віхах життєпису вченого та його науково-організаційних та наукових досягненнях, які отримали широку популярність в нашій країні і за кордоном.

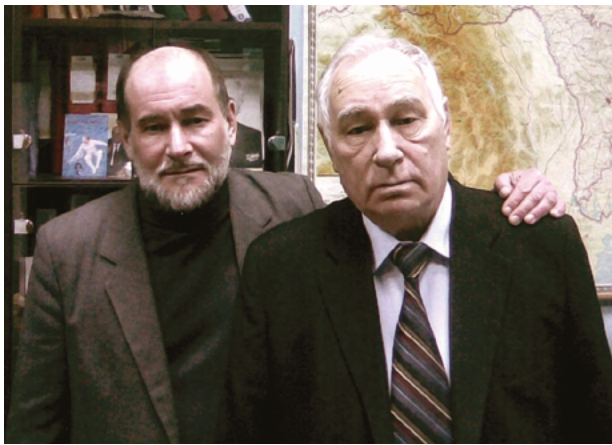
Біографічні віхи

Народився Євген Федорович у м. Архангельськ, на північній суворій окраїні Росії. В перший клас пішов у Вологді, в другому і третьому вчився в Одесі, в четвертому класі навчався в двох містах – Астрахані і Свердловську. Під час війни у 1943–1944 рр. вчився у Москві. Тільки у 1944 р. родина Шнюкових переїздить на постійне проживання в Одесу, де юнак із золотою медаллю закінчив середню школу (Старостенко, Коболев, 2010).

Юнацьким мріям Євгена Федоровича продовжити освіту у морехідному училищі не судилося здійснитися через проблеми із зором. Але доля виправила цю обставину, пов'язавши його професійну діяльність з морськими походами в моря й океани. Мабуть, романтика і мандрівне життя шкільних років привели його у 1949 р. на геологічний факультет Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка. Після закінчення у 1953 р. з відзнакою університету за спеціальністю «геолог-геохімік» Є.Ф. Шнюков навчався в аспірантурі ІГН АН УРСР під керівництвом проф. Ю.Ю. Юрка (Юрк, Шнюков, Лебедев, Кириченко, 1960), де згодом залишився працювати. Таким чином, значна частина свідомого життя Євгена Федоровича пов'язана з Україною, з Києвом. Але шкільні роки в Одесі залишили певний слід на його характерних рисах, таких як доброзичливість, хлібосольність, а саме головне – самобутній манері спілкування з хорошим одеським гумором. Ці його людські якості завжди викликали у нас захопленість.

На університетській лаві Є.Ф. Шнюков зустрів свою майбутню дружину, Галину Дмитрівну Забелло, з якою в злагоді і любові прожив поруч щасливих 54 роки. Трудова діяльність Галини Дмитрівни була пов'язана з Державним геофізичним підприємством «Укргеофізика», де вона після закінчення університету, також за спеціальністю «геолог-геохімік», пройшла шлях від інженера до начальника відділу. У 1992 р. Галина Дмитрівна, яка вже була на пенсії, разом з колегами-виробничниками (Є.С. Дворянин, В.В. Крот, П.Т. Павленко, М.І. Пономаренко) та науковцями (І.І. Чебаненко, В.О. Краюшкін, В.П. Клочко) була удостоєна Державної премії України у галузі науки і техніки «За відкриття принципово нового об'єкта пошуків родовищ нафти і газу як джерела розширення паливно-енергетичної бази України» (Старостенко, Коболев, 2008).

Євген Федорович і Галина Дмитрівна пишалися своїми нащадками, котрі у професійному плані пішли по їх стопах, але самостійно обрали інші напрями геологічних досліджень. Наразі син, Сергій Євгенович, – доктор геологічних наук, професор кафедри мінералогії, геохімії та петрографії Навчально-наукового інституту геології Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. На цій кафедрі також працює інженером улюблена онука Євгена Федоровича, Ліза, яка у минулому році закінчила університет. Дочка, доктор геологічних наук Катерина Євгенівна, очолює відділ петрографії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.



Євген Федорович у робочому кабінеті із сином Сергієм, 2015 р.
Yevgen Fedorovich in his office with his son Sergey, 2015

Морські наукові дослідження

Як відомо, наукові інтереси Є.Ф. Шнюкова охоплювали широкий спектр проблем сучасної геологічної науки, серед них – формування осадових родовищ корисних копалин, грязьовий вулканізм, геологічна будова і мінеральні ресурси Світового океану, зокрема Азово-Чорноморського басейну. Завдяки його ентузіазму та організаційному таланту в 1964 р. розпочалися геологічні дослідження Азовського моря і чорноморського шельфу України та суміжних країн з використанням науково-дослідного судна (НДС) «Геохімік». Результати цих досліджень знайшли відображення у серії фундаментальних праць «Геологія шельфу УРСР» (1981–1983, 1985), за яку вчений разом зі співавторами у 1989 р. був удостоєний звання лауреата Державної премії УРСР у галузі науки і техніки.

Є.Ф. Шнюков ініціював і очолював перші комплексні геолого-геофізичні експедиції на НДС «Академік Вернадський» в Індійському (Старостенко, 2020) та Атлантичному океанах (Шнюков та ін., 1985а, б). Результати цих досліджень металогенічного спрямування висвітлені у низці колективних монографій (Геологія..., 1983, 1989). За цикл цих праць він у 2000 р. у складі групи дослідників отримав другу Державну премію України у галузі науки і техніки.

Не можна не згадати один знаменний епізод з морської одісеї Євгена Федоровича, який



Євген Федорович (у центрі) з колегами А.В. Григор'євим (крайній ліворуч), А.П. Зіборовим (крайній праворуч) і членами екіпажу НДС «Ихтиандр» перед спуском на підводному апараті «Север-2», 1993 р.

Yevgen Fedorovich (center) with colleagues A.V. Grigoriev (far left), A.P. Ziborov (far right) and crew members of the submarine "Ichtiander" before descending on the Sever-2 submersible, 1993

свідчить про його сміливість і мужність. В 1993 р. під час експедиційних досліджень на НДС «Ихтиандр» він здійснив занурення на підводному апараті «Север-2» у північно-західній акваторії Чорного моря на глибину близько 1800 м. Підводні спостереження дозволили досліднику виявити на дні незвичайні масивні карбонатні споруди, які утворилися у результаті утилізації симбіотичними угрупованнями анаеробних метаноокисних архей- та сульфатредукованих бактерій значного обсягу метану, який виходить з морського дна (Шнюков, и др., 1995).

Наукові здобутки Є.Ф. Шнюкова у галузі морської геології широко визнані та відомі світовій науковій спільноті. Він брав участь в роботі Комітету ООН з мирного використання дна морів і океанів (Женева, 1971; Нью-Йорк, 1972) та Міжурядової океанографічної комісії у Парижі (1985, 1987). Очолював і входив до складу оргкомітетів багатьох конгресів, нарад і симпозіумів українського та міжнародного рівнів. У 1987 р. у Гвінеї (Конакрі) Євген Федорович керував по лінії ЮНЕСКО школою-семінаром з морської геології для спеціалістів з країн Західної Африки (Шнюков и др., 1987). Його активна участь у діяльності міжнародних організацій безсумнівно сприяла престижу вітчизняної науки на міжнародному рівні.

Євген Федорович мудро наголошував, що для України найбільш гострим є (і дотепер залишається) питання формування цілісної стратегії розвитку

вітчизняної науки про океан на довгостроковий період з чітко визначеною метою, основними завданнями розвитку, принципами, пріоритетами та ключовими напрямками діяльності. Він активно сприяв встановленню та зміцненню взаємодії представників України з Міжнародним органом з морського дна*, а також вміло скеровував діяльність науковців України з питань організації досліджень нових альтернативних покладів мінеральних ресурсів у глибоководних акваторіях Світового океану. Вчений зробив значний внесок у налагодження співпраці України з міжнародною організацією «Інтерокеан-метал» з метою отримання права на проведення морських наукових досліджень у північно-східній частині Тихого океану (міжнародний район морського дна Кларіон-Кліппертон) та перспективою видобування там покладів поліметалічних конкрецій. Цьому сприяли його міжнародні і ділові контакти, зокрема дружні стосунки з Ришардом Котлінським, генеральним директором міжнародного спільного підприємства «Інтерокеанметал» (іноземний член НАН України з 2003 р.) (Старостенко, та ін., 2024). У 1996–1999 рр. представники України здійснили низку успішних кроків та заклали основи для реалізації права України на правонаступництво частки ділянки глибоководного морського дна, зарезервованого за міжнародною організацією «Інтерокеанметал». У 2011 р. Уряд України подав офіційну заявку про намір України приєднатися до міжнародної організації «Інтерокеанметал».



Євген Федорович, начальник експедиції 30-го рейсу НДС «Владимир Паршин» у Чорне море, виступає на засіданні науково-технічної ради. За столом сидять його заступники В.П. Коболєв (ліворуч) та О.С. Кузнєцов (праворуч), 2009 р.

Yevgen Fedorovich, head of the expedition of the 30th voyage of the submarine "Vladimir Parshin" to the Black Sea, speaks at a meeting of the scientific and technical council. His deputies are sitting at the table, V.P. Kobolev (on the left) and O.S. Kuznetsov (on the right), 2009

*Міжурядову організацію Міжнародний орган з морського дна створили у 1994 р. держави-учасниці Конвенції ООН з морського права 1982 року. Повноправним учасником МОМД Україна стала після затвердження Закону України «Про ратифікацію Конвенції Організації Об'єднаних Націй з морського права» 1982 року та «Угоди про імплементацію Частини XI Конвенції Організації Об'єднаних Націй з морського права 1982 року» від 03 червня 1999 р. № 728-XIV.



Євген Федорович, начальник експедиції 62-го рейсу НДС «Професор Водяницький», серед штатного колективу науковців, 2005 р.

Yevgen Fedorovych, head of the expedition of the 62nd voyage of the scientific research vessel "Professor Vodyanytskyi", among the staff of scientists, 2005

На жаль, у 2014 р. з відомих причин Україна на невизначений термін призупинила активність стосовно досліджень перспективних глибоководних ділянок Світового океану.

Характерною рисою Євгена Федоровича було залучення фахівців різного наукового спрямування для вирішення актуальних геолого-геофізичних проблем. З набуттям Україною незалежності в 1990-х роках він сформував неформальний колектив вчених різних напрямів наукових і навчальних установ України, який виконав під його керівництвом численні комплексні геолого-геофізичні дослідження геологічної будови Чорного моря на НДС «Академік Вернадський» (1992), «Ихтиандр» (1993), «Київ» (1995–1997), «Професор Водяницький» (1994, 2000–2006, 2009, 2011, 2013), «Владимир Паршин» (2007, 2009). Найвагоміші результати цих досліджень узагальнені у низці публікацій (Шнюков и др., 1993, 1997, 2005, 2007, 2009; Щипцов и др., 1996; Геология..., 1998; Довгий и др., 2001; Шнюков, Коболев, 2004; Starostenko et al., 2010 та ін.) і монографій (Шнюков и др., 1997–1999, 2013 та ін.). Окремо варто згадати дві узагальнюючі монографії, видання яких ініціював Євген Федорович в останні роки.

В 2020 р. у видавництві Springer була опублікована англійською мовою монографія Є.Ф. Шнюкова та В.В. Янко, присвячена грязьовим вулканам Чорноморського регіону (Shnyukov, Yanko, 2020). В 2021 р. за редакцією Євгена Федоровича вийшла в світ монографія міжнародного колективу геологів Чорноморських держав «Газовые факелы Черного моря» (Газовые..., 2021).

Євген Федорович дуже любив Одесу і називав її «малою Вітчизною», а по приїзду одесити завжди чули від нього: «Привіт рідному місту!». За його ініціативи у 1972 р. кафедра загальної геології Одеського державного університету ім. І.І. Мечникова була перейменована на кафедру загальної та морської геології. Вчений став її головним науковим консультантом і неодноразово брав участь у спільних експедиційних дослідженнях у Чорному морі в рамках сумісних вітчизняних та міжнародних наукових проєктів. У 2018 р. Євген Федорович був ініціатором і очільником оргкомітету міжнародної наукової конференції «Морські геолого-геофізичні дослідження: фундаментальні та прикладні аспекти», яка відбулась в Одеському національному університеті ім. І.І. Мечникова (Шнюков та ін., 2018).



Євген Федорович у президії міжнародної наукової конференції «Морські геолого-геофізичні дослідження: фундаментальні та прикладні аспекти». Поруч зліва: завідувач кафедри загальної та морської геології, проф. В.В. Янко та проректор з наукової роботи Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова, член-кореспондент НАН України В.О. Іваниця, 2018 р.

Yevgen Fedorovich in the presidium of the International Scientific Conference "Marine geological and geophysical research: fundamental and applied aspects". Next to him, Professor Valentina Yanko (on the left), Head of the Department of General and Marine Geology and Volodymyr Ivanytsia, Vice-Rector for Scientific Work of Odesa I.I. Mechnikov National University and Corresponding Member of the NAS of Ukraine, 2018

Є.Ф. Шнюков зробив вагомий внесок у розвиток науково-дослідної складової музейної діяльності, за сумісництвом працюючи протягом 30 років директором Національного науково-природничого музею НАН України. Його заступниця з наукової і музейної роботи О.В. Червоненко згадує: «...майже кожного робочого дня о 15-й годині перед кабінетом на першому поверсі Національного науково-природничого музею НАН України збираються люди. Це починає прийом співробітників директор музею академік НАН України Євген Федорович Шнюков. Він приймає всіх – від заступника директора до рядового інженера, вислуховує та вирішує прості і складні питання повсякденного життя музею. Завжди з відкритими до кабінету дверима. Євген Федорович говорить тихо, спокійно й виважено, і це змушує відвідувачів поводити себе так само і з повагою ставитися до господаря кабінету» (Червоненко, 2020, с. 92).

У 2005 р. Є.Ф. Шнюков заснував і до кінця життя очолював міжнародний науково-теоретичний журнал «Геологія і корисні копалини Світового океану». Він вважав головним завданням журналу – знайомити наукову громадськість з актуальними проблемами геологічного вивчення величезної площі твердої оболонки Землі, покритої водами Світового океану, яка містить в своїх надрах незліченну кількість таких необхідних людству корисних мінеральних копалин. Вчений ретельно редагував та уважно слідкував за актуальністю публікацій, а головне – знаходив фінансові джерела для друку.

Поряд з принциповою вимогливістю, йому, як головному редактору, була притаманна доброзичлива толерантність при розгляді рукописів наукових праць на засіданнях редакційної колегії.

Загалом, перу Євгена Федоровича належить близько тисячі наукових праць – такий підсумок його багаторічної наукової діяльності. Серед них викликають захоплення одноосібні чи ним ініційовані науково-популярні видання, зокрема цікаві мінералогічні нариси. Тільки одні назви книг викликають живий інтерес читача: «Скарби моря» (1966), «Всевадні мінерали» (1969), «Полуостров сокровищ» (1973), «Мир минералов» (1986), «Сокровища и загадки» (1995), «Минералы и мир» (2008), «Камень ночи» (2009), «Минеральные сокровища Украины» (2013). Значний обсяг історичної фактологічної інформації містять його книги, присвячені Чорному морю: «Черное море» (1985), «Катастрофы в Черном море» (1994), «Пираты Черного моря» (1995), «Опасное Черное море» (2000, 2011), які можна перерахувати декілька разів.

Не можна не згадати його змістовні публікації і виступи в засобах масової інформації на актуальні геологічні теми. При цьому завжди звертали на себе увагу нестандартні назви публікацій. Наприклад, стаття про пошуки, розвідку і видобування метаногідратів у щотижневику «2000» вийшла під назвою «Нам нужен метановый Лос-Аламос» (Шнюков, Коболев, 2017).

Замість післямови

Євген Федорович Шнюков назавжди залишиться прикладом сумлінної праці та взірцем відповідального ставлення до своїх наукових і науково-організаційних обов'язків. Все своє життя до останніх днів він віддав служінню геології. Фатальний приступ хвороби застав його під час праці над рукописом останньої монографії – «Anomalous gas volcanism of the Black sea», яка за його першим прізвищем у співавторстві вийде цього року у видавництві Springer (Shnyukov, Kobolev, Yanko, 2025).

Євген Федорович був одержимий роботою, постійно генерував нові наукові ідеї, розвивав їх і втілював у практику. Ми пишаємося тим, що мали можливість жити на одному відрізку часу

і працювати поряд з цією непересічною, принциповою і надзвичайно доброзичливою особистістю. Адже він був для нас не лише видатним діячем науки, а й доброю, чуйною і щирою людиною, завжди готовою підтримати і не залишати в біді своїх друзів і колег. Надзвичайне життєлюбство, харизма, невичерпний оптимізм та чудове почуття гумору, притаманні Євгену Федоровичу, створювали комфортну, невимушену обстановку в найрізноманітніших ситуаціях.

Євген Федорович назавжди залишиться у душах і серцях друзів та колег, усіх, хто знав його, спілкувався і працював із ним, поважав і любив. Завжди будемо пам'ятати його спокій й оптимізм, простоту і людяність та шанувати нашого незабутнього колегу, друга і наставника.



Євген Федорович у каюті начальника експедиції 74-го рейсу НДС «Професор Водяницький», останнього для науковців НАН України у Чорне море, 2013 р.

Yevgen Fedorovich in the cabin of the expedition leader during the 74th voyage of the scientific research vessel "Professor Vodyanytskyi" in the Black Sea. This voyage was the last one for scientists of the NAS of Ukraine, 2013

Стаття присвячена визначним віхам наукової діяльності видатного українського вченого-геолога Є.Ф. Шнюкова. Висвітлено його роль у розвитку морських геолого-геофізичних досліджень в Україні, організації та керівництві експедиціями в Чорному, Середземному й Азовському морях для вивчення геологічної будови акваторій та газогрязьового вулканізму. Одним з найбільш значних досягнень вченого є з'ясування процесів металогенії на дні Індійського й Атлантичного океанів та його участь у роботі Комітету ООН з мирного використання морського дна та дна океану за межами національної юрисдикції, а також міжурядової Океанографічної комісії.

Список літератури

- Газовые факелы Черного моря: Шнюков Е.Ф. (ред.). Киев: ГНУ «МорГеоЭкоЦентр НАН Украины», 2021. 508 с.
- Геология и металлогения северной и экваториальной частей Индийского океана: Шнюков Е.Ф. (отв. ред.). Киев: Наукова думка, 1989. 180 с.
- Геология шельфа УССР: Керченский пролив: Шнюков Е.Ф. (ред.). Киев: Наукова думка, 1981. 159 с.
- Геология шельфа УССР: Среда. История и методика изучения: Шнюков Е.Ф. (ред.). Киев: Наукова думка, 1982. 176 с.
- Геология шельфа УССР: Твердые полезные ископаемые: Шнюков Е.Ф. (ред.). Киев: Наукова думка, 1983. 200 с.
- Геология шельфа УССР: Литология: Шнюков Е.Ф. (ред.). Киев: Наукова думка, 1985. 190 с.
- Геология, геофизика и гидрография северо-западной части Черного моря: Шнюков Е.Ф. (отв. ред.). Киев: Изд-во Службы гидрографии Украины, 1998. 221 с.
- Гожик П.Ф. Видатний вчений-геолог – академік НАН України Євген Федорович Шнюков (до 90-річчя від дня народження). *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2020. Т. 16, № 1. С. 5–9. <https://doi.org/10.15407/gpimo2020.01.005>
- Довгий С.А., Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Гожик П.Ф., Коболев В.П., Клещенко С.А., Лейбзон А.Я. Результаты геолого-геофизических исследований в северо-западной части Черного моря в 56-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (июнь 2001 г.). *Геофиз. журн.* 2001. Т. 23, № 5. С. 120–123.
- Евгений Федорович Шнюков: Орловский Г.Н., Осьмак Т.Н. (сост.); Гожик П.Ф. (отв. ред.). Киев: Наукова думка, 1990. 60 с. (Библиография ученых УССР).
- Евгений Федорович Шнюков: Орловский Г.Н., Осьмак Т.Н., Овчарова З.Г. (сост.); Кулиш Е.А. (отв. ред.). Киев: ОМГОР, ННПМ НАН Украины, 2000. 53 с. (Библиография ученых Украины).
- Евгений Федорович Шнюков: Орловский Г.Н., Осьмак Т.Н., Овчарова З.Г., Кутний В.А. (сост.); Кулиш Е.А. (отв. ред.). Киев: ОМГОР НАН Украины, 2010. 66 с. (Библиография ученых Украины).
- Евгений Федорович Шнюков: ученый, мореплаватель, человек: Щипцов А.А. (отв. ред.). Киев: ГУ «Науч. гидрофиз. центр НАН Украины», 2020. 42 с.
- Коболев В.П. Е.Ф. Шнюков – организатор и вдохновитель морских научных геолого-геофизических экспедиционных исследований в независимой Украине. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2020. Т. 16, № 1. С. 34–53. <https://doi.org/10.15407/gpimo2020.01.036>
- Старостенко В.И. К 90-летию юбилею Е.Ф. Шнюкова – геолога дальнего плавания, начальника экспедиции 19-го рейса НИС «Академик Вернадский» в Индийский океан. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42, № 4. С. 201–223.
- Старостенко В.И., Коболев В.П. Академику Евгению Федоровичу Шнюкову – 80 лет! *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32, № 2. С. 154–159.
- Старостенко В.И., Коболев В.П. Памяти Галины Дмитриевны Забелло. *Геофиз. журн.* 2008. Т. 30, № 1. С. 131–132.
- Старостенко В.И., Коболев В.П. Вітання з 90-річним ювілеєм «Геологічного журналу». *Геофіз. журн.* 2024. Т. 46, № 1. С. 92–94.
- Старостенко В.И., Коболев 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.). *Геол. журн.* 2024. № 2 (387). С. 95–138. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.301480>
- Червоненко О.В. Євген Федорович Шнюков. Музейні нотатки. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2020. Т. 16, № 1. С. 92–95.
- Шнюков Е.Ф. Минералы и мир. Киев: ОМГОР ННПМ НАН Украины, 2008. 521 с.
- Шнюков Е.Ф. Мир минералов. Киев: Наукова думка, 1986. 174 с.
- Шнюков Е.Ф. Пираты Черного моря. Киев: ОМГОР ННПМ НАН Украины, 1995. 144 с.
- Шнюков Е.Ф. Сокровища и загадки. Киев: ОМГОР ННПМ НАН Украины, 1995. 80 с.
- Шнюков Е.Ф., Довгий С.А., Пашенко Е.Ю., Рыбак Е.Н. Минеральные сокровища Украины. Киев: Логос, 2013. 168 с.
- Шнюков Е.Ф., Иванников А.В., Григорьев А.В., Клещенко С.А., Соболевский Ю.В., Орловский Г.Н., Шнюкова Е.Е., Нестеровский В.А., Маслун Н.В., Пяткова Д.М., Митин Л.И., Иноземцев Ю.И., Рыбак Е.Н., Блохина Т.С., Коболев В.П., Ястреб В.Н., Оровецкий Ю.Ю. Геологические исследования в 44-ом рейсе НИС «Академик Вернадский» в Черном море. Киев, 1993. 75 с. (Препр. / АН Украины. ОМГОР ЦНПМ; 93-1).
- Шнюков Е.Ф., Коболев В.П. Геолого-геофизические исследования в 61-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в Черном море. *Геофиз. журн.* 2004. № 6. С. 185–189.
- Шнюков Е.Ф., Коболев В.П. Нам нужен метановый Лос-Аламос. *Еженедельник «2000»*. № 37 (833). 15–21 сент. 2017 г. С. 53.
- Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Кожемякин С.Л., Блохина Т.С. Результаты Первой Украинской гидрографической экспедиции 7-го рейса НИС «Киев». *Геофиз. журн.* 1997. Т. 19, № 6. С. 89–91.
- Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Кузнецов А.С., Емельянов В.А., Радчук В.В., Куковская Т.С. Геолого-геофизические исследования в 30-ом рейсе НИС «Владимир Паршин» в Черном море. *Геология и полез. ископаемые Мирового океана*. 2009. № 3. С. 94–97.
- Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Кузнецов А.С., Куковская Т.С., Зиборов А.П. Геолого-геофизические исследования в 27-ом рейсе НИС «Владимир Паршин» в Черном море. *Геология и полез. ископаемые Мирового океана*. 2007. № 1. С. 135–140.
- Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Пасынков А.А. Газовый вулканизм Черного моря. Киев: Логос, 2013. 384 с.
- Шнюков Е.Ф., Коснырев В.К., Старостенко В.И., Моисеев Г.А., Митропольский А.Ю., Репетин Л.Н. Экспедиционные исследования в тропической зоне Атлантического океана в 28-ом рейсе научно-исследовательского судна «Академик Вернадский». *Океанология*. 1985а. Т. 25, вып. 5. С. 874–876.
- Шнюков Е.Ф., Кутний В.А., Рыбак Е.Н. Камень ночи. Киев: ОМГОР НАН Украины, 2009. 64 с.
- Шнюков Е.Ф., Митин Л.И. Опасное Черное море. Киев: ОМГОР ННПМ НАН Украины, 2000. 420 с.
- Шнюков Е.Ф., Митин Л.И., Цемко В.П. Катастрофы в Черном море. Киев: Наукова думка, 1994. 269 с.
- Шнюков Е.Ф., Митин Л.И., Щипцов А.А. Опасное Черное море. Киев: Логос, 2011. 558 с.
- Шнюков Е.Ф., Науменко П.И. Полуостров сокровищ. Симферополь: Таврия, 1973. 55 с.
- Шнюков Е.Ф., Пасынков А.А., Клещенко С.А., Коболев В.П., Любичкий А.А., Захаров З.Г. Газовые факелы на дне Черного моря. Киев: ОМГОР, 1999. 133 с.
- Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Кутний В.А. Необычные карбонатные постройки континентального склона северо-западной части Черного моря – вероятное следствие дегазации недр. *Литология и полез. ископаемые*. 1995. № 5. С. 451–461.
- Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Коболев В.П., Корчагин И.Н., Кутас Р.И., Русаков О.М. Геолого-геофизические исследования в 59-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в Черном и Эгейском морях. *Геофиз. журн.* 2004. № 4. С. 116–132.
- Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Коболев В.П., Русаков О.М. 62-й рейс НИС «Профессор Водяницкий»: геолого-геофизические исследования в Черном и Азовском морях. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27, № 6. С. 1056–1061.
- Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Сузюмов А.Е., Коснырев В.К., Митропольский А.Ю. Международная школа ЮНЕСКО по морской геологии для стран Западной Африки. *Геол. журн.* 1987. Т. 47, № 6 (237). С. 121–123.
- Шнюков Е.Ф., Цемко В.П. Черное море. Киев: Знание, 1985. 48 с.

- Шнюков Е.Ф., Шнюкова Е.Е., Щербаків І.Б. Палеоостровная дуга севера Черного моря. Киев, 1997. 288 с.
- Шнюков Е.Ф., Старостенко В.І., Митропольський О.Ю. Завдання і результати виконання геолого-геофізичної програми 28-го рейсу НДС «Академік Вернадський». *Вісн. АН УРСР*. 1985б. № 3. С. 80–84.
- Шнюков Е.Ф., Щириця О.С. Всевадні мінерали. Київ: Знання, 1969. 46 с.
- Шнюков Е.Ф., Щириця О.С. Скарби моря. Київ: Знання, 1966. 46 с.
- Шнюков Е.Ф., Янко В.В., Ємельянов В.А., Коболєв В.П. Морські геолого-геофізичні дослідження: фундаментальні та прикладні аспекти. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2018. Т. 14, № 4. С. 94–103.
- Щипцов А.А., Шнюков Е.Ф., Коболєв В.П., Лебедь А.Г. Комплексные экспедиционные исследования 4-го рейса НИС «Киев». *Геофиз. журн.* 1996. Т. 18, № 4. С. 83–84.
- Юрк Ю.Ю., Шнюков Е.Ф., Лебедев Ю.С., Кириченко О.Н. Минералогия железорудной формации Керченского бассейна. Симферополь: Крымиздат, 1960. 450 с.
- Shnyukov Yevgeny, Kobolev Volodymyr, Yanko Valentyna. Anomalous gas volcanism of the Black sea. Springer Nature Switzerland AG. 2025 (in print).
- Starostenko V.I., Rusakov O.M., Shnyukov E.F., Kobolev V.P., Kutas R.I. Methane in the northern Black Sea: Characterization of its geomorphological and geological environments. *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Geological Society, London, Special Publication, 340. 2010. P. 57–75.
- Shnyukov E., Yanko V. Mud Volcanoes of the Black Sea Region and Their Environmental Significance. Springer, Switzerland, 2020. 494 p.

References

- Chervonenko O.V. 2020. Evgen Fedorovich Shnyukov. Museum notes. *Geologiya i korysni kopalyny Svitovogho okeanu*, 16 (1): 92–95 (in Ukrainian).
- Dovgy S.A., Shnyukov E.F., Starostenko V.I., Gozhik P.F., Kobolev V.P., Kleshchenko S.A., Leibzon A.Ya. 2001. Results of geological and geophysical studies in the northwestern part of the Black Sea in the 56th voyage of the R/V “Professor Vodyanitsky” (June 2001). *Geophys. Journal*, 23 (5): 120–123 (in Russian).
- Gas flares of the Black Sea. 2021. (Ed. E.F. Shnyukov). Kyiv: GNU “MorGeoEcoCenter of the NAS of Ukraine”. 508 p. (in Russian).
- Geology and metallogeny of the northern and equatorial parts of the Indian Ocean. (Ed. E.F. Shnyukov). 1989. Kyiv: Naukova Dumka. 180 p. (in Russian).
- Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. Kerch Strait. (Ed. E.F. Shnyukov). 1981. Kyiv: Naukova Dumka. 159 p. (in Russian).
- Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. History and study methods. (Ed. E.F. Shnyukov). 1982. Kyiv: Naukova Dumka. 176 p. (in Russian).
- Geology of the shelf of the Ukrainian SSR: Solid minerals. (Ed. E.F. Shnyukov). 1983. Kyiv: Naukova Dumka, 200 p. (in Russian).
- Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. Lithology. (Ed. E.F. Shnyukov). 1985. Kyiv: Naukova Dumka. 190 p. (in Russian).
- Geology, geophysics and hydrography of the northwestern part of the Black Sea. (Ed. E.F. Shnyukov). 1998. Kyiv: Publishing House of the Hydrographic Service of Ukraine. 221 p. (in Russian).
- Gozhik P.F. 2020. Famous scientist-geologist – academician of the National Academy of Sciences of Ukraine Yevgen Fedorovich Shnyukov (to the 90-th anniversary). *Geologiya i korysni kopalyny Svitovogo okeanu*, 16 (1): 5–9. <https://doi.org/10.15407/gpimo2020.01.005> (in Ukrainian).
- Kobolev V.P. 2020. E.F. Shnyukov is the organizer and inspirer of marine scientific geological and geophysical expedition research in independent Ukraine. *Geologiya i korysni kopalyny Svitovogho okeanu*, 16 (1): 34–53 (in Russian).
- Shchiptsov A.A., Shnyukov E.F., Kobolev V.P., Lebed A.G. 1996. Complex expeditionary studies of the 4th cruise of the R/V “Kyiv”. *Geophys. Journal*, 18 (4): 83–84 (in Russian).
- Shnyukov E., Yanko V. 2020. Mud Volcanoes of the Black Sea Region and Their Environmental Significance. Springer, Switzerland. 494 p.
- Shnyukov E.F. 1995. Treasures and riddles. Kyiv: OMGOR NNPM of the NAS of Ukraine. 80 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F. 1986. The World of Minerals. Kyiv: Naukova Dumka. 174 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F. 1995. Pirates of the Black Sea. Kyiv: OMGOR NNPM of the NAS of Ukraine. 144 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F. 2008. Minerals and peace. Kyiv: OMGOR NNPM of the NAS of Ukraine. 521 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Dovgyi S.A., Pashchenko E.Yu., Rybak E.N. 2013. Mineral treasures of Ukraine. Kyiv: Logos. 168 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Ivannikov A.V., Grigoryev A.V., Kleschenko S.A., Sobolevsky Yu.V., Orlovskiy G.N., Shnyukova E.E., Nestorovskyy V.A., Maslun N.V., Pyatkova D.M., Mitin L.Y., Inozemtsev Y.Y., Rybak E.N., Blokhina T.S., Kobolev V.P., Yastreb V.N., Orovetsky Yu.Yu. 1993. Geological research in the 44th voyage of the R/V “Akademik Vernadsky” in the Black Sea. Kyiv, 75 p. (Prepared by the Academy of Sciences of Ukraine. OMGOR TsNPM; 93-1) (in Russian).
- Shnyukov E.F., Kobolev V.P. 2004. Geological and geophysical research in the 61st voyage of the R/V “Professor Vodyanitsky” in the Black Sea. *Geophys. Journal*, 26 (6): 185–189 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Kobolev V.P. 2017. We need a methane Los Alamos. *Weekly “2000”*, No. 37 (833): B3 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Kobolev V.P., Kozhemyakin S.L., Blokhina T.S. 1997. Results of the First Ukrainian Hydrographic Expedition of the 7th voyage of the R/V “Kyiv”. *Geophys. Journal*, 19 (6): 89–91 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Kobolev V.P., Kuznetsov A.S., Kukovskaya T.S., Ziborov A.P. 2007. Geological-geophysical research in the 27th voyage of the R/V “Vladimir Parshin” in the Black Sea. *Geologiya i korysni kopalyny Svitovogho okeanu*, 3 (1): 135–140 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Kobolev V.P., Pasynkov A.A. 2013. Gas volcanism of the Black Sea. Kyiv: Logos. 384 p. (in Russian).
- Shnyukov Yevgeny, Kobolev Volodymyr, Yanko Valentyna. 2025. Anomalous gas volcanism of the Black sea. Springer Nature Switzerland AG (in print).
- Shnyukov E.F., Kosnurev V.K., Starostenko V.I., Moiseev G.A., Mitropolsky A.Ju., Repetin L.N. 1985a. Expeditionary research in the tropical zone of the Atlantic Ocean in the 28th voyage of the R/V “Academic Vernadsky”. *Oceanology*, 25 (5): 874–876 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Kutniy V.A., Rybak E.N. 2009. Stone of night. Kyiv: OMGOR of the NAS of Ukraine. 64 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Mitin L.I. 2000. Dangerous Black Sea. Kyiv: OMGOR NNPM of the NAS of Ukraine. 420 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Mitin L.I., Shchiptsov A.A. 2011. Dangerous Black Sea. Kyiv: Logos. 558 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Mitin L.I., Tsemko V.P. 1994. Disasters in the Black Sea. Kyiv: Naukova Dumka. 269 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Naumenko P.I. 1973. Treasure Peninsula. Simferopol: Tavria. 55 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Pasynkov A.A., Kleschenko S.A., Kobolev V.P., Lyubitskiy A.A., Zakharov Z.G. 1999. Gas flares at the bottom of the Black Sea. Kyiv: OMGOR of the NAS of Ukraine. 133 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Shchyritsa O.S. 1969. Omnipotent minerals. Kyiv: Znannya. 46 p. (in Ukrainian).
- Shnyukov E.F., Shchyritsa O.S. 1966. Treasures of the sea. Kyiv: Znannya. 46 p. (in Ukrainian).
- Shnyukov E.F., Shnyukova E.E., Shcherbakov I.B. 1997. Paleoisland arc of the northern Black Sea. Kyiv: Naukova Dumka. 288 p. (in Russian).

- Shnyukov E.F., Sobolevsky Yu.V., Kutniy V.A. 1995. Unusual carbonate structures of the continental slope of the north-western part of the Black Sea – a probable consequence of subsoil degassing. *Lithology and useful fossils*, 5: 451–461 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Starostenko V.I., Mitropolsky O.Yu. 1985b. Tasks and results of the implementation of the geological and geophysical program of the 28th voyage of the R/V “Akademik Vernadsky”. *Visn. AN UkrSSR*, 3: 80–84 (in Ukrainian).
- Shnyukov E.F., Starostenko V.I., Suzyumov A.E., Kosnyrev V.K., Mitropolsky A.Yu. 1987. UNESCO International School of Marine Geology for West African Countries. *Geologičnij žurnal*, 6 (237): 121–123 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Starostenko V.Y., Kobolev V.P., Rusakov O.M. 2005. 62nd voyage of the R/V “Professor Vodyanitsky”: geological and geophysical research in the Black and Azov seas. *Geophys. Journal*, 27 (6): 1056–1061 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Tsemko V.P. 1985. Black Sea. Kyiv: Znanie. 48 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Yanko V.V., Yemelyanov V.A., Kobolev V.P. 2018. Marine geological and geophysical research: fundamental and applied aspects. *Geologiya i korysni kopalyny Svitovogho okeanu*, 14 (4): 94–103 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Kobolev V.P., Kuznetsov A.S., Emelyanov V.A., Radchuk V.V., Kukovskaya T.S. 2009. Geological and geophysical research in the 30th voyage of the R/V “Vladimir Parshin” in the Black Sea. *Geologiya i korysni kopalyny Svitovogho okeanu*, 5 (3): 94–97 (in Russian).
- Shnyukov E.F., Starostenko V.I., Kobolev V.P., Korchagin I.N., Kutas R.Y., Rusakov O.M. 2004. Geological-geophysical research in the 59th voyage of the R/V “Professor Vodyanitsky” in the Black and Aegean seas. *Geophys. Journal*, 26 (4): 116–132 (in Russian).
- Starostenko V.I. 2020. On the 90th anniversary of E.F. Shnyukov, a long-distance geologist, head of the expedition of the 19th voyage of the R/V “Academic Vernadsky” to the Indian Ocean. *Geophys. Journal*, 42 (4): 201–223 (in Russian).
- Starostenko V.I., Kobolev V.P. 2008. In memory of Galina Dmitrievna Zabello. *Geophys. Journal*, 30 (1): 131–132 (in Russian).
- Starostenko V.I., Kobolev V.P. 2010. Academician Yevgeny Fedorovich Shnyukov is 80 years old! *Geophys. Journal*, 32 (2): 154–159 (in Russian).
- Starostenko V.I., Kobolev V.P. 2024. Congratulations on the 90th anniversary of the Geological Journal. *Geophys. Journal*, 46 (1): 92–94 (in Russian).
- Starostenko V.I., Kobolev V.P., Paliy V.M. 2024. To the 60th anniversary of the Department of Earth Sciences. Part 3. Chronology of the development of the Department of Earth Sciences in independent Ukraine (1991–2023). *Geologičnij žurnal*, 2 (387): 95–138 (in Ukrainian).
- Starostenko V.I., Rusakov O.M., Shnyukov E.F., Kobolev V.P., Kutas R.I. 2010. Methane in the northern Black Sea: Characterization of its geomorphological and geological environments. Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society, London, Special Publication, 340: 57–75.
- Yevgeny Fedorovich Shnyukov. 1990. (Ed. P.F. Gozik). Kyiv: Naukova Dumka. 60 p. (Bibliography of scientists of the Ukrainian SSR) (in Russian).
- Yevgeny Fedorovich Shnyukov. 2000. (Ed. E.A. Kulysh). Kyiv: OMGOR, NNPM of the NAS of Ukraine. 53 p. (Bibliography of Ukrainian scientists) (in Russian).
- Yevgeny Fedorovich Shnyukov. 2010. (Ed. E.A. Kulysh). Kyiv: OMGOR of the NAS of Ukraine. 66 p. (Bibliography of Ukrainian scientists) (in Russian).
- Yevgeny Fedorovich Shnyukov: scientist, sailor, man. 2020. (Ed. A.A. Shchypstov). Kyiv: State Institution “Scientific Hydrophysical Center of the NAS of Ukraine”. 42 p. (in Russian).
- Yurk Yu.Yu., Shnyukov E.F., Lebedev Yu.S., Kirichenko O.N. 1960. Mineralogy of the iron ore formation of the Kerch basin. Simferopol: Krymizdat, 450 p. (in Russian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325110>

A Tribute to a Brilliant Scientist and Inspiring Teacher, Paul A. Witherspoon, former Foreign Member of the National Academy of Sciences of Ukraine

E-mail: bafaybishenko@lbl.gov,
<https://orcid.org/0000-0003-0085-8499>

Received / Надійшла до редакції:
15.09.24

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
29.01.25

Accepted / Прийнята:
10.02.25

Boris Faybishenko

Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA

**Вшанування пам'яті блискучого вченого та натхненного
вчителя Пола А. Візерспуна, колишнього іноземного
члена Національної академії наук України**

Б.А. Файбішенко

Лоуренс Берклі Національна лабораторія, Берклі, Каліфорнія, США

Keywords: Paul Witherspoon,
Hydrogeology, Fractured rock, Nuclear
waste disposal, Deep geological
formations.

Ключові слова: Пол Візерспун,
гідрогеологія, тріщинуваті породи,
захоронення ядерних відходів, глибокі
геологічні формації.

This article highlights the significant legacy of Paul A. Witherspoon (1919–2012), a pioneering scientist in fractured rock hydrogeology and nuclear waste disposal in deep geological formations. Through his influential publications and contributions, this article aims to inspire both emerging and experienced scientists in the captivating field of earth sciences!

© Видавець Інститут геологічних наук
НАН України, 2025. Стаття опублікована за
умовами відкритого доступу за ліцензією
CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences
of the National Academy of Sciences of
Ukraine, 2025. This is an Open Access article
under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Citation: Faybishenko Boris. 2025. A Tribute to a Brilliant Scientist and Inspiring Teacher, Paul A. Witherspoon, former Foreign Member of the National Academy of Sciences of Ukraine. *Geologičnij žurnal*, 1 (390): 66–69. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325110>

Цитування: Файбішенко Б.А. Вшанування пам'яті блискучого вченого та натхненного вчителя Пола А. Візерспуна, колишнього члена Національної академії наук України. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 66–69. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325110>

This article reflects on the memories of Paul A. Witherspoon (1919–2012), one of the world's leading hydrogeologists (Duncan and Voss, 2013). It references his publications and works about him to inspire young and established scientists in the earth sciences. I had a unique and fantastic opportunity to start working with Paul in January 1991. Engaging conversations and the vibrant stories I shared sparked his curiosity about Ukraine. In 1993, I was thrilled to coordinate a visit of a group of American scientists led by Paul to Kyiv, where he visited various institutions and connected with many talented researchers. Paul's visit included a fascinating tour of the National Academy of Sciences of Ukraine (NASU), where he met remarkable scientists from the Institute of Geological Sciences, the Institute of Geochemistry, and the Institute of Cybernetics. Inspired by the dedication and expertise of Ukrainian scientists he encountered, Paul took the initiative to foster collaboration between U.S. and Ukrainian scientists, launching an exciting program focused on hydrological studies related to contaminant transport at Chornobyl. His efforts were recognized when he was elected as a Foreign Member of the National Academy of Sciences of Ukraine. Paul returned to Ukraine in 1994, further solidifying these invaluable connections.

Paul was a role model known for fostering a research environment characterized by cooperation, excitement, and camaraderie. His students, who continued in academia, often tried replicating this supportive atmosphere. In today's scientific community, Witherspoon is still recognized for his exceptional ability to connect with people, build friendships, and cultivate trusted relationships with colleagues.

Paul played a significant role in shaping ideas and methodologies related to fractured rock hydrogeology. His interest in this area began with his early studies on caprock integrity for underground gas storage. As his career progressed, he focused more on the role of aquitards in hydrogeological systems. Eventually, he expanded his research to include thermohydrologic and hydromechanical couplings in geothermal systems and nuclear waste isolation in deep geological formations.

Paul and several of his students authored a highly acclaimed article titled "Validity of Cubic Law for Fluid Flow in a Deformable Rock Fracture" (Witherspoon et al., 1980). This paper is arguably one of the most influential works on fluid flow in a single rock fracture, having received about 3150 citations. Paul Witherspoon was a prominent pioneer in the field of contemporary fractured rock hydrogeology (Freeze et al., 2015).



A snapshot from the 1993 conference in Las Vegas, Nevada, USA, captured when Vyacheslav M. Shestopalov proudly presented the Diploma of a Foreign Member of the National Academy of Sciences of Ukraine to the esteemed Paul Witherspoon! From left to right: Paul Witherspoon, Vyacheslav Shestopalov, unknown, Boris Faybishenko

Paul was widely honored for his work. He was awarded the Horton Award from the American Geophysical Union (AGU) and the Meinzer Award from the Geological Society of America (GSA). In 1989, he was elected to the National Academy of Engineering for “pioneering work in geothermal energy, underground storage, hydrogeology, and the flow of fluids in fractured and porous rocks.” In 2001, he was elected a Fellow of the World Innovation Foundation.

Paul’s most significant legacy is his many students and colleagues, who benefited from his generous mentorship and lifelong friendship. Not surprisingly, Paul’s former students are also key scientists worldwide, including many outstanding hydrogeologists in the U.S., Canada, the U.K., and other countries. To show their appreciation, they honored him over the years with several memorable research conferences and symposia at Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), on the occasions of his 60th, 70th, and 80th and 85th birthdays (Narasimhan, 1982; Faybishenko, 1999; Faybishenko and Witherspoon, 2004). The American Geophysical Union published three monographs on these events (Faybishenko et al., 2000, 2005, 2015).

Paul always enjoyed his international network of friends in China, France, Sweden, Ukraine, and many others. He had a basic understanding of several languages, more than most people you will ever encounter, and he consistently greeted others in their native tongues. Paul traveled extensively to give lectures and conduct courses around the world.

Paul Witherspoon initiated a scientific study of nuclear waste disposal in deep geological formations (Witherspoon, 2000). Paul edited the first four *Worldwide Review (WWR)* issues on nuclear waste disposal in geological formations (Witherspoon, 1991, 1996; Witherspoon and Bodvarsson, 2001, 2006). I edited the 5th *Worldwide Review on Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation* (Faybishenko et al., 2016). The problem of nuclear waste disposal is vital for Ukraine, and Ukrainian scientists were invited to publish the results of their research in these issues (Khrushchov and Starodumov, 1996; Khrushchov and Tabachny, 2001; Shestopalov et al., 2016.)

Paul had an extraordinary gift that many highly intelligent people strive for: he could break down complex scientific concepts into simple, relatable language for everyone, regardless of age or background. I vividly recall when he effortlessly explained the water

movement issue in fractured rock at Yucca Mountain to a taxi driver in Nevada—such a brilliant moment! His passion for igniting curiosity was evident, as he made tough topics feel accessible and enjoyable. Paul had a genuine talent for fostering engaging conversations, always asking thoughtful questions that invited exploration and sharing. His attentive listening skills and warm demeanor helped others feel at ease, encouraging them to contribute their thoughts. Seeing how he connected with people was inspiring, making science understandable and enjoyable!

In 2015, the American Geophysical Union (AGU) established the “Paul A. Witherspoon Mid-Career Lecture Award in Hydrologic Sciences” to actively promote and honor excellence among mid-career scientists. This award targets those with 10 to 20 years of post-Ph.D. experience who are making significant strides in hydrologic sciences. As our scientific community boldly extends its reach – integrating fundamental hydrology with interdisciplinary approaches and societal needs – this award is essential for recognizing the critical contributions of emerging leaders in the field. While honoring its recipients, the Paul Witherspoon Award will also recognize Paul’s significant contributions – advancing the science of hydrology, applying it to socially important issues, and mentoring young hydrologists with dedication and inspiration. I hope that at one point, a Ukrainian scientist will be honored with the Paul Witherspoon Award.

To learn firsthand about Paul Witherspoon’s research and community-building perspective, view the videotaped interview he gave in 2007, posted on the International Association of Hydrogeologists (timecapsule.iah.org). A biographical article based on the interview was also published by IAH (Freeze and Javandel, 2008). As expressed in his obituary (EOS, July 31, 2012) “to enter Paul’s orbit was to experience a stimulating mix of high intelligence, deep curiosity, and love of life”.

Working with Paul was a transformative experience for me and many of his graduate students and colleagues. Throughout his long life and career in the Earth sciences community, Paul’s impact on advancing our field and empowering the next generation goes far deeper than one may realize. I encourage everyone to visit the AGU website to enrich your appreciation of Paul Witherspoon, the influential leader in hydrologic sciences: <https://connect.agu.org/hydrology/resources-ihp/paulwitherspoon>

Ця стаття висвітлює значну спадщину Пола А. Візерспуна (1919–2012), вченого-першопрохідця в галузі гідрогеології тріщинуватих порід та захоронення ядерних відходів у глибоких геологічних формаціях. Завдяки його впливовим публікаціям і вагомих здобуткам ця стаття має на меті надихнути як молодих, так і досвідчених вчених у захоплюючій галузі наук про Землю!

References

- Duncan S.M., Voss C.I. 2013. Editors' Message: Eminent hydrogeologists profiled in 20 years of Hydrogeology Journal (1992–2012). *Hydrogeology Journal*, July 2013. DOI: 10.1007/s10040-013-1009-9
- Faybishenko B. (ed.). 1999. Proceedings of the International Symposium on Dynamics of Fluids in Fractured Rocks: Concepts and Recent Advances. (In Honor of Paul A. Witherspoon's 80th Birthday). LBNL-42718.
- Faybishenko B. and Witherspoon P.A. (eds.). 2004. Dynamics of Fluids in Fractured Rock. *Proceedings of the International Symposium on Dynamics of Fluids in Fractured Rocks: Concepts and Recent Advances*. (In Honor of Paul A. Witherspoon's 85th Birthday). LBNL-54275.
- Faybishenko B., Witherspoon P.A., Benson S.M. (eds.). 2000. Dynamics of fluids in fractured rock. Geophysical Monograph 122, American Geophysical Union, Washington DC.
- Faybishenko B., Witherspoon P.A. and Gale J. (eds.). 2005. Dynamics of Fluids and Transport in Fractured Rock. *Geophysical Monograph Series*, 162. ISBN 0-87590-427-0.
- Faybishenko B., Gale J. and Benson S. (eds.). 2015. Fluid Dynamics in Complex Fractured-Porous Systems. *Geophysical Monograph*. 210. AGU/Wiley.
- Faybishenko B., Birkholzer J., Sassani D. and Swift P. (eds.). 2016. International Approaches for Deep Geological Disposal of Nuclear Waste: Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Fifth Worldwide Review. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL-1006984).
- Freeze R.A. and Javandel I. 2008. An interview with Paul Witherspoon, distinguished hydrogeologist from the USA. *Hydrogeology Journal*, 16: 811–815. doi:10.1007/s10040-008-0308-z
- Freeze R.A., Javandel I. and Neuman S.P. July 2012. Paul A. Witherspoon (1919–2012). *Eos*, 93 (31): 304.
- Freeze R.A., Javandel I. and Neuman S.P. 2015. Paul Witherspoon and the Birth of Contemporary Fractured Rock Hydrogeology. In: *Dynamics of Fluids and Transport in Complex Fractured-Porous Systems*. *Geophysical Monograph* 210. First ed. (Eds. Boris Faybishenko, Sally M. Benson and John E. Gale). AGU/Wiley, pp. 1–3.
- Khrushchov D.I. and Starodumov V.M. 1996. Programme and Results of the Initial Phase of Radioactive Waste Isolation in Geological Formations in Ukraine. In: Witherspoon P.A. (ed.). Chapter 25, Geological Problems in Radioactive Waste Isolation: Second Worldwide Review. Report LBNL-38915.
- Khrushchov D. and Tabachny L. 2001. Deep Geological Disposal of Radioactive Waste in Ukraine. Chapter 31. In: Witherspoon P.A. and Bodvarsson G.S. (eds.). Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation: Third Worldwide Review. Report LBNL-49767.
- Narasimhan T.N. 1982. Recent trends in hydrogeology. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 189: 1–448.
- Shestopalov V.M., Shybetzkyi Iu. A., Proskura M.I., Zinkevich L.I., Temny R.G. 2016. Geological Disposal of Radioactive Waste in Ukraine: Background, Status, and Future Steps, Chapter 23. In: Faybishenko B. et al. (eds.). International Approaches for Deep Geological Disposal of Nuclear Waste: Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Fifth Worldwide Review. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL-1006984).
- Witherspoon P.A., Wang J.S.Y., Iwai K. and Gale J.E. 1980. *Water Resour. Res.*, 16: 1016–1024.
- Witherspoon P.A. 2000. The Stripa project. *Int. J. Rock Mech. Min.*, 37: 385–396. (LINK)
- Witherspoon P.A. and de Marsily G. 1991. Introduction. In: Geological Problems in Radioactive Waste Isolation: A World Wide Review. P.A. Witherspoon (ed.). Report LBNL-29703, pp. 1–2.
- Witherspoon P.A. (ed.). 1991. Geological Problems in Radioactive Waste Isolation: A Worldwide Review. Report LBNL-29703.
- Witherspoon P.A. (ed.). 1996. Geological Problems in Radioactive Waste Isolation: Second Worldwide Review. Report LBNL-38915.
- Witherspoon P.A. and Bodvarsson G.S. (eds.). 2001. Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation: Third Worldwide Review. Report LBNL-49767.
- Witherspoon P.A. and Bodvarsson G.S. (eds.). 2006. Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation: Fourth Worldwide Review. Report LBNL-59808.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325115>

Received / Надійшла до редакції:

10.09.2024

Accepted / Прийнята:

10.02.2025

Ювілей академіка Віталія Івановича Старостенка

У квітні 2025 року Віталію Івановичу Старостенку, видатному українському вченому геологу-геофізику в галузі теорії інтерпретації потенціальних полів, автоматизованих систем обробки та інтерпретації гравіметричних і магнітометричних даних, теорії та методики розв'язання некоректно поставлених задач геофізики, побудови щільнісних моделей кори і верхньої мантії Землі, виповнюється 90 років.

Наступний блок містить основні біографічні віхи академіка Віталія Старостенка – науковця та організатора науки, з ім'ям якого вже понад півстоліття пов'язаний розвиток не тільки геофізики в Україні, а й наук про Землю.

Anniversary of Academician Vitaliy I. Starostenko



In April of this year, Vitaliy Ivanovych Starostenko, an outstanding Ukrainian geologist and geophysicist in the field of theory of interpretation of potential fields, automated systems for processing and interpreting gravimetric and magnetometric data, theory and methodology for solving incorrectly posed geophysical tasks, and construction of

density models of the Earth's crust and upper mantle, turns 90.

The following block contains the main biographical milestones of Academician Vitaliy Starostenko, a scientist and organizer of science, with whose name the development of not only geophysics in Ukraine, but also Earth sciences has been associated for over half a century.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Цитування: Ювілей академіка Віталія Івановича Старостенка. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 70–79. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325115>

Citation: Anniversary of Academician Vitaliy I. Starostenko. 2025. *Geologichnij zhurnal*, 1 (390): 70–79. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325115>

Наукові ступені та звання ювіляра: кандидат технічних наук (1966), доктор фізико-математичних наук (1977), професор (1984), член-кореспондент АН України (1985), академік АН України (1990).

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України: аспірантура (1961–1964), очільник відділу глибинних процесів Землі і гравіметрії (з 1976), заступник директора (1975–1991), директор (1991–2022), радник при дирекції і голова вченої ради (з 2022).

Національна академія наук України: заступник академіка-секретаря (1978–1988), академік-секретар Відділення наук про Землю та член Президії НАН України (1988–2004).

Основні відзнаки та нагороди: двічі лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (1984, 1995), заслужений діяч науки і техніки України (1997), лауреат Премії Кабінету Міністрів України (2014), лауреат Премії ім. С.І. Субботіна (2015), орден «За заслуги» 3-го (2005) та 2-го (2015) ступенів.

Про Віталія Івановича, його професійні наукові здобутки вже написано чимало статей, спогадів колег, друзів (Чекунов, 1995; Лукин, 2015 та ін.). Проте найцікавіше читати про ювіляра його власні публікації, які впровадив учений та влучно назвав «досвідом ювілейного самообслуговування» (наприклад, Старостенко, 2005; Старостенко, 2015; Старостенко, 2021 та ін.).

З автобіографічних дописів дізнаємось, що Віталій Іванович Старостенко народився 13 квітня 1935 р. у Києві в родині інженерів-технологів цукрової промисловості. Освіту здобув у київській школі, а потім у Київському державному університеті ім. Т.Г. Шевченка, який закінчив у 1958 р. за фахом «інженер геолог-геофізик». З 1958 по 1961 р. працював інженером-оператором, інженером-інтерпретатором і начальником загону у польових партіях Київської геофізичної розвідувальної експедиції тресту «Укргеофізрозвідка».

Досвід гравіметричних вимірювань та їх подальша інтерпретація стали поштовхом, який надихнув Віталія Івановича у 1961 р. вступити до аспірантури Інституту геофізики АН УРСР. Відтоді весь подальший життєвий і творчий шлях науковця був пов'язаний з Інститутом геофізики НАН України. Тут його першим наставником був один із найдосвідченіших геофізиків – Іларіон Аркадійович Балабушевич.

Наукові інтереси В.І. Старостенка були пов'язані насамперед з теорією інтерпретації

Vitaliy I. Starostenko is a Candidate of Technical Sciences (1966), Doctor of Sciences in Physics and Mathematics (1977), Professor (1984), Corresponding member of the Academy of Sciences of Ukraine (NASU) (1985), Academician of the NASU (1990).

Institute of Geophysics of the NASU, he has occupied the positions of the Head of the Department of Deep Processes of the Earth and Gravity (since 1976), Deputy Director (1975–1991), Director of the Institute (1991–2022), Advisor to the Directorate, Chairman of the Academic Council (since 2022).

In the NASU, he has performed the duties of Deputy Academician-Secretary (1978–1988), Academician-Secretary (1988–2004) and Member of the Presidium of NASU (1988–2004). He twice was awarded the State Prize of Ukraine in the field of science and technology (1984, 1995), the honorary title of Honored Scientist and Technician of Ukraine, (1997), the prize of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2014), the S.I. Subbotin Prize (2015); Order of Merit of the 3rd (2005) and 2nd (2015) degrees.

Many articles and memoirs of colleagues and friends have already been written about Vitaliy Ivanovych and his professional scientific achievements (Chekunov, 1995; Lukin, 2015, etc.). However, the most interesting thing to read about the hero of the day is his own publications, which Vitaliy Ivanovych introduced and aptly called the “experience of anniversary self-service” (for example, Starostenko, 2005; Starostenko, 2015; Starostenko, 2021).

Vitaliy I. Starostenko was born on April 13, 1935 in Kyiv in the family of engineers-technologists involved in sugar refining manufacturing.

He received his high-school education in the city of Kyiv, and then entered Kyiv State University, which he graduated in 1958, with a Diploma of engineer geologist-geophysicist. Then Vitaliy I. Starostenko had worked for three years as an engineer-operator, engineer-interpreter and a field group leader in the Kyiv geophysics exploratory expedition ‘Ukrgeophysrozvidka Trust’.

The experience in these gravimetric measurements and their further interpretation became an impetus, which inspired Vitaliy I. Starostenko in 1961 to enter the Postgraduate School at the Institute of Geophysics of the Academy of Sciences of UkrSSR. His scientific advisor was one of the most famous geophysicists (a theorist and an experimenter) in the area of interpretation of potential fields – I.A. Balabushevych. Since that time, all Vitaliy I. Starostenko's following life path was strongly related to the Institute of Geophysics of the National

потенціальних полів. У спеціалізованій вченій раді Дніпропетровського гірничого інституту ім. Артема він захистив дисертацію кандидата технічних наук на тему «Визначення потенціала тяжіння та його похідних за вимірюваними елементами гравітаційного поля з використанням електронних обчислювальних машин (Определение потенциала притяжения и его производных по измеряемым элементам гравитационного поля с использованием электронных вычислительных машин)».

У 1970 р. вийшла перша монографія ювіляра «Визначення вертикальних похідних гравітаційного потенціала за результатами спостережень горизонтальним градієнтметром (Определение вертикальных производных гравитационного потенциала по результатам наблюдений горизонтальным градиентметром)». Отже, він став одним з перших у колишньому СРСР, хто розпочав створення автоматизованих систем обробки та інтерпретації даних граві- та магнітометрії з використанням ЕОМ.

За роботу «Автоматизована система поточної обробки даних гравіметрії і магнітометрії (Автоматизированная система поточной обработки данных гравиметрии и магнитометрии)» (у спів-авторстві з Г.С. Бутаковим та ін.) вчений був нагороджений Золотою медаллю Виставки досягнень народного господарства СРСР у 1972 р.

У 1977 р. Віталій Іванович успішно захистив докторську дисертацію у Московському державному університеті. Через рік вона отримала подальший розвиток у вигляді фундаментальної монографії «Стійкі чисельні методи в задачах гравіметрії (Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии)» (Старостенко, 1978). Її наукова цінність підтверджується сьогодні високим індексом цитування в усіх виданнях, присвячених проблемам теорії та методів розв'язування некорректно поставлених задач геофізики.

А потім була напружена наукова та науково-організаційна робота, керівництво потужним Інститутом геофізики, в якому розвивалися практично всі основні напрями геофізики. Неодноразово В.І. Старостенко брав участь у науково-дослідних рейсах із геолого-геофізичною програмою в Атлантичний та Індійський океани, а також Чорне й Азовське моря. Працював у міжнародному Центрі в Конакрі.

Про свою науку в статті, опублікованій у «Геофізичному журналі» у 2005 р., Віталій Іванович написав:

Academy of Sciences of Ukraine, where he rose from a Junior Researcher to the Director of the Institute.

Scientific interests of Vitaliy I. Starostenko were first of all related to the theory of potential fields interpretation. Vitaliy I. Starostenko defended the Thesis of the Candidate of Science in Technical Sciences at the Dnipropetrovsk Mining Institute in 1966. The title of his thesis was 'Determination of the potential of attraction and its derivatives from the measured elements of the gravitational field using computers'.

In 1970 his first monograph 'Determination of vertical derivatives of gravity potential according to the results of observations with horizontal gradiometer' was published. Thus he became one of the first in the Former USSR who began the creation of automated systems of processing and interpretation of gravity and magnetometry data using computers.

For his work 'Automated system for on-line processing of gravimetry and magnetometry data' (co-authored with G.S. Butakov and others) he was awarded the Gold Medal of the Exhibition of Achievements of the National Economy of the USSR in 1972.

In 1977 Vitaliy I. Starostenko successfully defended doctoral thesis in Moscow State University. In a year it was further developed as a fundamental monograph 'Stable numerical methods in the problems of gravimetry'. Its scientific value is confirmed today by a high citation index in all publications dedicated to the problems of theory and methods of solving incorrectly posed problems of geophysics.

And then there was intense scientific and organizational work, leadership of the powerful Institute of Geophysics, in which practically all the main directions of geophysics were developed. V.I. Starostenko repeatedly participated in scientific-research voyages with a geological-geophysical program to the Atlantic and Indian Oceans, as well as the Black and Azov Seas, work at the international Center in Conakry.

About his science in an article published in the 'Geophysical Journal', 2005, vol. 27, No. 3, p. 552 Vitaliy Ivanovych wrote the following:

"Today's geophysics can be defined as a large, well developed division of the applied physics that deals with the study of Earth and other planets, searches for mineral resources, solves the problems of geology, tectonics, ecology etc. using the methods of physics. Geophysics brings its invaluable



Учасники щорічної геофізичної конференції, що організовував Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна, акад. В.І. Старостенко праворуч. Крим, кінець 1980-х

Participants of the annual geophysical conference organized by the S.I. Subbotin Institute of Geophysics, Academician V.I. Starostenko on the right. Crimea, late 1980s



Збори Відділення наук про Землю в Інституті геофізики ім С.І. Субботіна з нагоди ювілею Інституту. Виступає на трибуні акад. Є.Ф. Шнюков (ліворуч), сидять у першому ряду у центрі акад. В.І Старостенко, акад. А.В. Чекунов (1980-ті роки)

Meeting of the Department of Earth Sciences at the S.I. Subbotin Institute of Geophysics on the occasion of the Institute's anniversary. Academician Ye.F. Shnyukov (left) speaks on the rostrum, Academicians V.I. Starostenko and A.V. Chekunov are seated in the first row in the centre (1980s)



Польові роботи в Гвінеї разом з працівниками дослідницького центру в Конакрі, акад. Є.Ф. Шнюков (ліворуч) та акад. В.І. Старостенко (праворуч), 1986 р.

Field work in Guinea with the staff of the Conakry research centre, Academician Ye.F. Shnyukov (left) and Academician V.I. Starostenko (right), 1986



Акад. В.І. Старостенко у складі делегації Відділення наук про Землю у Македонії (за угодою міжнародного співробітництва), 2010 р.

Academician V.I. Starostenko as a member of the delegation of the Department of Earth Sciences in Macedonia (under the international cooperation agreement), 2010

«Сьогоднішню геофізику можна визначити як великий, добре розвинений розділ прикладної фізики, що займається вивченням будови Землі та інших планет, пошуками корисних копалин, розв'язуванням завдань геології, тектоніки, екології та ін. фізичними методами. Геофізика робить свій внесок у пізнання світу, в якому ми живемо. Вона використовує результати всіх розділів сучасної фізики, математики (насамперед прикладної, причому багато завдань геофізики давали й дають початок новим напрямам математики...), кібернетики, інформатики, техніки. Усе це, по-перше, цікаве, по-друге, дає широкі можливості для вибору напрямку роботи відповідно до нахилів і здібностей» (Старостенко, 2005, с. 552).

Віталій Іванович керував роботою Відділення наук про Землю Академії наук, був членом Президії НАН України і багато зробив для розвитку академічної геологічної науки. Своє ставлення до академічної форми організації науки вчений чітко сформулював у статті (Старостенко, 2005, с. 553): «Академія дає змогу активно творчо працювати. В її організаційній структурі та принципах життя, відпрацьованих століттями, багато мудрих зворотних зв'язків, що забезпечують режим саморегуляції та самоорганізації».

Сприйняття та розуміння науки академіком Старостенком найяскравіше відображено в іншому абзаці тієї самої статті: «Наука – це спосіб життя. Це інтелектуальне середовище, що охоплює весь світ. Тут менше формальної зовнішньої дисципліни, але більше внутрішньої зосередженості, постійного (і вдень і вночі, часто підсвідомого) ретельного обмірковування поточних завдань, проблем тощо. ... Наука в певному сенсі подібна до спорту. І тут, і там важливо підтримувати форму, і тут, і там – жорстка конкуренція. Втім у всіх сферах життя так. Проте в науці та спорті це виражено особливо чітко» (Старостенко, 2005, с. 553). І цю внутрішню зосередженість, системність, самодисципліну Віталія Івановича відчувають усі, хто з ним співпрацює чи спілкується. А система самоорганізації роботи оптимізувалася, як вважає сам учений, завдяки заняттю спортом (плаванням) і роботі на садовій ділянці... А ще важливими здаються такі риси Віталія Івановича – високорозвинений емоційний інтелект та технократичні підходи при прийнятті управлінських рішень. У наші бурхливі емоційно виснажуючі часи, роки потрясінь Віталія Івановича ніколи не побачиш ані дуже збудженим, ані пригніченим.

contribution to the understanding of the World we live in. It uses the results of all branches of modern physics, applied mathematics (where geophysics problems often give birth to the new directions in math...), computer science, informatics, technical sciences. All of the above is very interesting first of all, besides, it presents wide possibilities to choose from according to one's talents and preferences”.

Vitaliy Ivanovych headed the work of the Department of Earth Sciences of the NASU, was a member of the Presidium of the NASU and did a lot for the development of academic geological science. His attitude to the academic form of organizing science is clearly formulated in his article published in the 'Geophysical Journal' 2005, vol. 27, No. 3, p. 553: “Academia allows one to work creatively. In its organizational structure and life principles, refined over the centuries, there are many intelligent feedbacks that ensure a regime of self-regulation and self-organization”.

Academician Starostenko's perception and understanding of science is most vividly reflected in another paragraph of the same article.

“Science is a way of life. This is an intellectual environment that encompasses the entire world. There is less formal/superficial discipline but more internal concentration, constant (day and night, often subconscious) careful thinking about current tasks, problems, etc....

Science in a sense is like sport. Therein both cases, it is important to keep fit, and here and there is a fierce competition. This is true in all areas of life. But in science and sport, this is especially pronounced” (Starostenko, 2005, p. 553).

This inner focus, systematicity, self-discipline of Vitaliy Ivanovych is felt by everyone who collaborates or communicates with him. The system of self-organization of work was optimized, as Vitaliy Ivanovych himself believes, thanks to sports (swimming) and work in the garden plot... And the following features of Vitaliy Ivanovych also seem important – highly developed emotional intelligence and technocratic approaches to making management decisions. In our turbulent emotionally exhausting times, years of upheavals, I have never seen him either very excited or depressed.

On anniversary days, the anniversary-holders themselves, their students and colleagues summarize certain results, try to look into the future. Today, the results of Vitaliy Ivanovych tireless systematic work are impressive. The Institute of Geophysics has an extremely powerful and efficient

У ювілейні дні самі ювіляри, їх учні і колеги підбивають певні підсумки, намагаються зазирнути у майбутнє. На сьогодні результати невтомної системної роботи Віталія Івановича вражають.

Інститут геофізики має надзвичайно потужний і працездатний колектив, який може похвалитися як активно працюючими докторами наук, так і найбільшим представництвом Інституту серед академіків і членів-кореспондентів Відділення наук про Землю. Коли у 2004 р. Віталія Івановича на чолі Відділення наук про Землю змінив академік В'ячеслав Михайлович Шестопалов, у складі членів Академії було три представники геофізичних наук – Віталій Іванович Старостенко (академік) та два члени-кореспонденти – В'ячеслав Андрійович Даніленко (геофізика) і Костянтин Федорович Тяпкін (геофізика). У 2025 р. напередодні виборів, які мають відбутися наприкінці квітня, маємо вісім науковців, які працюють у різних галузях геофізики, і всі є представниками Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна та його відокремлених підрозділів. І представництво геофізиків у Відділенні очікує на збільшення – оголошено ще дві вакансії за спеціальністю «автоматизовані системи в геофізиці». І це дійсно символічно. Власне розробок автоматизованих систем стосувалися перші роботи ювіляра. Цей феноменальний розквіт геофізики є результатом наукового авторитету і невтомної системної роботи очільника нашої української геофізичної науки – Віталія Івановича Старостенка.

Вчений особисто підготував понад три десятки кандидатів і докторів наук (Старостенко, Коболєв, 2024).

В.І. Старостенко дуже багато сил і часу вкладає у збереження пам'яті в історії науки про видатні досягнення науковців. Майже у кожному номері «Геофізичного журналу» є декілька дописів за авторством Віталія Івановича про знаних старших колег, науковців. Це колосальна системна робота. І в кожному дописі є важливі професійні оцінки та цікаві особисті спогади (наприклад, Старостенко та Коболєв, 2008; Старостенко, 2020 та ін.). У 2023–2024 рр. серію статей за авторством дослідника в «Геологічному журналі» було присвячено 60-річчю Відділення наук про Землю. Редколегія «Геологічного журналу» вдячна Віталію Івановичу та його співавторам за співпрацю з виданням, зокрема, за роботу, спрямовану на створення літопису розвитку геологічної думки на теренах України.

team, which can boast both actively working doctors of sciences and the largest representation of the Institute among Academicians and Corresponding members of the Department. When in 2004, Vitaliy Ivanovych was replaced as head of the Department of Earth Sciences by Academician Vyacheslav Mikhailovich Shestopalov, the Academy's members included 3 representatives of geophysical sciences – Vitaliy Ivanovych Starostenko (Academician) and 2 Corresponding members – Vyacheslav Andriyovych Danilenko (geophysics) and Konstantin Fedorovich Tyapkin (geophysics). In 2025, on the eve of the elections, which are to be held at the end of April, we have 8 scientists working in various fields of geophysics, and all are representatives of the S.I. Subbotin Institute of Geophysics and its separate divisions. And the representation of geophysicists in the Department is expected to increase – two more vacancies have been announced in the specialty 'Automated Systems in Geophysics'. And this is truly symbolic. Actually, the first works of Vitaliy Ivanovich concerned the development of automated systems. This phenomenal flowering of geophysics is the result of the scientific authority and tireless systematic work of the head of Ukrainian geophysical science – Vitaliy Ivanovych.

Vitaliy Ivanovych personally prepared more than three dozen candidates and doctors of sciences (Starostenko, Kobolev, 2024).

Vitaliy Ivanovych invests an extraordinary amount of effort and time in preserving the memory of outstanding achievements of scientists in the history of science. Almost every issue of the 'Geophysical Journal' contains several articles by Vitaliy Ivanovych about outstanding senior colleagues, scientists. This is a colossal systematic work. And each article contains important professional assessments and interesting personal memories (ex., Starostenko&Kobolev, 2008; Starostenko, 2020 etc.). In 2023–2024, a series of articles by Vitaliy Ivanovych in the 'Geological Journal' was dedicated to the 60th anniversary of the Department of Earth Sciences. The editorial board of the 'Geological Journal' is grateful to Vitaliy Ivanovych and his co-authors for their cooperation with the publication, in particular, for their work aimed at creating a chronicle of the development of geological thought in Ukraine. It is very important to professionally present, comment on, and consider these achievements in a global context.

V.I. Starostenko is a member of the Specialized International Scientific Group 'Gravitational Anom-

Ці здобутки дуже важливо професійно представляти, коментувати, розглядати у загально-світовому контексті.

В.І. Старостенко є членом Спеціалізованої міжнародної наукової групи «Гравітаційні аномалії та геодинаміка гірських поясів», був співкерівником міжнародного проєкту «Комплексні геофізичні дослідження літосфери Центральної та Східної Європи».

Наукові праці Віталія Івановича публікуються не лише в Україні, а й в Австрії, Китаї, Англії, Франції, Японії, Італії, Індії, Нідерландах, Польщі, Румунії, США, Туреччині, Швеції, Швейцарії, Чехії, Словаччині та інших країнах. Його контакти з провідними зарубіжними вченими допомогли співробітникам Інституту геофізики проводити дослідження в рамках міжнародних програм і проєктів.

Варто згадати, що з 1992 р. почався новий етап у розвитку міжнародних наукових зв'язків, коли були започатковані такі програми та проєкти: EUROPROBE, GEORIFT, EUROBRIDGE, PANCAPDI, DOBRE, INTAS, NARS-DEEP, IRIS, SCAR (Антарктичні дослідження) тощо (наприклад, Старостенко, 2005; Старостенко, 2021; Старостенко та Гінтов, 2025). Ці роботи В.І. Старостенко очолював, організовував і виконував у складі потужного колективу Інституту геофізики з іноземними колегами.

Виконання серії глибинних ширококутних сейсмічних досліджень, гравіметричне моделювання будови земної кори, тектонофізичні, геотермічні, геомагнітні і геоелектричні

алієс та Geodynamics of the Mountain Ridges', he was a co-director of the international project 'Complex Geophysical Studies of the Lithosphere of Central and Eastern Europe'.

Vitaliy I. Starostenko's works are published not only in Ukraine but also in Russia, Austria, China, England, France, Japan, Italy, India, Netherlands, Poland, Romania, USA, Turkey, Sweden, Switzerland, Czech Republic, Slovakia and other countries. His contacts with leading foreign scientists helped co-workers of the Institute of Geophysics to conduct investigations within the frameworks of international programs and projects.

Beginning from 1992, there is a new stage of the development of the international scientific collaboration. The Institute of Geophysics takes part in a range of programs and projects: EUROPROBE, GEORIFT, EUROBRIDGE, PANCAPDI, DOBRE, INTAS, NARS-DEEP, IRIS, SCAR (Antarctic studies) etc (ex., Starostenko, 2021; Starostenko&Gintov, 2025 etc).

In 1996–2002 Academician Starostenko was the member of Scientific Committee of the International program EUROPEROBE and executor of EUROPROBE and DOBRE projects of the International Science Fund. The results of geological and geophysical research conducted under the EUROPROBE program were published in European Union as the monograph 'Structure and Dynamics of the Lithosphere of Eastern Europe' with Vitaliy I. Starostenko's participation in the editorial board. Vitaliy I. Starostenko edited special issues of the 'Tectonophysics' journal, he was an expert of the INTAS proj-



Доповідь акад. В.І. Старостенка за результатами геофізичних досліджень літосфери України та прилеглих територій на українсько-фінському семінарі з співпраці Відділення наук про Землю НАН України та дослідницьких установ Фінської академії наук (Фінляндія, Гелсінкі, 2009)

Report of Academician V.I. Starostenko on the results of geophysical studies of the lithosphere of Ukraine and adjacent territories at the Ukrainian-Finnish seminar on cooperation between the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine and research institutions of the Finnish Academy of Sciences (Finland, Helsinki, 2009)

дослідження, розробка і застосування методики сейсмотомографічного вивчення мантії Євразії знаменують етап інтенсивних спільних досліджень з геофізиками і геологами Польщі, Швеції, Німеччини, Нідерландів, Данії, Шотландії, Фінляндії, Румунії та деяких інших країн у рамках проєктів GeoRift, EUROBRIDGE, CELEBRATION 2000 Міжнародної програми EUROPROBE Європейського наукового фонду, які включали об'ємні і дорогі польові сейсмометричні спостереження. За роки виконання цієї програми було прокладено 10 ширококутних сейсмічних профілів EUROBRIDGE'97, DOBRE-99, DOBRE-2, PANCAKE, DOBRE-4, DOBRE-5, GEORIFT-2013, RomUkrSeis, TTZ-South, SHIELD'21, які напруцювали дані для розвитку нових палеогеодинамічних реконструкцій, побудов моделей геологічного розвитку території України як складової південно-західної частини Східноєвропейського кратону. Отримані результати за обробкою цього масиву даних були опубліковані у найпрестижніших геофізичних журналах.

Ці та інші наукові праці В.І. Старостенка (а їх понад 600) сприяли визнанню України як країни з розвинутою на світовому рівні геофізикою. Віталій Іванович є головним редактором міжнародних журналів «Геофізичний журнал» (входить до Web of Science Core Collection та SCOPUS) та «Український антарктичний журнал», членом редакційної колегії журналу «Доповіді НАН України» та інших видань.

Уже багато десятиліть геологи академічних Інститутів поєднують розв'язання фундаментальних геологічних, геофізичних завдань із пошуками корисних копалин. У Відділенні наук про Землю В.І. Старостенко керував програмами, спрямованими на розвиток мінерально-сировинної бази України. Впродовж 2004–2015 рр. він очолював наукові ради Цільових комплексних програм наукових досліджень НАН України – «Мінеральні ресурси України та їх видобування» (2004–2009), «Стратегічні мінеральні ресурси України» (2009–2015), «Мінерально-сировинна база України як основа безпеки держави» (2016–2021). За монографію «Кировоградський рудний район. Глибинна структура. Тектонофізичний аналіз. Рудні родовища» (2013) з результатами робіт за програмою «Стратегічні мінеральні ресурси України» у 2015 р. В.І. Старостенко разом з О.Б. Гінтовим і Г.М. Дрогицькою став лауреатом Премії НАН

ects. This activity of Vitaliy I. Starostenko promoted the high reputation of Ukraine in the field of geophysical investigations.

The performance of a series of deep wide-angle seismic surveys, gravimetric modeling of the structure of the Earth's crust, tectonophysical, geothermal, geomagnetic and geoelectrical studies, the development and application of a method for seismotomographic study of the Eurasian mantle mark a stage of intensive joint research with geophysicists and geologists from Poland, Sweden, Germany, the Netherlands, Denmark, Scotland, Finland, Romania and some other countries within the framework of the GeoRift, EUROBRIDGE, CELEBRATION 2000 projects of the EUROPROBE International Program of the European Science Foundation, which included extensive and expensive field seismometric observations. During the years of implementation of this program, 10 wide-angle seismic profiles were laid: EUROBRIDGE'97, DOBRE-99, DOBRE-2, PANCAKE, DOBRE-4, DOBRE-5, GEORIFT-2013, RomUkrSeis, TTZ-South, SHIELD'21, which generated data for the development of new pleogeodynamic reconstructions, construction of models of the geological development of the territory of Ukraine as a component of the southwestern part of the East European Craton. The results obtained from the processing of this data set were published in the most prestigious geophysical journals.

The works of Academician Starostenko (there are more than 600) contributed to the recognition of Ukraine as a country with world-class geophysics.

Vitaliy I. Starostenko is the Editor-in-Chief of the international 'Journal of Geophysics' (included in the Web of Science Core Collection) and 'Ukrainian Antarctic journal', the Member of the editorial board of the journal 'Geology and Mineral Resources of the World Ocean'.

For many decades, geologists from the academic institutes have been combining the solutions of fundamental geological, geophysical problems with the search for useful minerals. In the Department of Earth Sciences of the NASU, Vitaliy Ivanovych managed programs aimed at developing the mineral and raw material base of Ukraine. (Strategic Mineral Resources of Ukraine as the Basis of the State Security). For the monograph with the results of the program 'The Kirovograd ore area. Deep structure. Tectonophysical analysis. Ore deposits' (2013) in 2015 Academician Starostenko together with O.B. Gintov and G.M. Drogitskaya became a laureate of the S.I. Subbotin Award of the NAS of Ukraine.

України ім. С.І. Субботіна. В цій роботі вперше на основі оновленої концепції геологічної будови надр України, нових тектонофізичних даних, а також із застосуванням методів обробки й інтерпретації геофізичних полів та аномалій побудовано Структурно-петрофізичну карту Побузького гірничорудного району (масштаб 1:100 000). Цю карту використано як основу для прогнозування комплексів корисних копалин, виділення металогенічних розломних зон.

Доробок науковців Інституту геофізики неодноразово отримував визнання на державному рівні. У складі групи співробітників Інституту В.І. Старостенко двічі ставав лауреатом Державної премії України в галузі науки і техніки – за цикл робіт «Теорія, методика і результати вивчення літосфери України та прилеглих територій за комплексом даних сейсмометрії, гравіметрії та геотермії», що включає понад 30 монографій (1984), та за восьмитомну монографію «Літосфера Центральної та Східної Європи» (1995). На початку 2020 р. як подарунок до 85-річного ювілею шефа співробітники Інституту геофізики, які продовжують під керівництвом Віталія Івановича дослідження літосфери України та суміжних територій, отримали

In this work, for the first time, based on the updated concept of the geological structure of the subsoil of Ukraine, new tectonophysical data, as well as using methods for processing and interpreting geophysical fields and anomalies, a Structural and Petrophysical Map of the Pobuz Mining District (scale 1:100,000) was constructed. This map was used as a basis for predicting mineral complexes and identifying metallogenic fault zones.

The achievements of scientists of the Institute of Geophysics have repeatedly received recognition at the State level. As part of the group of employees of the Institute, V.I. Starostenko twice became a laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology – for the cycle of works 'Theory, methodology and results of studying the lithosphere of Ukraine and adjacent territories using a complex of seismometric, gravimetric and geothermal data', which includes more than 30 monographs (1984) and for the eight-volume monograph 'Lithosphere of Central and Eastern Europe' (1995).

Just recently, in the beginning of 2020, the staff of the Institute of Geophysics, who continue, under the direction of the Academician to study the lithosphere of Ukraine and neighboring territories,



Лауреати Державної премії України в галузі науки і техніки за роботу «Глибинна будова літосфери та сейсмічна небезпека території України», 2020 р.

Winners of the State Prize of Ukraine in Science and Technology for the work 'Deep structure of the lithosphere and seismic hazard of the territory of Ukraine' in 2020

Державну премію України в галузі науки і техніки за роботу «Глибинна будова літосфери та сейсмічна небезпека території України».

У короткому матеріалі неможливо навіть окреслити всі аспекти багатогранної діяльності академіка Старостенка. У статті-роздумі з приводу одного зі своїх ювілеїв (Старостенко, 2005) Віталій Іванович по суті сформулював життєве кредо: «І головний висновок. Необхідно працювати (повторююсь), доки є сили, або принаймні бути корисним для справи та оточуючих...». Задля здійснення цього бажання колектив Інституту геологічних наук НАН України, редколегія та читачі «Геологічного журналу», вітаючи академіка Старостенка з 90-річним ювілеєм, зичать йому міцного здоров'я, творчого натхнення, нових успішних проєктів.

Редакційна колегія «Геологічного журналу»

received, as a symbolic gift for the Boss' jubilee, the State Prize of Ukraine in science and technology for their work 'Deep structure of the lithosphere and seismic hazard of the territory of Ukraine'.

In a short article it is impossible even to outline all aspects of the multifaceted activities of Academician Starostenko. In a reflective article on one of his anniversaries ('Geophysical Journal', 2005, vol. 27, No. 3), Vitaliy Ivanovych essentially formulated his life credo: 'And the main conclusion. It is necessary to work (I repeat) as long as there is strength, or at least be useful to the cause and those around you...!'

To fulfill this desire, the scientific staff of the Institute of Geological Sciences, editorial board and readers of the 'Geological Journal' are congratulating Academician Starostenko on his 90th birthday, wishing him good health, creative inspiration, new successful projects.

Editorial Board of the 'Geological Journal'

Список літератури

- Лукин А.Е. 80-летие академика НАН Украины В.И. Старостенко. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2015. № 2. С. 177–178
- Старостенко В.И. Вопросы теории и методики интерпретации гравиметрических наблюдений устойчивыми численными методами: Автореф. ... дис. д-ра физ.-мат. наук. Москва: МГУ, 1976. 35 с.
- Старостенко В.И. Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии. Киев: Наукова думка, 1978. 228 с.
- Старостенко В.И. Еще один опыт юбилейного самообслуживания: мне – 70. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27, № 3. С. 548–560.
- Старостенко В.И. Опыт юбилейного самообслуживания продолжается: десять лет спустя. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37, № 2. С. 146–170.
- Старостенко В.И. О публикациях, которые в прежних обзорах не упоминались. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43, № 4. С. 221–240. doi.org/10.24028/gzh.v43i4.239978
- Старостенко В.И., Коболев В.П. Памяти Галины Дмитриевны Забелло. *Геофиз. журн.* 2008. Т. 30, № 1. С. 131–132.
- Старостенко В.И. К 90-летию юбилею Е.Ф. Шнюкова – геолога дальнего плавания, начальника экспедиции 19-го рейса НИС «Академик Вернадский» в Индийский океан. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42, № 4. С. 201–223.
- Старостенко В.И., Гінтов О.Б. Результати вивчення земної кори і мантії України у першій чверті ХХІ ст. за геофізичними даними. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 3–11. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.316107>
- Старостенко В.И., Коболев В.П. Вітання з 90-річним ювілеєм «Геологічного журналу». *Геофиз. журн.* 2024. Т. 46, № 1. С. 92–94.
- Старостенко В.И., Коболев В.П. До 60-річчя Відділення наук про Землю НАН України. Частина 2. Хронологія становлення і розвитку Відділення наук про Землю АН УРСР (1963–1991 рр.). *Геологічний журнал*. 2024. № 1 (386). С. 81–104. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.1.297242>
- Чекунов А.В. Академику Национальной АН Украины В.И. Старостенко 60 лет. *Геофиз. журн.* 1995. Т. 17, № 2. 79–88.

References

- Chekunov A.V. 1995. Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine V.I. Starostenko 60 years. *Geophys. Journal*, 17 (2): 79–88 (in Russian).
- Lukin A.E. 2015. On the 80th anniversary of Academician of NAS of Ukraine V.I. Starostenko. *Geology and Mineral Resources of the World Ocean*, 2: 177–178 (in Russian).
- Starostenko V.I. 1976. Questions of the theory and methods of interpretation of gravimetric observations by stable numerical methods: Author's Dissertation ... D.Sc. in Physics and Mathematics. Moscow: Moscow State University. 35 p. (in Russian).
- Starostenko V.I. 1978. Stable numerical methods in the problems of gravimetry. Kyiv: Naukova Dumka. 228 p. (in Russian).
- Starostenko V.I. 2005. One more experiment of jubilee self-service: I am 70. *Geophys. Journal*, 27 (3): 548–560 (in Russian).
- Starostenko V.I. 2015. Experience of jubilee self-service continues: ten years later. *Geophys. Journal*, 37 (2): 146–170 (in Russian).
- Starostenko V.I. 2020. On the 90th anniversary of E.F. Shnyukov, a long-distance geologist, head of the expedition of the 19th voyage of the R/V 'Academic Vernadsky' to the Indian Ocean. *Geophys. Journal*, 42 (4): 201–223 (in Russian).
- Starostenko V.I. 2021. On publications previously omitted in reviews. *Geophys. Journal*, 43 (4): 221–240. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i4.239978> (in Russian).
- Starostenko V.I., Koboлев V.P. 2008. In memory of Galina Dmitrievna Zabello. *Geophys. Journal*, 30 (1): 131–132 (in Russian).
- Starostenko V.I., Koboлев V.P. 2024. Congratulations on the 90th anniversary of the 'Geological Journal'. *Geophys. Journal*, 46 (1): 92–94 (in Ukrainian).
- Starostenko V.I., Koboлев V.P. 2024. To the 60th anniversary of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Ukraine. Part 2. Chronology of the formation and development of the Department of Earth Sciences of the Ukrainian SSR (1963–1991). *Geologičnij žurnal*, 1 (386): 81–104. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.1.297242>
- Starostenko V.I., Gintov O.B. 2025. Results of the study of the Earth's crust and mantle of Ukraine in the first quarter of the XXI century according to geophysical data. *Geologičnij žurnal*, 1 (390): 3–11. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.316107> (in Ukrainian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325118>

УДК 550.82.5 (262.5)

До 75-річчя від дня народження Олександра Миколайовича Пономаренка

E-mail: aolshtynska@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-3211-2106>

Received / Надійшла до редакції:
05.09.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
10.12.2024

Accepted / Прийнята:
10.02.2025

Keywords: biography, achievements,
isotope geochronology, isotope geo-
chemistry.

Ключові слова: біографія, досягнення,
ізотопна геохронологія, ізотопна
геохімія.

О.П. Ольштинська

Інститут геологічних наук НАН України, Київ,
Україна

Стаття присвячена знаковим віхам наукового шляху видатного українського вченого, геолога-геохіміка О.М. Пономаренка. Висвітлено його шлях у науці та роль у розвитку ізотопної геохронології та ізотопної геохімії в Україні; у геохронологічних дослідженнях, спрямованих на реконструкцію ранніх етапів геологічної історії Українського щита; а також у розробці та впровадженні прогресивних технологій переробки і збагачення окислених залізних руд. Одним із вагомих досягнень О.М. Пономаренка є вирішення завдань поповнення мінерально-сировинної бази України, питань виявлення ільменіт-апатитових родовищ, що містять рідкісні землі, ванадій і фтор.

14 січня 2025 р. виповнилось 75 років видатному вченому геологу-геохіміку, доктору геологічних наук, професору, академіку НАН України, академіку-секретарю Відділення наук про Землю НАН України, лауреату Державної премії України в галузі науки і техніки, кавалеру ордена князя Ярослава Мудрого V ступеня, заслуженому діячу науки і техніки України Олександр Миколайович Пономаренку.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

To the 75th anniversary of the birth of Oleksandr Mykolayovych Ponomarenko

O.P. Olshtynska

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

The article is dedicated to the significant milestones in the scientific career of the outstanding Ukrainian scientist, geologist-geochemist O.M. Ponomarenko. It highlights his path in science and his role in the development of isotope geochronology and isotope geochemistry in Ukraine; in geochronological studies aimed at reconstructing the early stages of the geological history of the Ukrainian Shield; as well as in the development and implementation of advanced technologies for processing and enriching oxidized iron ores. One of the significant achievements of O.M. Ponomarenko is the solution of tasks for replenishing the mineral raw material base of Ukraine, the issues of identifying ilmenite-apatite deposits containing rare earths, vanadium and fluorine.

On January 14, 2025, the outstanding scientist, geologist-geochemist, Doctor of Geological Sciences, Professor, Academician of the NAS of Ukraine, Academician-Secretary of the Department of Earth Sciences of the NAS of Ukraine, laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology, holder of the Order of Prince Yaroslav the Wise of the 5th degree, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine Oleksandr Mykolayovych Ponomarenko celebrates his 75th birthday.

Цитування: Ольштинська О.П. До 75-річчя від дня народження Олександра Миколайовича Пономаренка. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 80–85. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325118>

Citation: Olshtynska O.P. 2025. To the 75th anniversary of the birth of Oleksandr Mykolayovych Ponomarenko. *Geologichnij zhurnal*, 1 (390): 80–85. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325118>

Олександр Миколайович народився у с. Положаї Переяслав-Хмельницького району Київської області. Його шлях у геології почався в Київському геологорозвідувальному технікумі. Після закінчення навчання юнак працював техніком-геофізиком у геологорозвідувальній експедиції в м. Іркутськ (рф), а згодом – старшим техніком-геофізиком в Інституті геохімії і фізики мінералів АН УРСР. У 1971–1973 рр. проходив службу в колишній Радянській армії.

У 1979 р. ювіляр закінчив геологічний факультет Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка за спеціальністю «геологічна зйомка і пошуки родовищ корисних копалин» і здобув кваліфікацію «геолог». Відтоді Олександр Миколайович працює в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (на той час – Інститут геохімії і фізики мінералів АН УРСР), де пройшов шлях від старшого інженера до директора, обіймаючи посади молодшого наукового співробітника, завідувача лабораторії, завідувача відділу геології і стратиграфії докембрію (2001–2003 рр.). У 2003 р. вчений очолював відділ геохімії ізотопів і мас-спектрометрії, у 2004 р. став заступником директора з наукової роботи, а у 2008 р. – директором Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України – провідного наукового центру у галузі мінералогії, петрології, геохімії, рудознавства, металогенії та радіохімії.



Олександр Пономаренко за часів служби в лавах збройних сил
Oleksandr Ponomarenko during his military service

Oleksandr Mykolayovych was born in the village of Polozhai, Pereyaslav-Khmelnytskyi district, Kyiv region. His path in geology began at the Kyiv Geological Exploration College. After graduating, he worked as a geophysicist technician in a geological exploration expedition in the city of Irkutsk (Russian Federation), and later as a senior geophysicist technician at the Institute of Geochemistry and Physics of Minerals of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. In 1971–1973, he served in the Soviet Army. Throughout his scientific activity, he was closely associated with the National Academy of Sciences of Ukraine and the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine.

In 1979, he graduated from the Geological Faculty of T.G. Shevchenko Kyiv State University with a degree in “Geological survey and prospecting of mineral deposits” and received the qualification of “Geologist”. Since then, Oleksandr Mykolayovych has worked at the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (at that time the Institute of Geochemistry and Physics of Minerals of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR), where he worked his way from a senior engineer to a director, working in the positions of a junior research associate, head of the laboratory, in 2001–2003 – head of the Department of Geology and Stratigraphy of the Precambrian. In 2003, he headed the Department of Isotope Geochemistry



Експерсії на батьківщину М.В. Гоголя – с. Гоголеве, Полтавська обл. (Г.В. Артеменко, М.П. Щербак, О.В. Бібікова, О.М. Пономаренко)

Excursions to the native village of M.V. Gogol. Gogoleve, Poltava region (G.V. Artemenko, M.P. Shcherbak, O.V. Bibikova, O.M. Ponomarenko)

У 2004–2015 рр. Олександр Миколайович був заступником академіка-секретаря, а з 2015 р. – академік-секретар Відділення наук про Землю НАН України.

Отже, уся наукової діяльності О.М. Пономаренка тісно пов'язана з Національною академією наук України та Інститутом геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.

Вчений – голова Національного стратиграфічного комітету України, заступник голови Комісії з хроностратиграфії, класифікації, термінології та номенклатури фанерозою, член Архейської комісії, голова спеціалізованої вченої ради із захисту докторських дисертацій, головний редактор «Мінералогічного журналу» та член редколегій низки наукових видань.

У широкому колі наукових інтересів заслуженого діяча науки і техніки України О.М. Пономаренка особливе місце посідає геохронологія архейських та протерозойських порід Українського щита (УЩ). Цьому напрямку була присвячена його кандидатська дисертація «Геохронологія докембрійських утворень Росинсько-Тікицького району Українського щита», захищена у 1988 р. Олександр Миколайович довів, що архейські породи в цьому районі приурочені до стику трьох мегаблоків: Волинського, Росинсько-Тікицького і Дністровсько-Бузького в межах Брусилівської міжблокової шовної зони, а виходи на поверхню нижчих горизонтів архейських утворень тяжіють до розломних зон.

О.М. Пономаренко багато уваги приділяє методам генетичної мінералогії та дослідженню генетичних типів цирконів магматичних та метаморфічних порід УЩ. Його докторська дисертація «Уран-свинцева геохронологія раннього докембрію Українського щита», яка успішно була захищена у 2003 р., зробила значний внесок у розробку геохронологічної шкали основних етапів розвитку УЩ у ранньому докембрії.

Зауважимо, що шкала принципово відрізнялася від наявних на той час. Побудова шкали ґрунтувалась на основі аналізу U-Pb-ізотопних датувань і комплексного геохімічного і мінералогічного вивчення акцесорного циркону як мінералу-геохронометра.

Запропоновані О.М. Пономаренком методики ізотопного датування використовуються для визначення віку та генезису геологічних формацій докембрію і фанерозою, а також при створенні «Кореляційної стратиграфічної схеми Українського щита», яка є основою для геологічного та прогнозного картування. Його роботи допомогли

and Mass Spectrometry, in 2004 he became Deputy Director for Scientific Work, and in 2008 – Director of the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named after M.P. Semenenko of the NAS of Ukraine – a leading scientific center in the field of mineralogy, petrology, geochemistry of ore science, metallogeny and radiochemistry.

In 2004–2015, Oleksandr Mykolayovych was the Deputy Academician-Secretary, since 2015 he has been the Academician-Secretary of the Department of Earth Sciences of the NAS of Ukraine.

Oleksandr Mykolayovych is the Chairman of the National Stratigraphic Committee of Ukraine, Deputy Chairman of the Commission on Chronostratigraphy, Classification, Terminology and Nomenclature of the Phanerozoic, Member of the Archean Commission, Chairman of the Specialized Academic Council for the Defense of Doctoral Dissertations, Editor-in-Chief of the Mineralogical Journal and Member of the Editorial Boards of a number of scientific periodicals.

In the wide range of scientific interests of the Honored Worker of Science and Technology of Ukraine O.M. Ponomarenko, a special place is occupied by the geochronology of Archean and Proterozoic rocks of the Ukrainian Shield. This direction was explored in his candidate's thesis "Geochronology of Precambrian formations of the Rosyn-Tikitskyi district of the Ukrainian Shield", defended in 1988. Oleksandr Mykolayovych proved that Archean rocks in this area are confined to the junction of three megablocks: Volyn, Rosyn-Tikych and Dniester-Bug within the Brusylivka interblock suture zone and the outcrops of the lower horizons of Archean formations are confined to fault zones.

Oleksandr Mykolayovych pays much attention to the methods of genetic mineralogy and the study of genetic types of zircons of igneous and metamorphic rocks of the Ukrainian Shield. His doctoral dissertation "Uranium-lead geochronology of the early Precambrian of the Ukrainian Shield", successfully defended in 2003, was a significant contribution to the development of a geochronological scale of the main stages of the development of the Ukrainian Shield in the early Precambrian.

The scale was fundamentally different from those available at that time. The construction of the scale was based on the analysis of U-Pb isotope dating and a comprehensive geochemical and mineralogical study of accessory zircon as a geochronometer mineral. The isotopic dating methods proposed by O.M. Ponomarenko are used to determine the age and genesis of geological formations of the Precambrian and Phanerozoic, as well



Обговорення геологічної гіпотези під час польових робіт (О.М. Пономаренко, О.В. Бібікова, М.П. Щербак)

Discussion of geological hypothesis during fieldwork (O.M. Ponomarenko, O.V. Bibikova, M.P. Shcherbak)

уточнити перспективність архейських утворень УЩ щодо корисних копалин.

Олександр Миколайович є одним з провідних вчених у галузі ізотопної геохронології, геохімії ізотопів та стратиграфії докембрійських утворень УЩ. Під його керівництвом в Україні розвиваються такі фундаментальні наукові напрями, як ізотопна геохронологія та геохімія ізотопів, геохронологічні дослідження ранніх етапів історії геологічного розвитку УЩ, ізотопно-геохімічні дослідження архейського та протерозойського етапів його формування. Проводяться міжрегіональні кореляції стратиграфічних підрозділів окремих геоблоків щита та хроностратиграфічна кореляція геохронологічної шкали з Міжнародною шкалою геологічного часу, вирішуються методичні питання періодизації та кореляції нижнього докембрію. Особлива увага приділяється точності та надійності визначення віку найдавніших порід земної кори, уточненню вікових меж між стратиграфічними підрозділами.

Серед досягнень дослідника – розробка нових методів ізотопного датування мінералів, що дозволило підвищити точність визначення геологічного віку. Під його керівництвом проведено масштабні дослідження цирконів, які допомогли уточнити стратиграфічні межі основних геологічних формацій УЩ, розроблено морфогенетичну та ізотопно-геохімічну класифікацію цирконів, обґрунтовано перспективність використання циркону як чутливого індикатора геологічних процесів та подій. Вчений також розробив методи магнітної сепарації залізистих кварцитів і запропонував нові технології їхнього збагачення.

Крім того, дослідження О.М. Пономаренка мають важливе значення для прогнозування покладів

as in the creation of the “Correlational Stratigraphic Scheme of the Ukrainian Shield”, which is the basis for geological and predictive mapping. His works helped to clarify the prospects of the Archean formations of the Ukrainian Shield in terms of minerals.

Oleksandr Mykolayovych is one of the leading scientists in the field of isotopic geochronology, isotope geochemistry and stratigraphy of Precambrian formations of the Ukrainian Shield. Under his leadership, such fundamental scientific directions as isotopic geochronology and isotope geochemistry, geochronological studies of the early stages of the history of the geological development of the Ukrainian Shield, isotopic-geochemical studies of the Archean and Proterozoic stages of its formation are being developed in Ukraine. Interregional correlations of stratigraphic subdivisions of individual geoblocks of the shield and chronostratigraphic correlation of the geochronological scale with the International Geological Time Scale are being performed. Special attention is paid to the accuracy and reliability of determining the age of the oldest rocks of the Earth's crust, and to clarifying the age boundaries between stratigraphic subdivisions.

Among the achievements of Oleksandr Mykolayovych is the development of new methods of isotopic dating of minerals, which allowed to increase the accuracy of determining the geological age. Under his leadership, large-scale studies of zircons were carried out, which helped to clarify the stratigraphic boundaries of the main geological formations of the Ukrainian Shield, morphogenetic and isotopic-geochemical classification of zircons was developed, and the prospects of using zircon as a sensitive indicator of geological processes and events were substantiated. He also developed methods of magnetic separation of ferruginous quartzites and proposed new technolo-

корисних копалин, особливо рідкісноземельних металів, що є стратегічно важливими для економіки України. Він приділяє особливу увагу поповненню мінерально-сировинної бази України, дослідженню структури і складу залізних руд, переважно залізистих кварцитів УЩ, розробці та впровадженню прогресивних технологій для переробки і збагачення окислених залізних руд (з метою вирішення проблеми комплексної переробки мінеральної сировини), розробці технології по виявленню ільменіт-апатитових родовищ з вмістом рідкісних земель, ванадію і фтору та технологій по вилученню апатиту, ільменіту і титаномagnetиту для ряду родовищ.

В коло наукових інтересів Олександра Миколайовича увійшов новий актуальний напрям – створення магнітних наноматеріалів. Дослідження фізико-хімічних властивостей біогенних та штучних наноматеріалів відкривають нові перспективи для застосування мінералогічних матеріалів у промисловості.

Наукові досягнення вченого відзначені орденм князя Ярослава Мудрого V ступеня (2020), званням «Заслужений діяч науки і техніки України» (2008), Державною премією України в галузі науки і техніки (2014).



Ознайомлення з керовим матеріалом, м. Варшава, Польща

Examination of the core material, Warsaw, Poland

gies for their enrichment.

The research of O.M. Ponomarenko is also of great importance for forecasting mineral deposits, especially rare earth metals, which are strategically important for the economy of Ukraine. He pays special attention to replenishing the mineral and raw material base of Ukraine, studying the structure and composition of iron ores, mainly ferruginous quartzites of the Ukrainian Shield, developing and implementing advanced technologies for processing and enrichment of oxidized iron ores (in order to solve the problem of complex processing of mineral raw materials), developing technology for detecting ilmenite-apatite

deposits containing rare earths, vanadium and fluorine, and technologies for extracting apatite, ilmenite and titanomagnetite for a number of deposits.

A new topical direction has entered the area of scientific interests of Oleksandr Mykolayovych – the creation of magnetic nanomaterials. Research into the physicochemical properties of biogenic and artificial nanomaterials opens up new prospects for the application of mineralogical materials in industry.

The scientist's achievements were awarded the Order of Prince Yaroslav the Wise of the 5th degree (2020), the title of Honored Worker of Science and Technology of Ukraine (2008), the State Prize of Ukraine in the field



Вручення О.М. Пономаренку нагороди «Заслужений діяч науки і техніки»

Awarding O.M. Ponomarenko with the title of Honoured Worker of Science and Technology

У науковому доробку вченого близько 300 наукових праць, серед яких сім монографій, а також кілька винаходів і патентів.

Серед багатьох наукових публікацій О.М. Пономаренка варто відзначити такі:

- Миткевич Н.Ю., Пономаренко А.Н., Скобелев В.М., Щербак Д.Н. Геохронологическая шкала докембрия Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1989. 144 с.
- Щербак Д.Н., Пономаренко А.Н., Кузнецова Н.М. Возрастные эпохи рудообразования в докембрии Ингуло-Ингулецкого района Украинского щита. *Изотопное датирование эндогенных рудных формаций*. Москва: Наука, 1993. С. 39–47.
- Павлишин В.І., Пономаренко О.М., Возняк Д.К. Методи генетичної мінералогії. Київ: Наукова думка, 2002. 100 с.
- Пономаренко О.М. Морфолого-анатомічний аналіз кристалів циркону в ізотопно-геохронологічних дослідженнях. *Мінерал. журн.* 2001. Т. 23, № 4. С. 77–88.
- Пономаренко А.Н., Есипчук К.Е. О проблеме границы архей-протерозой на Украинском щите. *Геоинформатика*. 2007. № 2. С. 41–47.
- Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянський Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Киев: Наукова думка, 2008. 240 с.
- Щербак Н.П., Пономаренко А.Н., Лесная И.М., Осьмачко Л.С. Сравнительная геохронология породных ассоциаций и рудных формаций протерозойского эона (2,5–1,6 млрд лет) мегаблоков Украинского щита. *Мінерал. журн.* 2012. Т. 34, № 3. С. 45–55.
- Пономаренко О.М., Кривдік С.Г., Дубина О.В. Ендогенні ільменіт-апатитові родовища Українського щита (геохімія, петрологія та мінералогія). Донецьк: Ноулідж, 2012. 230 с.
- Пономаренко О.М., Іваніцький В.П., Брик О.Б., Дудченко Н.О. Властивості природних, синтетичних та біогенних оксидів і гідроксидів заліза за даними месбауерівської спектроскопії. Київ: Наукова думка, 2013. 159 с.
- Пономаренко А.Н., Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В. Геохронология и геодинамика палеопротерозоя Украинского щита. *Мінерал. журн.* 2014. Т. 36, № 2. С. 48–60.
- Пономаренко А.Н., Гинтов О.Б., Степанюк Л.М. О так называемых «лейкогранулитовой формации» и «зеленолеводовской свите» раннего докембрия Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40, № 5. С. 47–70.
- Пономаренко О.М., Шеремет Є.М., Козар М.А., Шпильовий Л.В., Стрекозов С.М., Ніколаєв І.Ю., Кривдік С.Г., Сетая Л.Д. Передумови створення гірничорудного вузла в Приазов'ї як основа формування та розвитку рідкіснометалево-рідкісноземельної галузі України. *Мінерал. журн.* 2020. Т. 42, № 2. С. 74–89.
- Привалов В.О., Осьмачко Л.С., Пономаренко О.М. Геодинамічні умови формування структурно-речовинних комплексів докембрію Українського щита. Київ: Наукова думка, 2020. 175 с.
- Кульчицька Г.О., Пономаренко О.М., Черниш Д.С. Номенклатура мінералів та збереження їх історичної назви. *Мінерал. журн.* 2022. Т. 44, № 3. С. 30–39. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mineral_2022_44_3_5
- Пономаренко О.М., Никифоров В.В., Яковенко В.М. Зміни хімічних і мікроморфологічних властивостей ґрунтів Полтавської області України за останні 130 років. *Укр. геогр. журн.* 2022. № 1. С. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.01.018>

Дирекція та науковий колектив Інституту геологічних наук НАН України щиро вітають з чудовим ювілеєм прекрасну людину найвищих моральних якостей – видатного українського вченого – геолога, професора Олександра Миколайовича Пономаренка та бажають йому міцного здоров'я, подальших творчих успіхів, нових наукових досягнень та їхньої реалізації.

of science and technology (2014). His scientific achievements include about 300 scientific works, including 7 monographs, as well as several inventions and patents.

Amongst the most important scientific publications, it is worth mentioning the following:

- Mitskevich N.Yu., Ponomarenko A.N., Skobelev V.M., Shcherbak D.N. Geochronological scale of the Precambrian of the Ukrainian Shield. 1989. Kyiv: Naukova Dumka. 144 p.
- Shcherbak D.N., Ponomarenko A.N., Kuznetsova N.M. 1993. Age epochs of ore formation in the Precambrian of the Ingulo-Ingulets region of the Ukrainian Shield. *Isotopic dating of endogenous ore formations*. Moscow: Nauka, pp. 39–47.
- Pavlishin V.I., Ponomarenko O.M., Voznyak D.K. 2002. Methods of genetic mineralogy. Kyiv: Naukova Dumka. 100 p.
- Ponomarenko O.M. 2001. Morphological and anatomical analysis of zircon crystals in isotope-geochronological studies. *Mineral. Journal*, 23 (4): 77–88.
- Ponomarenko A.N., Esipchuk K.E. 2007. On the problem of the Archean-Proterozoic boundary on the Ukrainian Shield. *Geoinformatics*, 2: 41–47.
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko A.N., Shumlyansky L.V. 2008. Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. *Proterozoic*. Kyiv: Naukova Dumka, 240 p.
- Shcherbak N.P., Ponomarenko A.N., Lesnaya I.M., Osmachko L.S. 2012. Comparative geochronology of rock associations and ore formations of the Proterozoic eon (2.5–1.6 billion years) of the Ukrainian Shield megablocks. *Mineral. Journal*, 34 (3): 45–55.
- Ponomarenko O.M., Kryvdik S.G., Dubyna O.V. 2012. Endogenous ilmenite-apatite deposits of the Ukrainian Shield (geochemistry, petrology and mineralogy). Donetsk: Knowledge Publishing House, Donetsk Branch, 230 p.
- Ponomarenko O.M., Ivanitsky V.P., Bryk O.B., Dudchenko N.O. 2013. Properties of natural, synthetic and biogenic iron oxides and hydroxides according to Mössbauer spectroscopy. Kyiv: Naukova Dumka, 159 p.
- Ponomarenko A.N., Stepaniuk L.M., Shumlyansky L.V. 2014. Geochronology and geodynamics of the Paleoproterozoic of the Ukrainian Shield. *Mineralogical Journal*, 36 (2): 48–60.
- Ponomarenko A.N., Gintov O.B., Stepaniuk L.M. 2018. On the so-called 'Leukogranulite Formation' and 'Zelenolevado Formation' of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. *Geophysical Journal*, 5: 47–70.
- Ponomarenko O.M., Sheremet E.M., Kozar M.A., Shpylyovyi L.V., Strekozov S.M., Nikolaiev I.Y., Kryvdik S.G., Setai L.D. 2020. Prerequisites for the creation of a mining hub in the Azov region as the basis for the formation and development of the rare-metal and rare-earth industry of Ukraine. *Mineral. Journal*, 42 (2): 74–89.
- Pryvalov V.O., Osmachko L.S., Ponomarenko O.M. 2020. Geodynamic conditions of formation of structural and material complexes of the Precambrian of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka. 175 c.
- Kulchytska H.O., Ponomarenko O.M., Chernysh D.S. 2022. Nomenclature of minerals and preservation of their historical names. *Mineralogical journal*, 44 (3): 30–39. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mineral_2022_44_3_5.
- Ponomarenko O.M., Nikiforov V.V., Yakovenko V.M. 2022. Changes in chemical and micromorphological properties of soils of Poltava region of Ukraine over the past 130 years. *Ukr. geogr. Journal*, 1: 18–26. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.01.018>

The directorate and scientific team of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine heartily congratulate a wonderful person of the highest moral virtues, a prominent Ukrainian scientist – geologist, professor Oleksandr Mykolayovich Ponomarenko with the wonderful anniversary and wish him good health, further creative successes, new scientific achievements and their implementation.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325119>

УДК 55(092)

Олегу Борисовичу Гінтову – 90: шлях невтомного пошуку істини

E-mail: shniukova@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-2945-9988>
murovskaya@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-8034-7335>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
K.Ye. Shniukova, shniukova@gmail.com

Received / Надійшла до редакції:
30.10.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
01.03.2025

Accepted / Прийнята:
10.03.2025

Keywords: biography, geophysics,
tectonophysics, Ukrainian Shield, plate
tectonics.

Ключові слова: біографія, геофізика,
тектонфізика, Український щит,
тектоніка плит.

К.Є. Шнюкова^{1*}, А.В. Муровська^{2,3}

¹Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна;

²Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна; ³Університет Парми, Департамент наук про хімію, життя та навколишнє середовище, Парма, Італія

Oleg Borysovych Gintov – 90: a path of tireless search for truth

K.Ye. Shniukova^{1*}, A.V. Murovska^{2,3}

¹M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ²S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ³Department of Life Sciences and Environmental Sustainability, University of Parma, Parma, Italy

The article is devoted to the 90th anniversary of the outstanding scientist-geophysicist Oleg Borysovych Gintov, the founder of the Ukrainian school of field tectonophysics. An evolution of O.B. Gintov's views on the mechanisms of the formation of tectonic structures against a background of the history of changing geological theories about the physical causes of geological processes and the deep structure of the Earth is described. The influence of O.B. Gintov's works on the development of lithospheric plate tectonics is shown in application to the different-aged structures of Ukraine – the Ukrainian Shield, the Carpathians, the Mountainous Crimea. The emphasis is placed on the importance of O.B. Gintov's geodynamic reconstructions for geologists of various specialties.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. 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 : Шнюкова К.Є., Муровська А.В. Олегу Борисовичу Гінтову – 90: шлях невтомного пошуку істини. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 86–91. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325119>

Citation: Shniukova K.Ye., Murovska A.V. 2025. Oleg Borysovych Gintov – 90: a path of tireless search for truth. *Geologichnij zhurnal*, 1 (390): 86–91. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.325119>

Олег Борисович Гінтов, доктор геолого-мінералогічних наук (1981), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (1996), професор (2009), член-кореспондент НАН України (2012), головний науковий співробітник Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, засновник української школи польової тектонофізики та геодинаміки докембрію і просто дослідник від Бога, відсвяткував 22 січня 2025 р. свій поважний ювілей.



О.Б. Гінтов у приймальні Інституту геофізики, 2020 р.
O.B. Gintov in the reception room of the Institute of Geophysics, 2020

Професійна діяльність О.Б. Гінтова припадає на період зміни підходів і теорій в геологічній науці, і його публікації відображають історію розвитку геологічної думки та еволюцію його власних поглядів. Олег Борисович – безперечний авторитет серед геофізиків, і вони, напевно, віддадуть йому шану у своїх ювілейних привітаннях. Ми же хочемо акцентувати увагу на важливості робіт вченого для геологів різних спеціальностей. Автори цієї статті – однокурсниці, петролог та геофізик, і при захисті їх дисертацій Олег Борисович в одній був опонентом, а в іншій – керівником.

Своєю науковою творчістю О.Б. Гінтов спростовує уявлення, що увійшло в анекдоти, про непорозуміння між геологами і геофізиками.

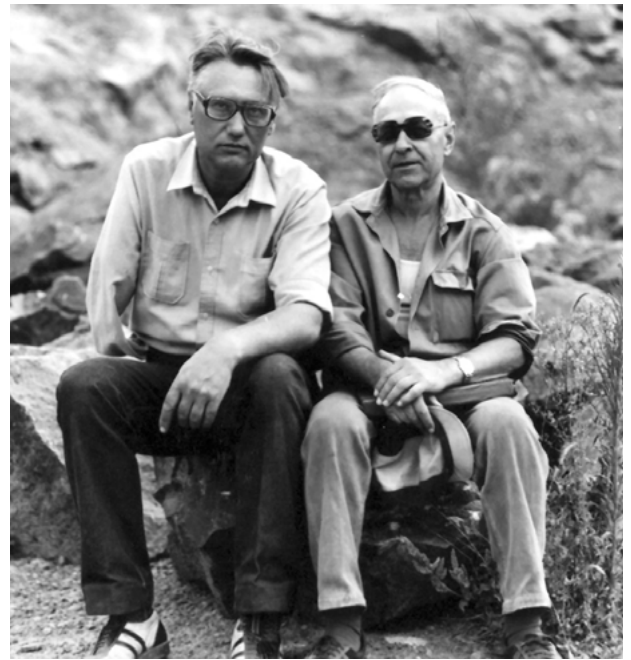
Часто вони існують ніби в паралельних всесвітах: геологи погано знають висновки геофізиків щодо того чи іншого району Землі, а геофізики не вникають у нюанси результатів робіт стратиграфів, літологів чи петрологів щодо конкретних гірських порід цього району. Але у випадку з Олегом Борисовичем все інакше. Він є взірцем співдружності геологів та геофізиків. Дослідник належить до плеяди видатних вітчизняних учених-енциклопедистів: будучи геофізиком, він чудово розуміється на петрографії та структурній геології, і це робить його роботи особливо цінними і – що важливо – зрозумілими для геологів. Можна сміливо сказати, що для геологів Олег Борисович є ідеалом геофізика, тому що його геофізичні побудови засновані не лише на цифрах отриманих вимірів, а й на глибокому знанні основних геологічних наук. Сам учений каже, що він не знає, хто він більше – геолог чи геофізик.

Олег Борисович народився в Києві у 1935 р., пережив сталінські репресії, Другу світову війну та всі наступні пертурбації нашої багатораждальної країни. Він навчався на геологічному факультеті Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка в 1952–1957 рр. у період найбільшої затребуваності та суспільної популярності геології. Подальша професійна діяльність дуже знадобилася йому згодом у науковій роботі. Після закінчення університету і до 1973 р. О.Б. Гінтов набував практичного досвіду на виробництві – інженером і старшим геофізиком Криворізької і Побузької геофізичних партій, начальником Тематичної партії Київської геофізичної експедиції в тісному контакті з відомими геофізиками Г.К. Кужеловим, З.О. Крутиховською, В.Б. Соллогубом, Т.Н. Симоненком, Г.С. Бутаковим, К.Ф. Тяпкіним, С.Я. Щерешевською. Науковий світогляд молодого дослідника формували такі відомі геологи, як А.М. Козловська, М.М. Доброхотов, А.Я. Древін, Н.Т. Вадимов, Ю.Б. Басс, Г.Г. Виноградов, але насамперед – власний неупереджений допитливий розум, спостережливність та цілеспрямованість. Захищена 1970 року кандидатська дисертація «Геологічна будова Голованівської структурної зони Українського щита за геолого-геофізичними даними» привернула увагу корифеїв геофізики З.О. Крутиховської та В.Б. Соллогуба, які у 1973 р. запросили Олега Борисовича працювати в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна АН УРСР.

До захисту кандидатської дисертації О.Б. Гінтов, як і більшість тогочасних геологів, був прихильником теорії осадового походження докембрійських комплексів. Але під впливом свого солідного досвіду польових спостережень та набутого за час роботи в експедиціях знання петрографії та структурних особливостей кристалічних порід рідного для нього Середнього Побужжя – ласого шматка раннього докембрію Українського щита (УЩ) – його погляди стали змінюватися. Виявивши концентричну будову великих структур щита, так званих тектоноконцентрів, він доводив їх ендегенне походження, що відображено в його монографії «Структури континентальної земної кори на ранніх етапах її розвитку» (1978) та однойменній докторській дисертації (1980). Одним із опонентів на її захисті був «гуру» геотектоніки В.Ю. Хаїн. Більш глибоко вивчаючи тектоноконцентри, насамперед їхню побудову частину, вчений переконався, що хоча структури і кільцеві, але складаються вони з прямолінійних відрізків, які є горизонтальними зрушеннями. Звідси вже пішов прямий шлях до тектонофізики.

У пошуках відповідей на питання про процеси деформацій та руйнувань порід, утворення різнотипних розломів та розломних зон О.Б. Гінтов зайнявся розробкою польових тектонофізичних методів для якісних та кількісних оцінок палеонапружень і деформацій. За результатами цих робіт він спільно з В.М. Ісаєм у 1988 р. опублікував монографію, де подано нову методику та результати вивчення древніх деформацій УЩ; зокрема, показано наявність протяжних та широких розломних зон і масштабних горизонтальних переміщень у докембрійських породах (Гінтов, Ісай, 1988). Саме в ці часи його колишній викладач і дослідник структурної геології В.С. Заїка-Новацький також прийшов до висновку, що лінійна та смугаста структура докембрійських порід УЩ значною мірою пов'язана з деформаційними, а не осадово-вулканогенними процесами. Вони тоді зустрічалися в полі під час практичних занять зі студентами і виконували спільні дослідження.

У той час, коли О.Б. Гінтов перейшов працювати в Інститут геофізики, серед геологів переважало визнання верховенства вертикальних рухів земної кори. Але вже тоді Олег Борисович усвідомлював, що геологічні та тектонофізичні факти говорять про переважання горизонтальних зсувних переміщень гірських мас у земній



О.Б. Гінтов і В.С. Заїка-Новацький досліджують лінійність та смугастість докембрійських гірських порід УЩ. Середнє Побужжя, 1982 р.

O.B. Gintov and V.S. Zaika-Novatskyi investigate the linearity and banding of Precambrian rocks of the Ukrainian Shield. Middle Pobuzhzhya, 1982

корі, особливо на значних глибинах. І поступово вченого захоплювала теорія тектоніки плит та її дітище – геодинаміка. Польова тектонофізика, яку він розвивав, могла допомогти і допомогла у вивченні глибинної будови земної кори (Гінтов, 2001, 2005).

На рубежі століть (символічно, чи не так?) О.Б. Гінтов остаточно став на бік тектоніки літосферних плит. Вивчаючи характер тріщинуватості осадово-вулканогенних порід венду-неогену Волино-Подільської плити, він встановив, що ця плита (а по суті вся Східноєвропейська платформа) за 500 млн років повернулася на майже 90°. Після такого, як він сам називав, перелому у свідомості всю роботу відділу тектонофізики Інституту геофізики було спрямовано на аналіз геодинамічних – плито- та плюмтектонічних – процесів розвитку Землі, в тому числі території України. І, якщо для фанерозойських областей України (Гірського Криму, Карпат, Донбасу) плитотектонічні реконструкції є цілком природними, то для докембрію УЩ це смілива і давно назріла справа (Гінтов, 2012, 2015). Вчений активно пропагує застосовність тектоніки плит для УЩ починаючи з кінця архею (Гінтов, Пашкевич, 2010; Гінтов та ін., 2020), і це не може не впливати на погляди петрологів-докембристів. Видатний український петролог І.Б. Щербаков дуже цінував думку Олега



О.Б. Гінтов з колегами проводять геолого-геофізичні дослідження на УЩ, р. Ятрань, 2015 р. Зліва направо: С.В. Мичак, М.І. Бакаржієва, М.І. Орлюк, О.Б. Гінтов

O.B. Gintov and his colleagues conduct geological and geophysical research on the Ukrainian Shield, Yatran river, 2015. From left to right: S.V. Mychak, M.I. Bakarzheva, M.I. Orlyuk, O.B. Gintov



О.Б. Гінтов з колегами на тектонофізичній школі-семінарі. Севастополь, Крим, 2011 р. Зліва направо: І.М. Бубняк, Е. Вальбрехер, О.Б. Гінтов, А.В. Муровська, В.І. Альохін

O.B. Gintov with colleagues at the tectonophysical school-seminar. Sevastopol, Crimea, 2011. From left to right: I.M. Bubnyak, E. Valbrecher, O.B. Gintov, A.V. Murovska, V.I. Alyokhin

Борисовича, і зараз петрологи і геохронологи, які вивчають докембрійські кристалічні породи щита, обов'язково звіряються з публікаціями вченого з цього питання.

Узагальненням досліджень різновікових структур України від архею до кайнозою в 2005 р. стала фундаментальна монографія О.Б. Гінтова «Польова тектонофізика та її застосування при вивченні деформацій земної кори України» (Гінтов, 2005). Представлені в роботі результати тектонофізичного дослідження УЩ, Волино-Подільської плити, Донецького басейну, Гірського Криму та Українських Карпат виявили величезний вплив горизонтальних тектонічних сил, напружень і деформацій на розвиток тектонічних структур літосфери.

Очолювана Олегом Борисовичем геофізична група взяла участь у складанні Тектонічної карти України масштабу 1:1 000 000 (2007 р.), якою досі користуються всі наші геологи та в якій враховано тектонофізичні напрацювання дослідника. Тектонофізика є складовою геофізики і неможлива без вивчення геофізичних карт і польових геофізичних досліджень, особливо детальних магнітометричних. Тому в дружний колектив польових тектонофізиків майже завжди входять співробітники відділу геомагнетизму під керівництвом члена-кореспондента НАН України М.І. Орлюка.

Саме за спеціальністю «тектонофізика» О.Б. Гінтов був обраний членом-кореспондентом НАН України у 2012 р. А з 2017 р. він головує в Міжвідомчому тектонічному комітеті України.



О.Б. Гінтов і М.Ю. Вольфман проводять польові дослідження в Гірському Криму, 2013 р.

O.B. Gintov and M.Yu. Wolfman conducting field research in the Mountainous Crimea, 2013

Олег Борисович Гінтов створив і згуртував цілу школу геологів і геофізиків, що займаються тектонофізичними дослідженнями. В його групі польові дослідження проводили В.М. Ісай, В.Б. Кобилянський, А.А. Аронський, Ю.М. Вольфман, В.І. Альохін, І.М. Бубняк, А.В. Муровська, П.В. Беліченко, С.В. Мичак, М.В. Накапелюх, Ю.М. Віхоть та ін.

Під його науковим керівництвом стали кандидатами геологічних наук дев'ять осіб, троє дослідників захистили докторські дисертації.

Останнім часом О.Б. Гінтов залучає до геодинамічних побудов дані сейсмотомографії, комплексуючи їх із тектонофізичними даними. У такий спосіб він сприяє формуванню нашого уявлення про плитотектонічні процеси не лише в земній корі, а й у мантиї під Україною (Гінтов и др., 2015, 2016; Гінтов та ін., 2022). В численних публікаціях вчений надає тектонічну інтерпретацію унікальної сейсмотомографічної моделі, розробленої в Інституті геофізики видатним сейсміком та теоретиком сейсмотомографії В.С. Гейком.

Олег Борисович відпочиває не часто («Немає коли», – каже). Проте у відрядженнях для виконання тектонофізичних маршрутів об'їздив величезну територію – від Карпат до Красноярського краю, від Карелії до Вірменії. За кордоном побував у відпустці лише в Болгарії і Дубаї, а у Франції – на захисті дисертації своєї аспірантки Є. Шермет.



О.Б. Гінтов з дружиною Наталією у відпустці. Дубай, 2018 р.
O.B. Gintov with his wife Natalia on vacation. Dubai, 2018

Наразі Олег Борисович працює у відділі геодинаміки та геотермії Інституту геофізики. Він тримає високу планку наукових досліджень та надихає колег своєю працездатністю. Він є молодим душею і сповненим творчих планів. Так побажаємо ювіляру міцного здоров'я, необхідного для здійснення цих планів!

Статтю присвячено 90-річному ювілею видатного вченого-геофізика Олега Борисовича Гінтова, засновника української школи польової тектонофізики. Описано еволюцію поглядів ученого на механізм формування тектонічних структур на тлі історії зміни геологічних теорій про фізичні причини геологічних процесів та глибинну будову Землі. Показано вплив досліджень О.Б. Гінтова на розвиток тектоніки літосферних плит щодо різновікових структур України – Українського щита, Карпат, Гірського Криму. Наголошено на важливості геодинамічних побудов О.Б. Гінтова для геологів різних спеціальностей.

Список літератури

- Гинтов О.Б. Автобиография. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 42, № 1. С. 111–133.
- Гинтов О.Б. Докембрий Украинского щита и тектоника плит. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34, № 6. С. 2–21.
- Гинтов О.Б. Планетарные деформации земной коры, ротация Земли и движение литосферных плит. *Геофиз. журн.* 2001. Т. 23, № 4. С. 69–82.
- Гинтов О.Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Гинтов О.Б. Проблемы геодинамики Украинского щита в докембрии. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37, № 5. С. 3–22. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i5.2015.111142>
- Гинтов О.Б., Єнтін В.А., Мичак С.В., Фарфуляк Л.В. Побузький гірничорудний район Українського щита. Структурно-петрофізична карта кристалічного фундаменту та деякі питання геології раннього докембрію. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42, № 3. С. 16–46.
- Гинтов О.Б., Исай В.М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. Киев: Наукова думка, 1988. 228 с.
- Гинтов О.Б., Муровская А.В., Егорова Т.П., Вольфман Ю.М., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Колесникова Е.Я., Островной А.Н., Бубняк И.Н., Фарфуляк Л.В., Амашукели Т.А. Глубинная сейсмогенная зона Вранча как индикатор геодинамического процесса. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37, № 3. С. 22–49.
- Гинтов О.Б., Пашкевич И.К. Тектонофизический анализ и геодинамическая интерпретация трехмерной геофизической модели Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32, № 2. С. 3–27. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v32i2.2010.117553>
- Гинтов О.Б., Цветкова Т.О., Бугаенко И.В., Заєць Л.М., Муровська Г.В. Глибинна будова Транс-Європейської шовної зони (за матеріалами сейсмотомографії та ГСЗ) і деякі уявлення про її розвиток. *Геофиз. журн.* 2022. Т. 44, № 6. С. 63–87. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273640>
- Гинтов О.Б., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Муровская А.В. Некоторые особенности строения мантии Восточного Средиземноморья и их геодинамическая интерпретация. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38, № 1. С. 17–29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i1.2016.107719>

References

- Gintov O.B. 2010. Autobiography. *Geophys. Journ.*, 42, 1: 111–133 (in Russian).
- Gintov O.B. 2005. Field tectonophysics and its application in the study of deformations of the Earth's crust of Ukraine. Kyiv: Phoenix (in Russian).
- Gintov O.B. 2001. Planetary Earth's crust deformations, Earth's rotation and lithospheric plates movement. *Geophys. Journ.*, 23 (4): 69–82 (in Russian).
- Gintov O.B. 2012. Precambrian of the Ukrainian Shield and Plate Tectonics. *Geophys. Journ.*, 34 (6): 2–21 (in Russian).
- Gintov O. 2015. Problems of geodynamics of the Ukrainian shield in Precambrian. *Geophys. Journ.*, 37 (5): 3–22 (in Russian).
- Gintov O.B., Entin V.A., Mychak S.V., Farfuliak L.V. 2020. The Bug mining area of the Ukrainian Shield. Structural-petrophysical map of the crystalline basement and some problems of the Early Precambrian geology. *Geophys. Journ.*, 42 (3): 16–46 (in Ukrainian).
- Gintov O.B., Isai V.M. 1988. Tectonophysical studies of consolidated crust faults. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Gintov O.B., Murovskaya A.V., Yegorova T.P., Volfman Yu.M., Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V., Kolesnikova E.Ya., Ostrovnoy A.N., Bubnyak I.N., Farfuliak L.V., Amashukeli T.A. 2015. Deep seismogenic zone Vrancea as an indicator of geodynamic processes. *Geophys. Journ.*, 37 (3): 22–49 (in Russian).
- Gintov O.B., Pashkevich I.K. 2010. Tectonophysical analysis and geodynamic interpretation of the three-dimensional geophysical model of the Ukrainian Shield. *Geophys. Journ.*, 32 (2): 3–27 (in Russian).
- Gintov O.B., Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V., Murovskaya A.V. 2016. Some features of the structure of the mantle of the Eastern Mediterranean and their geodynamic interpretation. *Geophys. Journ.*, 38 (1): 17–29 (in Russian).
- Gintov O.B., Tsvetkova T.O., Bugaenko I.V., Zayats L.N., Murovska G.V. 2022. The deep structure of the Trans-European Suture Zone (based on seismic survey and GSR data) and some insights in to its development. *Geophys. Journ.*, 44 (6): 63–87 (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 No. 886).



9 786177 228560