

УДК 504+550+551+552+624

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105>

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних і геоінформаційних досліджень.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	Вижва Сергій, д-р геол. наук, проф. (Україна) Албані Абдер Ель, д-р філософії, проф. (Франція); Артеменко Геннадій, д-р геол. наук, проф. (Україна); Бахмутов Володимир, д-р геол. наук, ст. наук. співроб. (Україна); Бондар Ксенія, д-р геол. наук (Польща); Веснавер Альдо, д-р філософії, проф. (Італія); Вижва Зоя, д-р фіз.-мат. наук, проф. (Україна); Діндароглу Тургай, д-р філософії, проф. (Туреччина); Донатіс Мауро, д-р філософії, доц. (Італія); Дубина Олександр, д-р геол. наук, доц. (Україна); Загнітко Василь, д-р геол.-мінералог. наук, проф. (Україна); Зацерковний Віталій, д-р техн. наук, проф. (Україна); Зенг Квінглі, д-р філософії (Китай); Іванік Олена, д-р геол. наук, проф. (Україна); Івахненко Олександр, д-р філософії, проф. (Казахстан); Карпенко Олексій, д-р геол. наук, проф. (Україна); Коронеос Антоніс, д-р філософії, проф. (Греція); Корчагін Ігнат, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб. (Україна); Кошляков Олексій, д-р геол. наук, проф. (Україна); Курило Марія, д-р геол. наук, доц. (Україна); Лі Циншен, д-р філософії, проф. (Китай); Лозицький Всеволод, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб. (Україна); Маслов Борис, д-р фіз.-мат. наук, проф. (Україна); Меньшов Олександр, д-р геол. наук, ст. дослідник (відп. ред.) (Україна); Митрохин Олександр, д-р геол. наук, проф. (Україна); Михайлов Володимир, д-р геол. наук, проф. (Україна); Міліневський Геннадій, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб. (Україна); Мірончук Тетяна, канд. філол. наук, доц. (Україна); Нестеровський Віктор, д-р геол. наук, проф. (Україна); Огар Віктор, д-р геол. наук, проф. (Україна); Олівія Марк, д-р філософії, проф. (Португалія); Орлюк Михайло, д-р геол. наук, проф. (Україна); Пастушенко Тетяна, канд. філол. наук, доц. (Україна); Перейра Пауло, д-р філософії, проф. (Литва); Портнов Василь, д-р філософії, проф. (Казахстан); Спассов Сімо, д-р філософії, проф. (Бельгія); Шабатура Олександр, д-р геол. наук, доц. (заст. голов. ред.) (Україна); Шевченко Олексій, д-р геол. наук, ст. наук. співроб. (Україна); Шевчук Віктор, д-р геол.-мінералог. наук, проф. (Україна); Шмідт Вольфмар, д-р філософії, проф. (Німеччина); Шнюков Сергій, д-р геол. наук, доц. (Україна)
Адреса редколегії	ННІ "Інститут геології" вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022 ☎ (38044) 521 33 38 e-mail: geology.bulletin@knu.ua ; geolvisnyk@ukr.net web: https://geology.bulletin.knu.ua/
Затверджено	вченою радою ННІ "Інститут геології" 29.05.24 (протокол № 15)
Зареєстровано	Національною радою України з питань телебачення і радіомовлення Рішення № 1089 від 28.03.24 Ідентифікатор друкованого медіа: R30-03800
Атестовано	Міністерством освіти і науки України (категорія А) Наказ № 1412 від 18.12.18
Індексування	Web of Science (квартиль 4, імпакт фактор 0.3), Research Bib, Google Scholar, Crossref
Засновник та видавець	Київський національний університет імені Тараса Шевченка Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет" Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02
Адреса видавця	ВПЦ "Київський університет" б-р Тараса Шевченка, 14, м. Київ, 01601 ☎ (38044) 239 32 22, 239 31 58, 239 31 28 e-mail: vpcc@knu.ua

BULLETIN

TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV

ISSN 1728-2713 (Print), ISSN 2079-9063 (Online)

GEOLOGY

2(105)/2024

Established in 1958

UDC 504+550+551+552+624

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105>

Published are the results of geological, stratigraphic, paleontological, hydrogeological, geophysical and geoinformation research.

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

EDITOR-IN-CHIEF	Vyzhva Sergiy, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine)
EDITORIAL BOARD	Albani Abderrazak El, PhD, Prof. (France); Artemenko Gennadiy, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine); Bakhmutov Volodymyr, DSc (Geol.), Senior Researcher (Ukraine); Bondar Kseniia, DSc (Geol.) (Poland); Dindaroğlu Turgay, PhD, Prof. (Turkey); De Donatis Mauro, PhD, Assoc. Prof. (Italy); Dubyna Oleksandr, DSc (Geol.), Assoc. Prof. (Ukraine); Ivakhnenko Oleksandr, PhD, Prof. (Kazakhstan); Ivanik Olena, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine); Karpenko Oleksiy, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine); Korchagin Ignat, DSc (Phys. & Math.), Senior Researcher (Ukraine); Koroneos Antonis, PhD, Prof. (Greece); Koshliakov Oleksiy, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine); Kurylo Mariia, DSc (Geol.), Assoc. Prof. (Ukraine); Liu Qingsheng, PhD, Prof. (China); Lozitsky Vsevolod, DSc (Phys. & Math.), Senior Researcher (Ukraine); Maslov Borys, DSc (Phys. & Math.), Prof. (Ukraine); Menshov Oleksandr, DSc (Geol.), Senior Researcher (Executive Editor) (Ukraine); Milinevskiy Gennadiy, DSc (Phys. & Math.), Senior Researcher (Ukraine); Mironchuk Tatyana, PhD (Philol.), Assoc. Prof. (Ukraine); Mykhailov Volodymyr, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine); Mytrokhin Oleksandr, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine); Nesterovskiy Viktor, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine); Ogar Viktor, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine); Olivia Marc, PhD, Prof. (Portugal); Orliuk Mykhailo, DSc (Geol.), Prof. (Ukraine); Pastushenko Tatyana, PhD (Philol.), Assoc. Prof. (Ukraine); Pereira Paulo, PhD, Prof. (Lithuania); Portnov Vasyl, PhD, Prof. (Kazakhstan); Schmidt Volkmar, PhD, Prof. (Germany); Shabatura Oleksandr, DSc (Geol.), Assoc. Prof. (Deputy Editor-in-Chief) (Ukraine); Shevchenko Oleksiy, DSc (Geol.), Senior Researcher (Ukraine); Shevchuk Viktor, DSc (Geol. & Mineral.), Prof. (Ukraine); Shnyukov Sergiy, DSc (Geol.), Assoc. Prof. (Ukraine); Spassov Simo, PhD, Prof. (Belgium); Vesnaver Aldo, PhD, Prof. (Italy); Zeng Qingli, PhD (China); Vyzhva Zoya, DSc (Phys. & Math.), Prof. (Ukraine); Zacerkovniy Vitaliy, DSc (Tech.), Prof. (Ukraine); Zagnitko Vasyl, DSc (Geol. & Mineral.), Prof. (Ukraine)
Address	USI "Institute of Geology" 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 ☎ (38044) 521 33 38 e-mail: geology.bulletin@knu.ua , geolvisnyk@ukr.net web: https://geology.bulletin.knu.ua/
Approved by	the Academic Council of the USI "Institute of Geology" 29.05.24 (protocol № 15)
Registered by	the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine Decision № 1089 of 28.03.24 Identifier of printed media: R30-03800
Certified by	the Ministry of Education and Science of Ukraine (category A) Order № 1412 dated 18.12.18
Indexing	Web of Science (Quartile 4, Impact Factor 0.3), Research Bib, Google Scholar, Crossref
Founded and published	Taras Shevchenko National University of Kyiv Publishing and Polygraphic Center "Kyiv University" Certificate of entry into the State Register ДК № 1103 dated 10.31.02
Address	PPC "Kyiv University" 14, Taras Shevchenko blvd., Kyiv, 01601 ☎ (38044) 239 32 22, 239 31 58, 239 31 28 e-mail: vpc@knu.ua

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

БОРТНИК Сергій, ПОГОРІЛЬЧУК Наталія, КОВТОНЮК Ольга Сучасний та давній рельєф геонархеологічної пам'ятки Межиріч.....	5
---	---

ГЕОФІЗИКА

ЄМЕЦЬ Владислав, БЕЗРОДНА Ірина Визначення ефективної пористості порід-колекторів за даними структури їх пустотного простору у візейських і турнейських відкладах Березівського родовища	14
ШУМЛЯНСЬКА Людмила, ПІГУЛЕВСЬКИЙ Петро Побудова та перші результати інтерпретації тривимірної моделі щільності мантії під Українським щитом.....	21
ВИЖВА Сергій, ПОПОВ Сергій, БОНДАР Ксенія, ХОМЕНКО Руслан, ІВКО Антон, АНДРІЙЧУК Юлія, КРУГЛОВ Богдан, КРУГЛОВ Олександр, ПОЛЯЧЕНКО Євген Удосконалена методика детальної магнітної зйомки для вирішення завдань нафтогазової геології	29
КАРПЕНКО Іван, ЛЕВОНЮК Сергій, КАРПЕНКО Олексій, ЛОКТЕВ Андрій Застосування нейронмережових технологій при літолого-фаціальному розчленуванні відкладів девону і карбону за геолого-геофізичними даними (північно-західна частина Дніпровсько-Донецької западини).....	37
РУСАЧЕНКО Наталія, КУЗЬМЕНКО Павло Високотехнологічні алгоритми візуалізації соляно-купольної тектоніки за сейсмічними даними.....	44
ПОГОРЄЛОВА Єлена, АБДУЛЛА-ЗАДЕ Мурад, АБІЛГАСАНОВА Лала, ШІХМАММАДОВА Теллі Сейсмогеологічний аналіз еволюційного розвитку Південнокаспійської мегапрогину з метою виявлення скупчень вуглеводнів	50

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

КВАСНИЦЯ Ірина Аспекти мікротопографії поверхонь граней кристалів у моделюванні процесів мінералоутворення на прикладі гранатів	59
--	----

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

МИХАЙЛОВ Володимир, АНДРЕЄВА Олена, СИДОРЧУК Віталій Оцінка інвестиційної привабливості об'єктів самородномідної формації Волинського рудного району.....	64
ДАНИЛИШИН Богдан, БОДЮК Адам, ГРОМОЗДОВА Лариса, МАХОРТОВ Юрій, ЛЕОНТОВИЧ Сергій, ДЕРБЕНЬОВА Яна, РВАЧ Андрій Оцінка вартості мінеральних ресурсів як аспект параметричного виміру публічного управління індустріальною відбудовою України	76
ГОРОШКОВА Лідія Прогнозування розвитку залізорудної галузі України в умовах війни та повоєнного відновлення країни	83
ЛИТВИНЮК Станіслав Нормативні передумови розвитку системи управління мінеральними ресурсами Державного фонду надр України	94

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

ШАРІКОВ Сергій, ЧОМКО Дмитро Сучасний стан гідрогеологічного вивчення родовищ мінеральних радонових вод у межах Житомирської області України	99
---	----

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

СТАРОДУБ Юрій, МИХАЛІЧКО Борис, ЛАВРЕНЮК Олена, КОЗІОНОВА Олена, ПОЛЬЧИК Генрик, КУПЛЬОВСЬКИЙ Богдан Еколого-геоінформаційна системи моніторингу для служб цивільної та пожежної безпеки України	104
ЗАЦЕРКОВНИЙ Віталій, ЦЮПА Ірина, ОСТАПЕНКО Григорій, ДЕ ДОНАТІС Мауро, ІЛЬІН Леонід Аналіз наслідків землетрусів у Туреччині 06.02.2023 за даними радіолокаційної інтерферометрії	111

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

BORTNYK Sergii, POHORILCHUK Nataliia, KOVTONIUK Olga Present and ancient landforms of the Mezhyrych geoarcheological site	5
---	---

GEOFYSICS

YEMETS Vladyslav, BEZRODNA Iryna Determination of the effective porosity of rock reservoirs based on the void space structure in the visevian and turnaisian formations of the Berezivske field of the Dnipro-Donetsk depression	14
SHUMLIANSKA Liudmyla, PIGULEVSKIY Petro Construction and first interpretation results of the three-dimensional mantle density model under the Ukrainian shield	21
VYZHVA Serhii, POPOV Serhii, BONDAR Kseniia, HOMENKO Ruslan, IVKO Anton, ANDRIICHUK Yuliia, KRUHLOV Bohdan, KRUGLOV Olersandr, POLYACHENKO Ievgen Improved methodology of detailed magnetometric survey to solve the problems of oil and gas geology	29
KARPENKO Ivan, LEVONIUK Serhii, KARPENKO Oleksii, LOKTIEV Andrii Neuron network technologies application in lithological-facial decomposition of the devonian and carboniferous sediments according to geological-geophysical data (northwestern part of the Dnieper-Donets depression)	37
RUSACHENKO Natalia, KUZMENKO Pavlo High-tech algorithms for visualization of salt-dome tectonics on seismic data	44
POGORELOVA Elena, ABDULLA-ZADA Murad, ABILHASANOVA Lala, SHIKHMAMMADOVA Tellii Seismic-geological analysis of the South Caspian mega depression evolutionary development to identify hydrocarbon accumulations	50

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

KVASNYTSIA Iryna Aspects of microtopography of mineral surfaces in modeling of mineral formation processes on the example of garnets	59
---	----

MINERAL RESOURCES

MYKHAILOV Volodymyr, ANDREEVA Olena, SYDORCHUK Vitalii Assessment of the investment attractiveness of native copper formation of the Volyn ore region	64
DANYLYSHYN Bohdan, BODYUK Adam, HROMOZDOVA Larysa, MAKHORTOV Yurii, LEONTOVYCH Serhii, DERBENOVA Yana, RVACH Andrii Assessment of mineral resource value as an aspect of the parametric dimension of public management for industrial development in Ukraine	76
HOROSHKOVA Lidiia Forecasting the development of Ukraine's iron ore industry amid war and post-war recovery of the country	83
LYTVYNIUK Stanislav Regulatory prerequisites for the development of the mineral resource management system of the State subsoil fund of Ukraine	94

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

SHARIKOV Sergii, CHOMKO Dmytro Current state of hydrogeological study of mineral radon water deposits in the Zhytomyr region of Ukraine	99
---	----

GEOINFORMATICS

STARODUB Yuriy, MYKHALICHKO Borys, LAVRENYUK Helen, KOZIONOVA Olesia, POLCIK Henryk, KUPLOVSKYI Bohdan Environmental geo-informational monitoring system for the civil and fire safety services of Ukraine	104
ZATSERKOVNYI Vitalii, TSIUPA Irina, OSTAPENKO Hryhorii, DE DONATIS Mauro, ILYIN Leonid Analysis of the consequences of earthquakes in Turkey 06.02.2023 using radar interferometry	111

УДК 551.4, 551.8

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.01>

Сергій БОРТНИК, д-р геогр. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0003-0886-5861

e-mail: bs_7@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна
Університет Яна Кохановського в Кельцах, Кельце, Польща

Наталія ПОГОРІЛЬЧУК, канд. геогр. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0001-9490-6388

e-mail: natalia.pogorilchuk@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ольга КОВТОНЮК, канд. геогр. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0003-2539-984X

e-mail: kovtoniukol@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

СУЧАСНИЙ ТА ДАВНІЙ РЕЛЬЄФ ГЕОАРХЕОЛОГІЧНОЇ ПАМ'ЯТКИ МЕЖИРІЧ*(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук К.М. Бондар)*

Вступ. Комплексні геоархеологічні дослідження поселень доісторичної та історичної людини включають аналіз усіх компонентів давнього природного середовища, в тому числі рельєфу та рельєфотвірних процесів. Проте недостатня увага до фіксації цих важливих характеристик, а також доволіне використання геоморфологічних термінів ускладнюють їх подальшу інтерпретацію. Метою дослідження є ревізія існуючих геоморфологічних описів та палеогеоморфологічних реконструкцій локалітету геоархеологічної пам'ятки Межиріч, уточнення та деталізація її позиції у сучасній та давній структурі рельєфу земної поверхні.

Методи. Дослідження проводилося з використанням картографічного методу та дешифрування матеріалів аерокосмічної зйомки. Також проведено ґрунтовний бібліографічний аналіз наукових публікацій, присвячених палеогеографічним реконструкціям території дослідження.

Результати. Виявлено розбіжностей у визначенні точної геоморфологічної прив'язки цієї пам'ятки, розглянуто дискусійні питання щодо різних підходів щодо нумерації надзаплавних терас, пов'язані з використанням різних схем стратиграфії четвертинних відкладів України при датуванні алювію, а також із дискусійністю питання щодо критеріїв нумерації терас. В результаті аналізу космічних знімків земної поверхні, гіпсометричної та геоморфологічної схем, інших геолого-геоморфологічних матеріалів уточнено сучасну геоморфологічну ситуацію та особливості давнього рельєфу території, визначено роль морфоструктурної позиції, спектр та динаміку процесів морфолітогенезу.

Висновки. Проведені дослідження обґрунтовують детермінуючу роль рельєфу у виборі та організації безпечного життєвого простору давньої людини. У розв'язанні питання прив'язки геоархеологічної пам'ятки Межиріч до терасового рівня пропонується нумерацію терас визначати за морфологічною ознакою, уникнувши таким чином різних трактовок віку корелятних відкладів і, відповідно, розбіжностей у номерах терас.

Вбачається можливість використання геоморфологічної інформації дослідженої пізньопалеолітичної стоянки як пошукового критерію розміщення інших поселень давньої людини в подібних фізико-географічних та геолого-структурних умовах.

Ключові слова: геоархеологія, Межиріч, рельєф, палеорельєф, тераса.

Вступ

Палеоекологічний акцент у сучасних геоархеологічних дослідженнях передбачає реконструкцію конкретного середовища, в якому проходила життєдіяльність конкретної історичної групи людей. Це, з одного боку, дає змогу визначити вплив змін природних умов на розвиток матеріальних культур, а з іншого – встановити зворотний вплив суспільства на стан довкілля (Герасименко та ін., 2022). Вивчення взаємозв'язків "природа – людина – господарство" здійснюється не на основі екстраполяції та широких узагальнень, а на рівні окремих мікрорегіонів або екологічних ніш. Головне завдання таких досліджень з'ясувати, "що це за середовище, які його конкретні обсяги і географічний зміст, та як саме (через які механізми) воно впливало на ранньопервісну культуру" (Сминтина, 2001, с. 38). Отже результатом геоархеологічних досліджень пам'яток давньої культури повинна бути відповідь на запитання: чому серед усього природного різноманіття ділянок земної поверхні конкретна група людей обрала для свого проживання саме цю ділянку.

Серед усіх компонентів ландшафту рельєф найчастіше виступає як визначальний чинник вибору місця розташування та способу влаштування поселення давньої людини, тривалості його функціонування та й врешті

ступеня подальшого збереження у викопному стані (Бортник, Ковтонюк, & Погорільчук, 2019). Характер рельєфу та його зв'язок з геологічною будовою почасти може полегшувати доступ до кам'яного матеріалу, який слугував за сировину для виготовлення різних знарядь праці (Бортник, Погорільчук, & Ковтонюк, 2020). Вивчення сучасної геоморфологічної ситуації місцевості, де розміщувалися житла, мезо- та мікроформ похованого рельєфу цих ділянок разом із характеристиками підстильних, вмісних порід та порід, що перекривають культурний шар, має велике значення для розуміння давніх природних умов. З огляду на те, що під час археологічних робіт часто з недостатньою детальністю здійснюється фіксація особливостей сучасного рельєфу, в тому числі доволіне використання геоморфологічних термінів, з'являються різні трактування цієї важливої характеристики геоархеологічних пам'яток. Це ж стосується і палеогеоморфологічних та палеодинамічних реконструкцій поверхні, яка є ареною освоєння її первісною людиною.

Межиріцька стоянка мисливців на мамонтів – одна з найкраще досліджених пам'яток пізньопалеолітичної доби і найбільш надійно продатована в усій Східній Європі (Нужний, & Шидловський, 2009). За понад піввікову історію вивчення тут були проведені численні

спеціалізовані роботи: геологічні, геоморфологічні, мікροстратиграфічні, палеомагнітні, палінологічні, палеозоологічні, антракологічні, малакологічні, радіогеохронологічні, біогеохімічні та ін.

Мета даної статті – провести ревізію існуючих геоморфологічних описів та палеогеоморфологічних реконструкцій локалітету цієї геоархеологічної пам'ятки, уточнити та деталізувати позицію Межирицької стоянки та її околиць у сучасній та давній структурі рельєфу земної поверхні. У зв'язку зі створенням уніфікованої бази даних по всіх геоархеологічних об'єктах території України, яке було започатковане у рамках виконання науково-дослідної теми географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка

"Реконструкція природних умов ареалів проживання людини на території України в доісторичний та історичний час" (2019–2021), існує потреба у визначенні єдиного підходу до аналізу геоморфологічної та палеогеоморфологічної ситуації цих об'єктів (Bortnyk et al., 2019).

Методи

Дослідження проводилося з використанням картографічного методу та дешифрування матеріалів аерокошмічної зйомки.

Результати

Межирицька геоархеологічна пам'ятка розташована на невеликому мисі між р. Россою та її лівою притокою р. Росавою на відстані близько 3 км на південний захід від південного замикання Канівських дислокацій (рис. 1, 2).

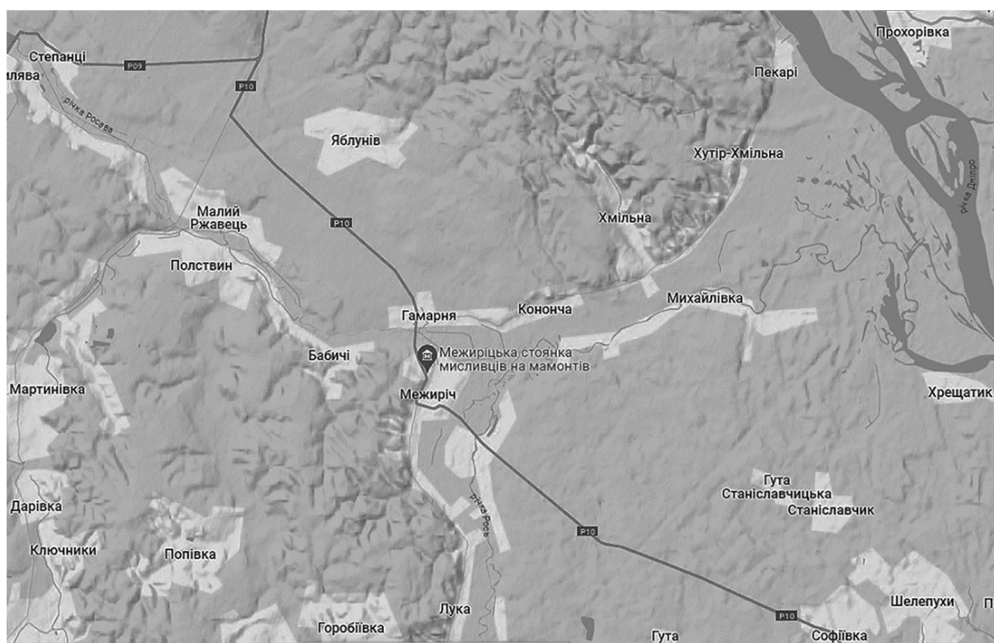


Рис. 1. Оглядова карта території розташування Межирицької геоархеологічної пам'ятки (<https://www.google.com/maps>)



Рис. 2. Космічне зображення території розташування Межирицької геоархеологічної пам'ятки (<https://earth.google.com/web>)

Перший достатньо ґрунтовний опис рельєфу ділянки розміщення пізньопалеолітичної стоянки Межиріч наведений у роботах І. Підоплічка (Пидопличко, 1969, 1976): стоянка розташована на "типовому межиріччі, у самому кутку між річками Россою та Росавою, що впадає тут у Рось. Протяжність Росі від Межиріча, тобто від впадіння в неї Росави, до Дніпра, усього 12 км, і заплави Росі та Росави у с. Межиріч без будь-яких особливих ознак у рельєфі переходять у заплаву Дніпра". Автор зазначає, що з часів проживання мисливців на мамонтів на тих теренах рельєф місцевості практично не змінився.

Заселення цієї ділянки палеолітичною людиною І. Підоплічка прив'язує до часу виникнення відповідних природних умов, головною з яких є пониження місцевого базису ерозії, в результаті чого почала формуватися сучасна заплава Росі та Росави, а попередня перейшла у стан першої надзаплавної тераси. Від рівня долівки житл до сучасної заплави річки Росави амплітуда по вертикалі сягає близько 9 м. Оскільки в геологічному розрізі тераси алювіальні відклади перешаровуються з делювіальними, очевидно, процес переходу заплавної тераси у надзаплавну був досить тривалим. Можливо, що в окремі роки води Росави з високих паводків заливали іноді і надзаплавну терасу, зумовлюючи відкладання на ній алювію, хоча основний процес седиментації носив вже делювіальний характер.

Заселення терасової поверхні людиною відбулося після припинення періоду високих паводків, коли процес седиментації змінився накопиченням лесової товщі, що містить в окремих місцях тонкі (0,5 см потужністю) прошарки делювіального піску. На момент появи тут людини на алювії вже встигла накопичитися 1–1,5-метрова товща лесу (Пидопличко, 1976).

Ділянка першої надзаплавної тераси р. Росава, на якій оселилися мисливці на мамонтів (зауважимо, що в монографії (Пидопличко, 1969) вона визначається як голоценова), описана як два мисових виступи між давніми балками. На Південному Межиріцькому мисі, обмеженому Північною та Південною балками, розташовувалися житла. На Північному, майже аналогічному за площею, бурінням виявлено лише окремі залишки культурного шару (кістки, золу, кремінь). З півночі обидва миси обмежувалися заплавою Росави. Зі сходу і заходу Південний Межиріцький мис обмежували невеликі балки, що виходили і тепер виходять у заплаву, і в яких, очевидно, довго стояла весняна вода (Пидопличко, 1976).

Описуючи поверхню долівки житл, яка за часів функціонування поселення по-суті і була давньою експонованою поверхнею Південного Межиріцького мису, тобто давнім рельєфом, І. Підоплічка відмічає приуроченість житл до ледь припіднятих ділянок цієї поверхні. Загальний і головний ухил її був спрямований у східному – північно-східному напрямку до долини Росі. Добре виражене зниження мису (за приблизними розрахунками 5 см на 1 м) у вказаному напрямку було видно при розкопках третього житла (Пидопличко, 1976) та при розкопках господарських об'єктів навколо них (Haesaerts et al., 2015).

У західній та північно-західній частині другого житла описане його укріплення складеними у три ряди трубчастими кістками, що може свідчити про свого роду інженерний захист мешканців стоянки від розмиву дощовими водами. Саме на переважання протягом року західних та північно-західних дощових вітрів у даному регіоні в часи пізнього палеоліту вказує І. Підоплічка. У монографії (Пидопличко, 1969) також звертається увага на нерівномірність делювіального замулювання жител і домінування цього процесу з боку правого берега Росави.

Отже, можна зробити висновок про незначний, але достатній для делювіального змиву, топографічний ухил поверхні тераси в напрямку до заплави Росі та у напрямку днища давньої балки одночасно. Останній, можливо, пов'язаний з існуванням незначного пониження на ділянці тилового шва, де поверхня тераси контактує з уступом корінного схилу річкової долини.

Підсумовуючи аналіз особливостей палеорельєфу, І. Підоплічка відзначає, що всі житла займали певною мірою підвищені ділянки, від яких принаймні в одному напрямку йшло пониження. За таким описом, враховуючи те, що житла розташовані доволі компактно (на відстані 10–25 м одне від одного), і на такій невеликій площі відмічаються зміни в ухилі поверхні, можна виділити такі геоморфологічні елементи давньої терасової поверхні: 1) відносно понижений тилловий шов, 2) нешироку, але пласку центральну вододільну частину Південного Межиріцького мису, 3) схили балок, які обмежували Південний Межиріцький мис.

Добра збереженість житл свідчить про сприятливі для їх консервації умови та низькоенергетичні седиментаційні обстановки як під час функціонування, так і під час переходу житл у похований стан. Швидкість елювіального осадконакопичення на поверхні Межиріцького мису оцінюється в 1,5 мм на рік (Пидопличко, 1969). І хоча автор першої монографії про Межиріцьку стоянку зауважує на високій імовірності наступних делювіальних розмивів, що позначилося на характері розташування кісток цоколя житл, а саме зміщенні окремих великих кісток та черепів мамонтів, які частково зсунуті або перевернуті, є підстави вважати, що житла мисливців були доволі герметичними. Про це свідчить відсутність ознак розмиву вогнища, нормальне розташування мас вугілля і золи, рівномірні у всі сторони обриси шлейфів від опалення вогнем долівки вогнища язиками полум'я тощо. Затухання седиментації лесоподібного суглинку І. Підоплічка пов'язує, з одного боку, із загальним процесом згладжування схилу, що оточує долину Росави, а з другого – із залісненням прилеглих до корінного схилу частин тераси Росави, що перетворилася на надзаплавну у пізньому палеоліті (Пидопличко, 1969).

У подальших дослідженнях Межиріцької стоянки в її геоморфологічній прив'язці уточнюється номер терасового рівня, підкреслюється приуроченість його до р. Рось та з'ясовуються деякі деталі у влаштуванні його поверхні. Так, у роботах (Гладких, 1977; Velichko et al., 1994) номер тераси Росі, де розташована стоянка, зазначається як другий, а її абсолютна висота – 98 м над рівнем моря. Згодом, після виявлення ембріонального похованого ґрунту на рівні культурного шару, номер тераси переглядається: культурний шар залягає в товщі III витачівсько-бузької тераси лівого берега р. Рось (роботи Дубняка – згадка у публікації (Дудник, 2017)). Зауважимо, що за стратиграфічною схемою П. Гожики – витачівський та бузький кліматоліти відповідають I надзаплавній терасі (Гожики, Герасименко, & Бортник, 2019), а за сучасною схемою кореляції, що застосовувалася при геологічному зніманні четвертинних відкладів (Державна геологічна карта, 2012), відповідають вільшанському ступеню і відкладам других надзаплавних терас (a^2P_{III}).

У публікаціях (Velichko et al., 1994; Kornietz et al., 2001) геологічними дослідженнями обґрунтовується місцезнаходження Межиріцької пам'ятки на II надзаплавній терасі, її північній частині між долинами річок Рось та Росава, а також наводиться характеристика палеодинамічної обстановки та особливостей седиментогенезу. Зазначається, що тераса прилягає до крутого схилу

плато, розчленованого численними ярами та балками. Ця частина пов'язана із пролювіальним конусом виносу великого яру, який відкривається в долину р. Рось. Відмічається складність четвертинної стратиграфії цієї місцевості через існування різних за складом та віком фацій відкладів: делювіальних, пролювіальних та еолових, а також присутність на прилеглому до тераси плато льодовикових та воднольодовикових відкладів дніпровського віку потужністю до 20 м, що залягають на палеогенових породах.

За даними цих досліджень, лесово-ґрунтова серія тут характеризується досить однорідним мінеральним складом, що вказує на одне джерело надходження уламкового матеріалу. Протягом усього пізнього льодовиків'я з прилеглою плато через балки і яри до долин Росі і Росави відбувався інтенсивний рух матеріалу ерозійної діяльності тимчасових водотоків. Однак, як відзначають автори (Kornietz et al., 2001), сама ділянка розташування Межирицького поселення була ізольованою від впливу цих процесів, про що свідчить рівномірна текстура відкладів, які залягають в основі культурного шару. Через цю стабільність, власне, мисливці й обрали саме цю ділянку поверхні тераси для свого проживання.

Ділянка перекрита відкладами, утвореними інтенсивним еолово-делювіальним накопиченням. Морфоскопічний аналіз зерен кварцу вказує на утворення перекривального шару в результаті осідання тонкодисперсного матеріалу в мілководних калюжах. У підстильному шарі спостерігаються прошарки глини і пісків, що свідчить про інтенсивне і різноманітне осадконакопичення в час, який передував заселенню даної поверхні людиною. На момент освоєння цієї поверхні вона була досить стабільною і не піддавалася затопленню річковими водами. Циклічний тип седиментогенезу простежується у двох злегка гумусованих шарах "ефемерних" ґрунтів з ознаками криодеформацій (Velichko et al., 1994; Komar et al., 2003).

Також через надзвичайно складну стратиграфію четвертинних відкладів цієї ділянки та існування кількох рівнів низьких річкових терас щодо геоморфологічної локалізації межирицького поселення вживається термін "низька тераса". Тому на наведеному геологічному розрізі (рис. 3), який ілюструє будову четвертинних відкладів, не вказані номери терасових рівнів. На жаль, на ньому також відсутня просторова орієнтація, що також ускладнює його прочитання.

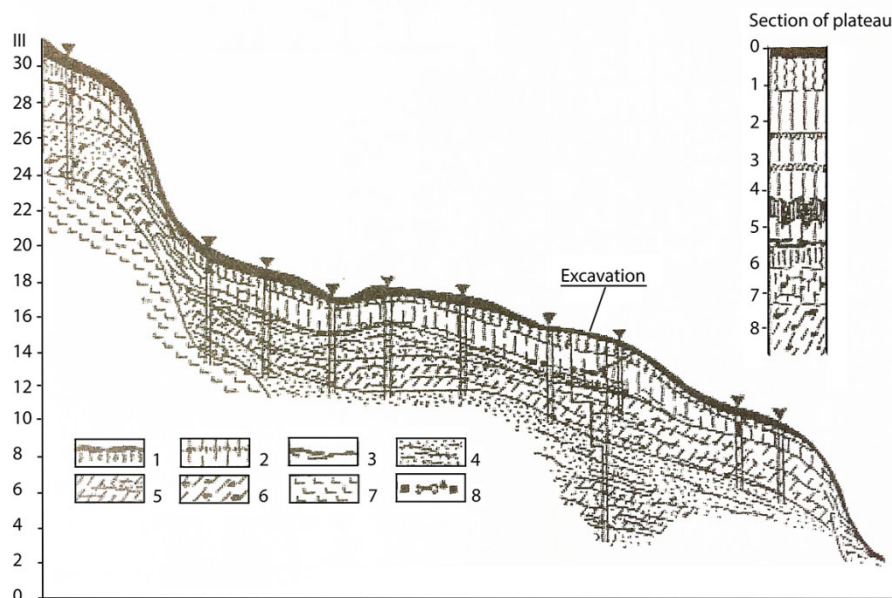


Рис. 3. Геологічний розріз ділянки лівого берега річки Рось, де розташована Межирицька палеолітична стоянка (Kornietz et al., 2001):

1 – сучасний ґрунт; 2 – лесовий суглинок з прошарками гумусованого суглинка; 3 – гумусовий горизонт мезинського ґрунтового комплексу; 4 – пісок; 5 – шаруваті суглинки і супіски; 6 – морена дніпровського зледеніння; 7 – мергель; 8 – артефакти

Проведені у 1992–1996 рр. макро- та мікροстратиграфічні дослідження (Soffer et al., 1997) дозволили аргументувати гіпотезу про періодичність існування житл Межирицького поселення на поверхні II надзаплавної тераси на злитті Росі та Росави, а також про неодноразовий і короткотривалий характер їх функціонування. Цікаво, що у цих публікаціях прошарки стерильного (за термінологією археологів) піску, які до цього інтерпретувалися О. Величком як флювіальні, пов'язують з антропогенною природою – після кожного повернення на ділянку мисливці очищали та стабілізували її поверхню, посипаючи піском, видобутим поблизу.

Відтоді як географічна та геоморфологічна прив'язки Межирицької стоянки закріпилася інформація про розташування її на "низькій терасі при виході балки в долину великої річки" (Шидловський, 2005; 2020) та приуроченість до "рівня II надзаплавної тераси Росі, ускладненої

конусом виносу великого давнього яру в долину річки, що має висоту (рівень) 10–12 м над сучасною заплавою (Нужний, & Шидловський, 2009; Нужний, Шидловський, & Пеан, 2013). Але така локація поселення завжди вимагає уточнення, оскільки без додаткових роз'яснень може скластися хибне уявлення про те, що поселення розташовувалося у гирлі балки або на її конусі виносу, що є майже неможливим з огляду на високу динамічність цих ділянок через активні акумулятивні пролювіальні процеси, які не могли сприяти безпечному і захищеному функціонуванню поселення. Мова йде про давню, вже стабілізовану, поверхню, яка в часовий інтервал освоєння людиною вже не зазнавала потужних пролювіальних акумуляцій.

Відповідно до геологічної карти четвертинних відкладів (Державна геологічна карта, 2012) та геоморфологічної схеми, що її супроводжує, місце розташування

Межирицької стоянки мисливців на мамонтів – це ділянка дуже вузької смуги терасового рівня, обмежена із заходу тиловим швом нерозчленованої четвертої-третьої черкасько-трубізької надзаплавної тераси. Алювій цієї тераси похований під субаеральними відкладами і відповідає кайдацькому і тясминському кліматолітам середнього неоплейстоцену та прилуцькому та удайському кліматолітам верхнього неоплейстоцену ($a^{4-3}P_{II-III}$ čr-tb).

Завдяки дослідженням комплексної україно-французької експедиції за програмою "The end of the Mammoth Steppe: men / environmental interaction at Late Pleniglacial in Eastern Europe" спільно з Національним природничим музеєм (Париж), які проводилися на стоянці з 2006 р., отримані нові дані щодо мікростратиграфії майданчика розміщення Межирицької стоянки, що дало змогу по-новому проінтерпретувати відклади підстильного, вмісного та перекриваючого культурний шар горизонтів, та реконструювати особливості палеосередовища осадконакопичення (Haesaerts et al., 2015). Це дозволяє глибше зрозуміти ті природні процеси, які створювали та трансформували рельєф цієї ділянки протягом останніх 15 000 років.

Автори (Haesaerts et al., 2015) наводять зведену стратиграфічну колонку відкладів, де виділено шість горизонтів (знизу – вгору А, В, С, D, E, F) з відмінними седиментаційними умовами. Товща ця підстеляється перешаровуванням пісків та суглинків, що відповідає субакавально-субаеральному (алювіально-делювіальному) періоду існування поверхні тераси ще задовго до поселення на ній людини. Горизонти А, В та С мають однотипні і представлені лесовими еоловими відкладами. У верхніх частинах вони злегка збагачені органічною речовиною і містять численні карбонатизовані кореневі відбитки. Це свідчить про фази тимчасової стабілізації поверхні рослинністю, а відсутність ознак рухомого водного середовища – про гарну дренажність території. Походження прошарків білого піску у горизонті В, згадуваного вже у роботі (Soffer et al., 1997) проінтерпретовані як змив дочетвертинних пісків з навколишніх територій. А прошарки жовтуватого піску – як результат перенесення алювіальних відкладів із заплави Росі. Бімодальний гранулометричний склад горизонту D (піщані лінзи у суглинках), очевидно, вказує на вітрову активність, що поєднувалася з делювіальним змивом. У горішній частині ознаки кореневих систем рослин вказують на коротку фазу стабілізації ландшафту, коли і відбулося перше заселення поверхні тераси людиною. Горизонт E, з яким пов'язане основне розташування археологічних

артефактів, несе ознаки двох фаз стабілізації поверхні під розрідженим трав'яним покривом, які переривалися еоловим лесонакопиченням. Тут ембріональні гумусні горизонти чергуються з лесами, в яких спостерігаються ознаки термокарстових процесів та криогенних деформацій порід. Перекритий цей горизонт серією пар (дублетів) сезонних прошарків загальною потужністю 0,28 м. Кожна пара складається із світлого тонкого лесу, що накопичувався влітку, та темнішого суглинку з талого снігового покриву, тобто має нівально-еолове походження. Підраховано, що швидкість накопичення цієї пачки порід сягала 70 см на 100 років (Haesaerts et al., 2015). Вище залягає товща однорідних супісків також еолового походження, що значно змінена мережею біотурбацій та кротовинами. Отже, ця ділянка тераси р. Рось була у свій час ареною розвитку різних процесів, що сформували складний і генетично різномірний комплекс відкладів. Варто зазначити, що відсутність у розрізі крупних уламків місцевих дочетвертинних порід, які властиві фаціям конусів виносу, вказує на те, що до, під час та після функціонування поселення мисливців на мамонтів активних пролювіальних акумулятивних процесів, принаймні в місці розташування житл, не було.

Отже, проаналізовані нами публікації по Межирицькій георхеологічній пам'ятці засвідчили існування різних трактувань геоморфологічної прив'язки місця її розташування (табл. 1). Це пояснюється як суто геоморфологічними причинами, так і використанням різних стратиграфічних схем четвертинних відкладів України при датуванні алювію та перекриваючих його відкладів.

З погляду рельєфу, такі проблеми часто виникають через розбіжність у нумерації терас як морфологічно вираженого у сучасному рельєфі елемента річкової долини та номера тераси за віком та будовою алювіальної товщі, що її складає. Тобто перша від заплави морфологічно виражена тераса насправді за віком алювію може бути і другою, і третьою. У визначенні номера терасового рівня, де розташовувалася Межирицька стоянка, ситуація ускладнюється ще й тим, що це – місце злиття Росі та Росави, і до якої з них належить ця ділянка тераси, визначити важко. До того ж не слід виключати можливості трансформації (або й взагалі знищення) певних елементів рельєфу заплавної комплексу цих річкових долин через меліоративні заходи, що були здійснені тут на початку XX століття. Тому у публікаціях, присвячених Межирицькій георхеологічній пам'ятці, зустрічаємо різні варіанти такої прив'язки.

Таблиця 1

Основні критерії та варіанти визначення номеру терасового рівня, на якому розташована Межирицька стоянка мисливців на мамонтів

Номер та назва тераси	Джерело, у якому згадується номер та вік тераси	Критерій виділення тераси
I надзаплавна тераса	I. Підоплічко, (Пидопличко, 1969, 1976)	Морфологічний Геологічний
II надзаплавна тераса	• М. Гладких (Гладких, 1977) • О. Величко (Velichko et al., 1994) • О. Соффер, О. Величко, Н. Корнієць, Ю. Грібченко (Soffer et al., 1997) • М. Комар, Н. Корнієць, Д. Нужний, С. Пеан, Д. Нужний (Komar et al., 2003; Нужний, & Шидловський, 2009; Нужний, Шидловський, & Пеан, 2013) • П. Езертс, Ст. Пеан, Д. Нужний (Haesaerts et al., 2015)	? Геологічний, Геологічний Геологічний
III надзаплавна тераса витачівсько-бузька	В. Дубняк (?) (Дудник, 2017)	Геологічний
Нерозчленована IV-III черкасько-трубізька надзаплавна тераса	Державна геологічна карта 1:200000 (2012)	Геологічний
Низька тераса	Н. Корнієць, О. Величко, Ю. Грібченко, Е. Куренкова, Е. Новенко, М. Комар (Korniets et al., 2001)	Геологічний

Прояснити ситуацію із сучасним локалітетом Межиріцької пам'ятки допомагають побудовані нами гіпсометрична карта (рис. 4) та геоморфологічна схема (рис. 5) цієї території. На нашу думку, здійснювати геоморфологічну прив'язку розташування геоархеологічних пам'яток доцільно саме за морфологічним принципом, оскільки

номер тераси за корелятними відкладами та віком алювіальної товщі не дає уявлення про її позицію у будові річкової долини. Вік алювію, в тому числі і похованого, важливо враховувати під час стратиграфічної прив'язки та датування культурного шару.

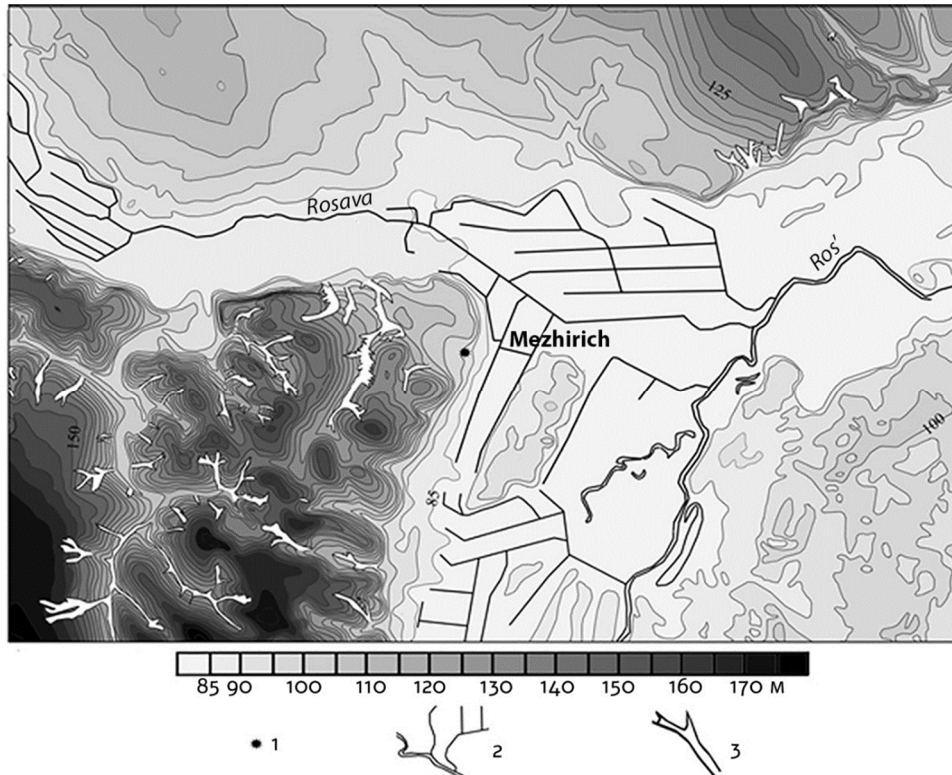


Рис. 4. Гіпсометрична схема Межиріцького мису та прилеглої території (масштаб 1:25000 зменшений):
1 – місце розташування Межиріцької геоархеологічної пам'ятки; 2 – гідромережа; 3 – ділянки вторинних ерозійних врізів

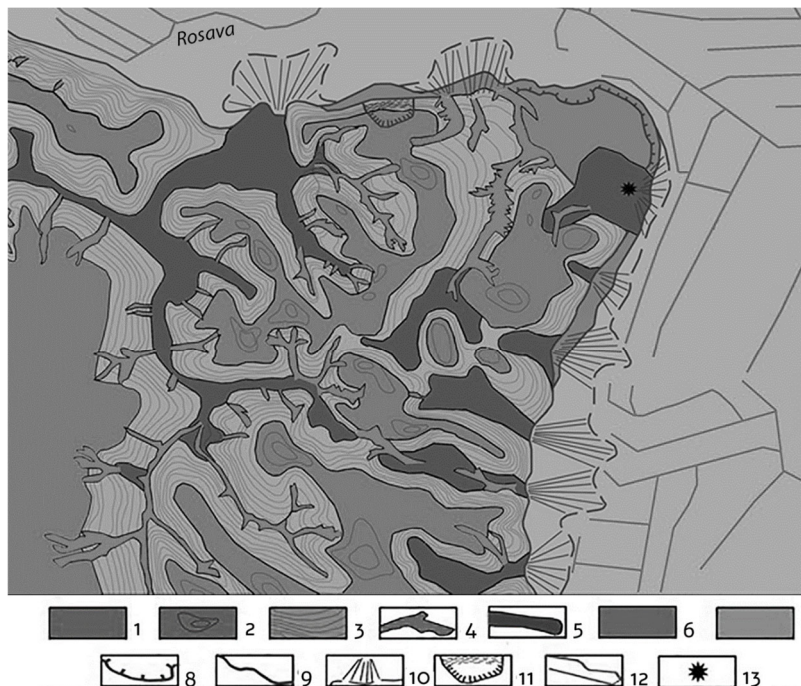


Рис. 5. Геоморфологічна схема Межиріцького мису та прилеглої території (масштаб 1:25000 зменшений):
1 – поверхня платоподібної рівнини, 2 – ерозійні останці, 3 – схилі поверхні, 4 – молоді (голоценові) ерозійні врізи, 5 – давні (плейстоценові) балки та яри, 6 – поверхня I надзаплавної тераси, 7 – заплава, 8 – брівка I надзаплавної тераси, 9 – тиловий шов I надзаплавної тераси, 10 – конуси виносу ярів та межі пролювіальної псевдотераси, 11 – зсуви, 12 – річки та меліоративні канали, 13 – місце розташування Межиріцької геоархеологічної пам'ятки

Як видно з наведених карт, це єдиний на цій території невеликий фрагмент, очевидно, спільного для Росі та Росави терасового рівня з гіпсометричними відмітками 100–110 м, який контактує безпосередньо із заплавою цих річок. У південно-західній його частині за характером рисунку горизонталей дешифрується коротка, але широка балка, в якій і розташовувалася стоянка мисливців на мамонтів (абс. висота 98 м н.р.м.). Безпосередньо на місцевості морфологічно згладжені риси рельєфу та забудова цієї території не дають змоги простежити її контури, але вона добре ідентифікується на картах. Чіткіше у рельєфі та на карті фіксується уступ цієї тераси (до 10 м) та її брівка (ізогіпса 100 м).

Звертає на себе увагу наявність у призаплавній частині тераси вузької смуги, яка обмежується ізогіпсою 85 м та додатковою горизонталлю у північній частині мису, і розширюється в місцях впадіння ярів та балок (див. рис. 4). Ці розширення є конусами виносу ярів, які, зливаючись, утворюють пролювіальну псевдотерасу. На одному з них нині розміщена дорога з мостом через р. Рось, який з'єднує лівобережну частину с. Межиріч з його "острівною" ділянкою. У гирлі давньої балки, де розміщувалася стоянка мисливців на мамонтів, також спостерігається подібний конус виносу і, скоріше за все, саме його вершина була обрана за місце поселення. Це підтверджують і геологічні та мікстратиграфічні дані попередніх досліджень (Velichko et al., 1994; Soffer et al., 1997; Komar et al., 2003; Haesaerts et al., 2015). Пологий схил конусу забезпечував зручний спуск у заплаву річки, оскільки на прилеглих ділянках потрібно було долати 10–12-метровий значно крутіший уступ тераси. Можливо, раніше цей конус виносу мав більшу площу, але під час будівництва згаданих меліоративних каналів був частково зруйнований.

Як уже зазначалося, в місці злиття Росі та Росави, а особливо, в заплаві Росі нижче від цього місця і до впадіння у р. Дніпро, внаслідок зміни гідрологічного режиму цих річок відбулись численні перебудови русла і заплави. Це було пов'язано як із природними процесами (потужними селевими потоками, які формували конуси виносу ярів південної частини Канівських гір, і тим самим викликали горизонтальні деформації русла Росі, переміщуючи його на південь), так і з антропогенним чинником (перед Першою світовою війною тут були здійснені масштабні гідротехнічні заходи з осушення заплави Росі).

Отже, у напрямку від заплави Росі та Росави до вододільного плато відмічаємо такі морфологічні елементи (див. рис. 5): 1) слабо виражену пролювіальну псевдотерасу, яка маскує тиловий шов заплави і накладена на неї; 2) фрагмент I надзаплавної тераси. Використання морфологічного критерію під час опису геоморфологічної обстановки геонархеологічних пам'яток, у тому числі і визначення номеру надзаплавних терас, дасть змогу уникнути невизначеності і сприятиме формуванню однотипної бази даних при реконструкціях палеогеографічних умов проживання давньої людини. Вік алювіальної товщі та, відповідно, геологічний вік тераси варто вказувати окремо.

Як показує аналіз карт, у пізньому плейстоцені на ділянці Межиріцького мису мали місце інтенсивні процеси водної ерозії, свідченням яких є широкі балкові долини. В останніх нині спостерігаються вторинні врізи завглибшки 9–13 м, пов'язані з новітньою ерозійною активністю ярів на тлі складно диференційованих сучасних тектонічних піднятих. На одних ділянках ці молоді яри фіксують прояви регресивної ерозії, на других – ускладнюють схили давніх балок, на третіх – поглиблюють їх дніща.

Такий вторинний яр утворився внаслідок регресивної ерозії і в балці, де розташований майданчик палеолітичної стоянки (див. рис. 5). Характер розташування та конфігурація згаданих ерозійних форм свідчить про можливі перехвати русел тимчасових водотоків, які призвели до інтенсивного розчленування первинного плато, ізолювання його привододільних частин та утворення ерозійних останців.

Отже, характер рельєфу межиріччя Росі та Росави чітко вказує на досить значну активність ерозійних процесів, як на сучасному етапі, так і у недавньому минулому. Це, очевидно, пояснюється не лише гідрометеорологічними причинами, але й особливостями морфоструктурної позиції цієї ділянки та режимом новітнього і сучасного тектогенезу (Bortnyk, Kovtoniuk, & Pohorilchuk, 2019). Унікальність цього регіону зумовлена наявністю тут значних за об'ємом і площею дислокацій мезозой-кайнозойського осадового чохла, що виражені у рельєфі Канівськими горами та Мошногірським кряжем. Розташована між ними долина Росі та Росави у місці свого злиття і формують "Межиріцький мис" – складний морфоструктурний вузол. Зазначимо, що морфоструктурна мозаїка даної території визначається складним поєднанням різноманітних лінійних та площових морфоструктур, які різною мірою проявляються не тільки в особливостях рельєфу земної поверхні, але й у просторових особливостях розподілу численних показників і характеристик природного середовища. Цей морфоструктурний вузол є результатом тривалої та складної перебудови активних тектонічних чинників, що контролювали перебіг екогенних рельєфотвірних процесів на земній поверхні і сукупно з кліматичними особливостями території визначали її ландшафтну структуру, яку для своїх потреб використовувала первісна людина. Можна припустити, що подібні геоморфологічні умови є типовими для подібного роду стоянок і можуть слугувати критерієм для їх пошуку.

Дискусія і висновки

Останніми роками під час проведення археологічних досліджень все більше уваги приділяється палеогеографічному аналізу, у якому важливе місце займають дослідження давнього та сучасного рельєфу – як одного з провідних чинників, що впливав на вибір давньої людиною свого місця проживання. Специфіка енде- та екзодинамічної активності терену Межиріцької пізньопалеолітичної стоянки мисливців на мамонтів визначила оптимальну геоморфологічну ситуацію, яка спричинила локалізацію саме в цьому місці активної діяльності давньої людини. Рельєф став головною передумовою розміщення стоянки: трикутна форма Межиріцького мису та його оточення з двох боків річками створювала зручні умови як щодо організації господарювання, так і щодо безпеки (з цього мису добре проглядалася територія практично в усі сторони і захисту потребувала лише південно-західна частина). Зручність для проживання території, на якій розташована Межиріцька стоянка, не означає відсутність на ній геодинамічних процесів, які могли б спричинити труднощі для проживання спільноти. Однак проведений аналіз указує, що спектр і динаміка екогенних процесів є досить різноманітними як для такої невеликої ділянки: це діяльність тимчасових лінійних і площових водних потоків, річок та еолових процесів. У той же час на самому терені стоянки не спостерігалась значна активність небезпечних геоморфологічних процесів.

Дискусійність питання прив'язки стоянки до терасового рівня пов'язана з різними підходами до визначення терас – геоморфологічним та геологічним. Пропонується нумерацію терас визначати за морфологічною ознакою, оскільки застосування геологічних критеріїв призводить

до різного трактування віку відкладів і, відповідно, розбіжностей у номерах терас. Крім того, постійне вдосконалення методик датування відкладів у майбутньому може спричинити поглиблення дискусійності цієї проблеми.

Внесок авторів: Сергій Бортник – концептуалізація, написання (перегляд і редагування); Наталія Погорільчук – формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка); Ольга Ковтонюк – методологія.

Список використаних джерел

- Бортник, С., Ковтонюк, О., & Погорільчук, Н. (2019). Положення у рельєфі геонархеологічних пам'яток епіграветської культури на території північно-східної України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 3(54), 186–188.
- Бортник, С., Погорільчук, Н., & Ковтонюк, О. (2020). Про вік та походження крем'яної сировини інвентаря геонархеологічної пам'ятки Межиріч (Канівське Придніпров'я). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(90), 6–11.
- Герасименко, Н. П., Бортник, С. Ю., Бончковський, О. С., Ковтонюк, О. В., Рогозін Є. П., & Погорільчук, Н. М. (2022). *Палеоекологія давньої людини на території України*.
- Гладких М. И. (1977). Отчет о раскопках Межиречского позднелепестчатого поселения в 1976 году. Архивы Института Археологии НАН Украины. Киев.
- Гожик, П. Ф., Герасименко, Н. П., & Бортник, С. Ю. (2019). *Четвертинна геологія*. ВПЦ "Київський університет".
- Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. (2012). Центрально-українська серія. Аркуш М-36-XX (Корсунь-Шевченківський). Державна служба геології та надр України.
- Дудник, Д. В. (2017). Етапи дослідження Межиріцької стоянки. *Vita Antiqua*, 9, 69–80.
- Нужний, Д. Ю., Шидловський, П. С., & Пеан, С. (2013). Дослідження ділянки на південь від першого межиріцького житла. *Археологічні дослідження в Україні*, 266–268.
- Нужний, Д. Ю., & Шидловський, П. С. (2009). Індустріальна варіабельність господарських об'єктів першого житла Межиріцького верхньопалеолітичного поселення. *Археологічний альманах. Актуальні проблеми первісної археології Восточної Європи*, 20, 203–218.
- Підопличко, І. Г. (1969). *Позднелепестчатые жилища из костей мамонта на Украине*. Наукова думка.
- Підопличко, І. Г. (1976). *Межиречские жилища из костей мамонта*. Наукова думка.
- Сминтина, О. В. (2001). Проблеми взаємодії природи та суспільства в інтерпретації археології. *Vita Antiqua*, 3–4, 31–41.
- Шидловський, П. С. (2005). "Мамонтові міграції" та сезонна адаптація населення Середнього Подніпров'я в добу верхнього палеоліту. *Кам'яна доба України*, 7, 73–77.
- Шидловський, П. С. (2020). *Мисливці на мамонтів басейну Дніпра*. ВПЦ "Київський університет".
- Bortnyk, S., Gerasimenko, N., Rohozin, Ye., Pogorilchuk, N., Kovtoniuk, O., & Bonchkovskiy, O. (2019). The structure of GIS database of geoarchaeological sites of Ukraine for palaeoecological studies. *International Conference Geoinformatics, 11–14 May 2019, Kiev*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903248>
- Bortnyk, S., Kovtoniuk, O., & Pohorilchuk, N. (2019). Morphostructural position of "Mezhyrskyi cape": geoarchaeological aspect. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 12–15 November 2019, Kyiv*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903248>
- Haesaerts, P., Péan, S., Valladas, H., Damblon, F., & Nuzhnyi, D. (2015). Contribution à la stratigraphie du site paléolithique de Mezhyrich (Ukraine). *L'Anthropologie*, 119, 4. Hommes et environnements au Paléolithique supérieur en Ukraine: Mezhyrich, 364–393. <https://doi.org/10.1016/j.anthro.2015.07.002>
- Komar, M. S., Kornietz, N. L., Nuzhnyi, D. Y., & Peans, S. (2003). Mezhyrich upper paleolithic site: The reconstruction of environmental conditions of the late pleistocene and human adaptation in the middle Dnieper basin (Northern Ukraine). *Кам'яна доба України*, 4, 262–277.
- Kornietz, N., Velichko, A., Gribchenko, Yu., Kurenkova E., Novenko E., & Komar M. (2001). Mezhyrich site. The Ukraine Quaternary explored: The Middle and Upper Pleistocene of the Middle Dnieper Area and its importance for East–West European correlation (pp. 42–48).
- Soffer, O., Adovasio, J. M., Kornietz, N. L., Velichko, A. A., Gribchenko, Yu. N., & Suntsov V. Yu. (1997). Cultural stratigraphy at Mezhyrich, an Upper Paleolithic site in Ukraine with multiple occupation. *Antiquity*, 271, 48–62.

Velichko, A. A., Buyce, M. R., Adovasio, J. M., & Cooke, G. A. (1994). Geology and geomorphology at the Upper Paleolithic site of Mezhyrich: macro- and micro-Perspectives. Paper presented at the SAA Annual Meeting, Anaheim (CA).

References

- Bortnyk, S., Gerasimenko, N., Rohozin, Ye., Pogorilchuk, N., Kovtoniuk, O., & Bonchkovskiy, O. (2019). The structure of GIS database of geoarchaeological sites of Ukraine for palaeoecological studies. *International Conference Geoinformatics, 11–14 May 2019, Kiev*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903248>
- Bortnyk, S., Kovtoniuk, O., & Pohorilchuk, N. (2019). Morphostructural position of "Mezhyrskyi cape": geoarchaeological aspect. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 12–15 November 2019, Kyiv*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903248>
- Bortnyk, S., Kovtoniuk, O., & Pohorilchuk, N. (2019). Location in the relief of geoarchaeological monuments of the Epigravetian culture in the territory of northeastern Ukraine. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 3(54), 186–188 [in Ukrainian].
- Bortnyk, S., Pohorilchuk, N., & Kovtoniuk, O. (2020). Age and origin of flint tools of the Mezhyrichchia geoarchaeological monument (Kaniv Dnieper lowland). *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(90), 6–11. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.90.01> [in Ukrainian].
- Dudnyk, D. V. (2017). Stages of the study of the Mezhyrsky monument. *Vita Antiqua*, 9, 69–80 [in Ukrainian].
- Gerasimenko, N. P., Bortnyk, S. Yu., Bonchkovskiy, O. S., Kovtoniuk, O. V., Rogozin E. P., & Pohorilchuk, N. M. (2022). *Paleoecology of ancient man on the territory of Ukraine* [in Ukrainian].
- Gozyk, P. F., Gerasimenko, N. P., & Bortnyk, S. Yu. (2019). Quaternary geology. Kyiv University [in Ukrainian].
- Haesaerts, P., Péan, S., Valladas, H., Damblon, F., & Nuzhnyi, D. (2015). Contribution à la stratigraphie du site paléolithique de Mezhyrich (Ukraine). *L'Anthropologie*, 119, 4. Hommes et environnements au Paléolithique supérieur en Ukraine: Mezhyrich, 364–393. <https://doi.org/10.1016/j.anthro.2015.07.002>
- Hladkykh, M. I. (1977). Report on the excavations of the Mezhyrsky Late Paleolithic settlement in 1976. Archives of the Institute of Archeology of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv [in Ukrainian].
- Komar, M. S., Kornietz, N. L., Nuzhnyi, D. Y., & Peans, S. (2003). Mezhyrich upper paleolithic site: The reconstruction of environmental conditions of the late pleistocene and human adaptation in the middle Dnieper basin (Northern Ukraine). *The Stone Age of Ukraine*, 4, 262–277.
- Kornietz, N., Velichko, A., Gribchenko, Yu., Kurenkova E., Novenko E., & Komar M. (2001). Mezhyrich site. The Ukraine Quaternary explored: The Middle and Upper Pleistocene of the Middle Dnieper Area and its importance for East–West European correlation (pp. 42–48).
- Nuzhnyi, D. Yu., Shidlovskiy, P. S., & Pean, S. (2013). Study of the site south of the first Mezhyrsky dwelling. *Archaeological research in Ukraine*, 266–268 [in Ukrainian].
- Nuzhnyi, D. Yu., & Shidlovskiy, P. S. (2009). Industrial variability of economic objects of the first dwelling of the Mezhyrsky Upper Paleolithic settlement. *Archaeological almanac. Current problems of primitive archeology of Eastern Europe*, 20, 203–218 [in Ukrainian].
- Pidoplichko, I. H. (1969). *Late Paleolithic dwellings made of mammoth bones in Ukraine*. *Naukova dumka* [in Russian].
- Pidoplichko, I. H. (1976). *Mezhyrich dwellings made of mammoth bones*. *Naukova dumka* [in Russian].
- Shidlovskiy, P. S. (2005). "Mammoth migrations" and seasonal adaptation of the population of the Middle Dnieper during the Upper Paleolithic. *The Stone Age of Ukraine*, 7, 73–77 [in Ukrainian].
- Shidlovskiy, P. S. (2020). *Mammoth hunters of the Dnipro basin*. Kyiv University [in Ukrainian].
- Smintyna, O. V. (2001). Problems of the interaction of nature and society in the interpretation of archeology. *Vita Antiqua*, 3–4, 31–41 [in Ukrainian].
- Soffer, O., Adovasio, J. M., Kornietz, N. L., Velichko, A. A., Gribchenko, Yu. N., & Suntsov V. Yu. (1997). Cultural stratigraphy at Mezhyrich, an Upper Paleolithic site in Ukraine with multiple occupation. *Antiquity*, 271, 48–62.
- State geological map of Ukraine. Scale 1:200000. (2012). Central Ukrainian series. Sheet M-36-XX (Korsun-Shevchenkivskiy). State Geology and Subsoil Service of Ukraine [in Ukrainian].
- Velichko, A. A., Buyce, M. R., Adovasio, J. M., & Cooke, G. A. (1994). Geology and geomorphology at the Upper Paleolithic site of Mezhyrich: macro- and micro-Perspectives. Paper presented at the SAA Annual Meeting, Anaheim (CA).

Отримано редакцією журналу / Received: 15.12.23
Прорецензовано / Revised: 09.03.24
Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Sergii BORTNYK, DSc (Geogr.), Prof.
ORCID ID: 0000-0003-0886-5861
e-mail: bs_7@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
The Jan Kochanowski University in Kielce, Kielce, Poland

Nataliia POHORILCHUK, PhD (Geogr.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-9490-6388
e-mail: natalia.pogorilchuk@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Olga KOVTONIUK, PhD (Geogr.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-2539-984X
e-mail: kovtoniukol@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

PRESENT AND ANCIENT LANDFORMS OF THE MEZHYRYCH GEOARCHEOLOGICAL SITE

Background. Comprehensive geoarchaeological studies of prehistoric and historic human settlements involve analyzing all components of the ancient natural environment, including topography and landforming processes. However, insufficient attention to documenting these crucial characteristics, as well as arbitrary use of geomorphological terms, complicates their further interpretation. The research aims to revise existing geomorphological descriptions and paleogeomorphological reconstructions of the Mezhyrich geoarchaeological site, refining and detailing its position within the modern and ancient land surface structure.

Methods. The research was conducted using cartographic methods and decoding materials from aerial photography. Additionally, a thorough bibliographic analysis of scientific publications related to paleogeographical reconstructions of the study area was carried out.

Results. Discrepancies have been identified in precisely determining the geomorphological context of this site. The study delves into contentious issues surrounding various approaches to numbering the floodplain terraces. These debates stem from the use of different stratigraphic schemes for Ukraine's Quaternary deposits when dating alluvium. Additionally, the debate extends to criteria for terrace numbering. Through the analysis of satellite imagery, hypsometric and geomorphological diagrams, and other geological-geomorphological materials, the contemporary geomorphological situation has been refined, and the peculiarities of the ancient terrain have been unearthed. The role of morphostructural position, the spectrum of processes, and the dynamics of morpholithogenesis have been pinpointed.

Conclusions. The conducted research substantiates the pivotal role of terrain in the selection and organization of safe living spaces for ancient humans. To address the issue of linking the Mezhyrich geoarchaeological site to the terrace level, the proposal is to number the terraces based on morphological features, thereby avoiding divergent interpretations of the ages of correlated deposits and discrepancies in terrace designations.

Furthermore, there is potential for utilizing the geomorphological information from the investigated Late Paleolithic settlement as a search criterion for locating other ancient human settlements under similar physiogeographic and geological-structural conditions.

Keywords: geoarchaeology, Mezhyrich, landforms, paleo landforms, terraces.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.8.056

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.02>

Владислав ЄМЕЦЬ, асп.

ORCID ID: 0009-0007-0631-3488

e-mail: vlad.yemets97@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ірина БЕЗРОДНА, канд. геол. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0002-6835-5276

e-mail: bezin3@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ПОРИСТОСТІ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ЗА ДАНИМИ СТРУКТУРИ ЇХ ПУСТОТНОГО ПРОСТОРУ У ВІЗЕЙСЬКИХ І ТУРНЕЙСЬКИХ ВІДКЛАДАХ БЕРЕЗІВСЬКОГО РОДОВИЩА

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.В. Шабатурою)

Вступ. При дослідженні родовищ досить важливо простежити закономірності внутрішньої будови порід-колекторів з їхніми фізичними властивостями. Проведений аналіз геофізичних досліджень свердловини № 203 Березівського родовища Дніпровсько-Донецької западини необхідний для оцінки перспективності складнопобудованих порід-колекторів.

Методи. Методика вивчення структури пустотного простору складнопобудованих порід-колекторів включала кілька етапів: здійснення інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин; визначення параметрів початкової математичної моделі породи-колектора, проведення інверсії даних акустичних досліджень у криву розподілу пустот різних форматів; оцінювання типів порід-колекторів з подальшим визначенням їхньої ефективної пористості.

Результати. На основі даних швидкості поздовжніх, поперечних хвиль та густини пластів, було виділено три окремі групи порід: пісковик ущільнений, вапнистий пісковик, вапняк. Для кожної з 6 вибірок було отримано початкове наближення: набір форматів пустот та їхню концентрацію в пластах вибірки. Автори безпосередньо на основі аналізу результатуючих даних виявили, що найоптимальнішими форматами пустот досліджуваних інтервалів є: для міжзернових пустот – $0,0,7 \div 0,9$; для перехідних пустот і мікротріщин літологічного ущільнення – $0,05 \div 0,077$; для мікротріщин – $0,007 \div 0,0019$; для каверн – $4 \div 8$. За результатами досліджень 51 пропластка встановлено, що переважальними типами колекторів із семи встановлених є гранулярно-кавернозний (39,2 % пропластків) та тріщинно-кавернозно-гранулярний (29,5 % пропластків), причому останній тип є домінантним для ущільнених порід-колекторів, коли відмічається зниження загальної пористості, і її значення стає нижче граничного значення у межах родовища.

Висновки. Розраховані значення форматів пустот вперше для даного родовища було використано для кількісної оцінки ефективної пористості на основі отриманих даних та показників питомого електричного опору на різних глибинах досліджень. Було вибрано результуюче наближення $\alpha = 0,6996$, яке дало змогу зменшити похибку в обчисленні коефіцієнта динамічної і, відповідно, ефективної пористості пластів-колекторів. Отримані результати показали, що запропоновані методики потрібні для розуміння та кількісної оцінки внутрішньої структури та фільтраційно-ємнісних властивостей порід-колекторів особливо в разі обмеженого комплексу каротажу і недостатнього відбору керну.

Ключові слова: структура пустотного простору, ефективна пористість, геофізичні дослідження свердловин, породи-колектори.

Вступ

Постановка проблеми. Невпинне зростання попиту на вуглеводні призводить до того, що видобуток нафти й газу дедалі частіше пов'язують із складнопобудованими та низькопористими колекторами. Тому у теперішній час досить важливо простежити закономірності внутрішньої будови порід-колекторів з їхніми фізичними властивостями, визначеними за даними геофізичних методів свердловин.

Питання тріщинуватості, кавернозності, ефективної пористості та кількісної оцінки структури пустотного простору порід нафтогазових комплексів має вийти на новий рівень дослідження, що дасть змогу приділити більше уваги ємнісним властивостям складнопобудованих колекторів нафти та газу, які вивчати традиційними геофізичними методами досить важко. Тому потрібні більш універсальні та сучасні методи оцінки якості пластів-колекторів. Важливо не тільки оцінити нафтогазонасиченість, але й визначити пропускну здатність пустотного простору породи, оскільки саме ці характеристики можуть ефективно охарактеризувати відновлювані запаси нафти та газу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для того щоб повністю дослідити будову складнопобудованих колекторів, необхідні спеціальні методики та різноманітні програмні засоби.

Виділяють два основні підходи до практичного вивчення структури пустотного простору порід: за допомогою даних петрофізичних досліджень зразків керна та методів геофізичних досліджень свердловин (ГДС).

Геофізичні методи досліджень свердловин виконують на всіх етапах існування свердловин. Процес визначення фільтраційно-ємнісних параметрів є досить складним. Особливий інтерес становить пористість порід, зокрема її види і типи. Геофізичні прилади забезпечують вимірювання параметрів, які дають змогу виконати математичний розрахунок коефіцієнтів пористості різних типів, а саме, відкритої, загальної, ефективної, динамічної, тріщинної, кавернозної, гранулярної, літологічної, вторинної тощо.

Тріщинуватість у колекторі дуже важко дослідити через неоднорідний розподіл тріщин, малий об'єм вилучення під час відбору керну. Тому потрібно якомога більше використовувати дані каротажу, оскільки вони можуть охоплювати значний інтервал дослідження. Традиційними методами в ГДС є оцінка природної тріщинуватості з емпіричного рівняння з використанням даних електричного каротажу (Serra, 1984, Tiab, & Donaldson, 2004) або її розрахунок у лабораторії на основі аналізу петрофізичних залежностей "кern-кern", "кern-геофізика" (Tiab, & Donaldson, 2004). Важливе місце для

оцінки наявності тріщинуватості має акустичний каротаж – здебільшого під час його інтерпретації на поздовжніх хвилях відмічається значне згасання амплітуд і зростання інтервального часу пробігу на тріщинуватих ділянках. Методи сканування стовбуру свердловини (FMI – електричне сканування, DSI – акустичний сканувальний каротаж, UBI – ультразвукове акустичне зондування, FWSL – повнокартинний акустичний каротаж) дають змогу виявити зони дроблення, тріщинуватості і визначити тріщинну пористість, параметри тріщин (кут падіння, щільність тріщин, азимут падіння, розкриття) (Son, Qu, & Nhan, 2006), однак ця апаратура не завжди доступна при проведенні каротажних робіт. Крім того, за допомогою названих вище методів оцінити типи і кількісні характеристики інших пустот є доволі складним, а можливо, навіть не вирішуваним завданням.

Ефективна пористість характеризує частину об'єму, яка зайнята рухомих флюїдом за повного насичення пустотного простору цим флюїдом. Транспортування вуглеводнів здійснюється головним чином через зв'язані або сполучені пустоти. Для порід з міжзерновими порами зі слабкою цементацією загальна пористість приблизно дорівнює ефективній пористості. Проте для більш зцементованих порід і деяких карбонатів можуть виникнути значні розбіжності між значеннями загальної пористості та ефективної пористості. Пустоти, що з'єднуються і сприяють проведенню електричного струму чи руху рідини або газу через гірську породу, повинні бути взаємопов'язані (Collett, & Katsube, 1973). Коefіцієнт ефективної пористості визначається зазвичай у комбінації нейтронного та щільнісного методів, використовуючи рівняння Шлюмберже (Schlumberger, 1998) після введення поправки за вміст глини у породі. Більш точним методом для визначення ефективної пористості і водночас більш дороговартісним є метод ядерно-магнітного каротажу, оснований на реєстрації ефектів вільної прецесії ядер водню.

Оцінивши кількісно ефективну пористість та визначивши тип колектору, можна легко і з високим ступенем достовірності передбачити колекторський потенціал того чи іншого інтервалу.

Пустотний простір породи відіграє важливу роль при вторинному розкритті пластів. У роботі (Brie et al., 1985) було запропоновано підхід для оцінки вторинної пористості у карбонатних відкладах з використанням акустичних швидкостей і електропровідності.

У роботах Г.Т. Продайводи, С.А. Вижви, І.М. Безродної (Продайвода та ін., 2011, Безродна та ін., 2007) запропоновано модель складнобудованого колектора, числовий метод розрахунків ефективних пружних стelah та електричної провідності порід-колекторів зі спектром хаотично орієнтованих пустот різних форматів. Також багато для вивчення складнобудованих колекторів за даними ГДС зробили Я.Н. Басін, Б.Ю. Вендельштейн, К.Р. Девіс, О.М. Карпенко, В.М. Курганський, В.А. Новгородова, В.І. Петерсільє та ін.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є інтерпретація даних ГДС свердловини № 203 Березівського родовища Дніпровсько-Донецької западини; виділення порід-колекторів у візейських і турнейських відкладах; дослідження структури пустотного простору виділених складнобудованих порід-колекторів в інтервалі 5800–6110 м з подальшою оцінкою їх ефективної пористості.

Геологічні особливості об'єкта дослідження. Породи вивченого розрізу свердловини № 203 Березівського нафтогазоконденсатного родовища належать до

турнейського і візейського ярусів карбону, вони представлені в горизонтах Т-1 та В-26–В-24 чергуванням вапняків, аргілітів, пісковиків, мергелів. Нафтогазоносність порід пов'язана з пісковиками та вапняками.

Методи

Оцінка структури пустотного простору. Методика вивчення структури пустотного простору складнобудованих порід-колекторів включала кілька етапів: здійснення інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин; визначення параметрів початкової математичної моделі породи-колектора, проведення інверсії даних акустичних досліджень у криву розподілу пустот різних форматів; оцінювання типів порід-колекторів (Вижва, & Безродна, 2016).

Будова породи математично уявляється у вигляді жорсткої матриці зі спектром пустот, що апроксимуються сфероїдами обертання з різними форматами $\alpha = \frac{a}{c}$, де a та c – коротка й довга напіввісь сфероїда.

При виборі початкового наближення математичної моделі пласта-колектора (групи пластів) можуть бути використані такі дані:

- апіорна інформація геолого-геофізичного характеру;
- стандартні методи ГДС та методи їх обробки;
- результати петрофізичних досліджень;
- результати математичного моделювання порід;
- результати вивчення керну під електронним або поляризаційним мікроскопом (Вижва, Безродна, & Ткаченко, 2019).

Після стандартної інтерпретації даних ГДС на першому етапі формуються вибірки пластів з подібним літологічним складом, фізичними властивостями і з однотипною структурою пустотного простору. В таких пластах наявні кореляційні залежності типу:

$$\Delta T_p = f(K_n), \quad \Delta T_s = f(K_n), \quad \rho = f(K_n), \quad (1)$$

де ΔT_p і ΔT_s – інтервальний час поширення повздовжніх і поперечних хвиль, K_n – коефіцієнт відкритої пористості, ρ – густина порід.

Для створення математичної моделі вибірки пластів визначаються: параметри пустотних наповнювачів, параметри матриці породи-колектора і структура її пустотного простору.

Початковим наближенням для параметрів матриці порід прийнято ефективні пружні модулі (модуль об'ємного стиснення (K), модуль зсуву (G) та густина (ρ) скелету породи-колектора), що визначаються за формулами

$$K_m = \rho_m \left(V_{pm}^2 - \frac{4}{3} V_{sm}^2 \right), \quad G_m = \rho_m V_{sm}^2, \quad (2)$$

де ρ_m – густина скелету вибірки порід, V_{pm} , V_{sm} – швидкості повздовжньої та поперечної хвиль скелету вибірки порід пластів, що розраховані з даних акустичного каротажу або отримані за петрофізичними даними.

Початкове наближення параметрів матриці для окремих вибірок порід розраховується за допомогою крос-плотів (1) шляхом екстраполяції функцій в область нульової пористості.

Для визначення початкового наближення для параметрів пустотних наповнювачів (швидкості пружних хвиль та густини флюїду чи газу) використовують апіорну (фондову, промислову) інформацію щодо параметрів пластових флюїдів (табл. 1).

Визначення початкового наближення структури пустотного простору n -тих пластів є пошуком глобальних екстремумів функції складного типу (X_n) за закріпленими параметрами форматів пустот α_n і проводиться

методом перебору значень концентрації певних форматів пустот $C_n(\alpha_n)$ з кроком Δn , обчислених для кожного формату з умови:

$$X_v + 1(C_n + \Delta n, \alpha_n) - X_v(C_n, \alpha_n) = k\varepsilon, \quad (3)$$

де ε – експериментальна точність визначення вхідних параметрів; k – коефіцієнт, що залежить від необхідної точності отримання наближення.

Вибір початкового наближення структури пустотного простору (формати пустот і їх концентрація для вибірки пластів) може проводитися методом найменших квадратів при перетині області пошукових параметрів по вектору за фіксованих значень форматів пустот α . Це забезпечує експресне знаходження точки з мінімальним значенням рівня відхилення значення від попереднього.

Таблиця 1

Пружні та густинні параметри пустотних наповнювачів		
Тип пустотного наповнювача	Швидкість пружних хвиль, м/с	Густина флюїду чи газу, г/см ³
Вода	1470–1880	1,0–1,1
Нафта	1035–1370	0,82–0,92
Газ	500	0,02–0,0001

Знайдене початкове наближення використовується при інверсії акустичних даних за допомогою програми "Karst" з використанням даних акустичного каротажу та коефіцієнта пористості, визначеного за методиками, що виключають матеріали акустичних методів. Задача зводиться до визначення концентрації пустот $C_n(\alpha)$ окремих форматів α для кожної вибраної точки чи пласта (Вижва, & Безродна, 2016).

Одержані в результаті розрахунків набори форматів пустот різних типів відповідають окремим типам пористості, на основі цього розраховуються коефіцієнти: міжзернової ($K_{мз}$), перехідної ($K_{пр}$), тріщинної ($K_{тр}$), кавернозної ($K_{кв}$) та вторинної ($K_{вт} = K_{пр} + K_{тр} + K_{кв}$) пористості та, відповідно, встановлюється тип породи-колектора (Безродна, 2007).

Визначення ефективної пористості з врахуванням структури пустотного простору. Матриця породи є непровідною, тому каротаж питомого електричного опору в основному відображає інформацію про електропровідність флюїду всередині сполучених пустот пласта. Проте варто також враховувати й інші фактори (мінеральний склад та ін.), які впливають на електропровідність гірської породи. На практиці електропровідність матриці породи є константою або функцією водонасиченості (Worthington, 2004).

У пласті без проникнення флюїду виконуються такі граничні умови:

- електропровідність, що визначена за даними каротажу (C_t) є фонову електропровідністю (C_{bg}), якщо поточна пористість дорівнює 0;

- виміряна електропровідність є електропровідністю пустотних флюїдів (C_f), якщо поточна пористість дорівнює 1.

На основі властивостей лінійної суперпозиції електропровідності, динамічна пористість (φ_f) встановлюється як коефіцієнт:

$$\varphi_f = \frac{C_t - C_{bg}}{C_f - C_{bg}}, \quad (4)$$

де C_t , C_f і C_{bg} – електропровідність за даними каротажу, електропровідність пустотних рідин і фонові електропровідності відповідно.

Не всі водонасичені пустотні простори з'єднані між собою, тобто коефіцієнт пористості водонасиченої породи (φ_w) не завжди прирівнюється значенню коефіцієнта динамічної пористості (φ_f), тому при співіснуванні вуглеводнів і води електропровідність пустотних флюїдів залежить від кількості пластової води та розміру простору, де вільно протікає електричний струм.

Через те що вуглеводні не є провідниками електричного струму, можна навести рівняння

$$C_f = S_{wf} C_w = \frac{\varphi_f}{\varphi} C_w, \quad (5)$$

де S_{wf} – насиченість пластової води; C_w – електрична провідність пластової води; φ – коефіцієнт загальної пористості, визначений за даними каротажу.

З рівнянь (4) і (5) відомо, що якщо пустотний простір не є провідником електричного струму, то коефіцієнт динамічної пористості (φ_f) дорівнює 0, коефіцієнт загальної пористості (φ) дорівнює коефіцієнту статичної пористості (φ_s) і електропровідність за даними електрокаротажу є фонову електропровідністю. А якщо коефіцієнт динамічної пористості (φ_f) рівний 1 і коефіцієнт статичної пористості (φ_s) дорівнює 0, то виміряна провідність є провідністю пластової води.

Для того щоб відрізнити динамічну пористість від загальної та зменшити похибку в обчисленні коефіцієнта динамічної пористості за ідеальних умов рівняння (5) можна представити як

$$\frac{\varphi_f}{\alpha} = \frac{C_t - C_{bg}}{C_f - C_{bg}}, \quad (6)$$

де α – формат пустот.

Таким чином, коефіцієнт динамічної пористості виражається як

$$\varphi_f = \frac{(C_t - C_{bg}) \alpha}{C_f - C_{bg}}. \quad (7)$$

Під час буріння буровий розчин проникає в пористі пласти і спричиняє зміну питомого електричного опору пласта, що відбувається через різницю між питомим опором фільтрату бурового розчину та питомим опором пластової води. До утворення глинистої кірки на цей ефект проникнення можуть впливати кілька факторів: пористість, проникність, різниця тиску між буровим розчином і пластом, властивості бурового розчину та час буріння. Під час проникнення фільтрату бурового розчину вільний пустотний простір колектора поступово заміщується фільтратом бурового розчину.

Коефіцієнт ефективної пористості в такому випадку може бути визначений шляхом обчислення різниці між об'ємом провідного пустотного простору промитої зони та пласта в початкових умовах формування (Shen, Wu, & Wang, 2017)

$$\varphi_{\text{effective}} = \varphi_{fxo} - \varphi_{ft}, \quad (8)$$

де $\varphi_{\text{effective}}$ – коефіцієнт ефективної пористості; φ_{fxo} – коефіцієнт динамічної пористості пласта промитої зони; φ_{ft} – коефіцієнт динамічної пористості пласта в початкових умовах формування.

Результати

Після стандартної обробки матеріалів ГДС виділено 51 пропласток, які можна вважати породами-колекторами. За каротажними і петрофізичними (об'ємна густина) даними було визначено параметри мінерального скелету порід (інтервальний час пробігу повздовжньої хвилі та густина скелету порід), розраховані пружні модулі об'ємного стиску та зсуву для скелету моделі кожної з 3 груп пластів, що виділено за літологічними ознаками.

За допомогою представленої вище методики на етапі статистичного аналізу даних для визначення параметрів скелету вибірки порід побудовано кореляційні залежності типу $V_p = f(K_n)$ та $\sigma = f(K_n)$. За літологічними ознаками та

характером отриманих кореляційних залежностей пласти порід були поділені на шість вибірок, що значно підвищило значення коефіцієнтів кореляції між багатьма параметрами (Yemets, & Bezrodna, 2023). З побудованих кореляційних

залежностей шляхом екстраполяції кривих в область нульової пористості визначено параметри матриці вибірок порід (прикладі на рис. 1–3).

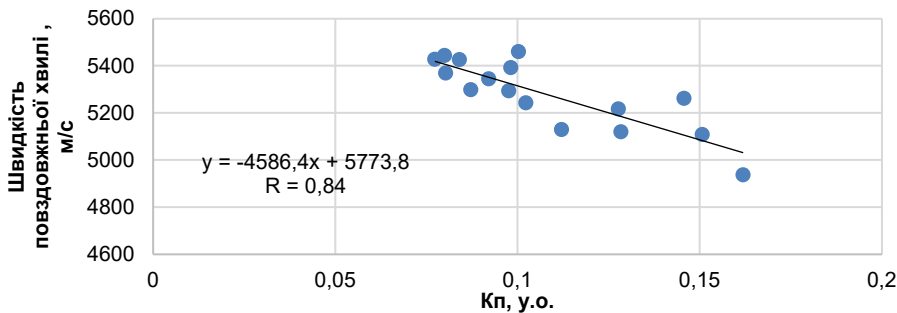


Рис. 1. Приклад визначення швидкості повздожньої хвилі скелету пісковика ущільненого за залежністю повздожньої швидкості від коефіцієнта пористості

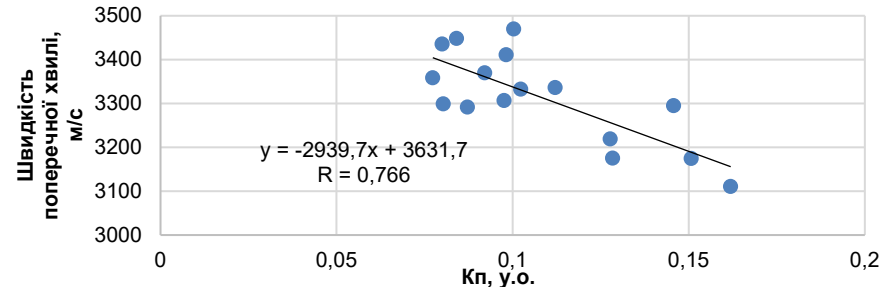


Рис. 2. Приклад визначення швидкості поперечної хвилі скелету пісковика ущільненого за залежністю поперечної швидкості від коефіцієнта пористості

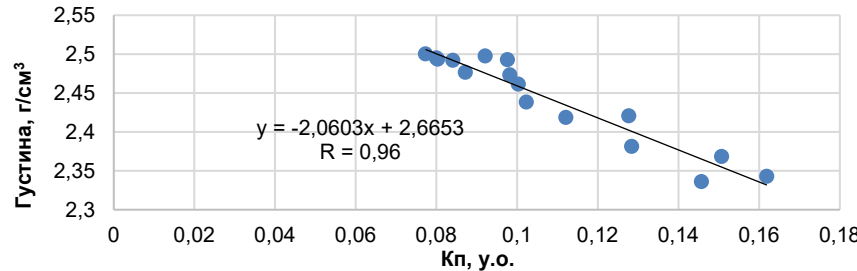


Рис. 3. Приклад визначення густини скелету пісковика ущільненого за залежністю густини від коефіцієнта пористості

Використавши отримані значення, автори розрахували пружні модулі скелету вибірок пластів-порід (табл. 2). Варто відзначити, що значення пружних модулів у межах вибірок пісковика ущільненого та вапняку досить близькі, що свідчить про їх подібну структуру

мінерального скелету та літологічний склад порід. У той же час для трьох вибірок вапнистого пісковика значення пружних модулів доволі різняться, що може бути зумовлено мінералогічними та літологічними відмінностями всередині вибірки і неоднорідним складом цементу.

Таблиця 2

Початкове наближення параметрів матриці досліджуваних вибірок порід			
Вибірка	Параметри матриці		
	К, ГПа	G, ГПа	ρ , кг/м ³
Пісковик ущільнений	41,98	35,15	2665
Вапнистий пісковик	40,20	43,68	2688
	62,56	49,50	2751
	63,00	29,41	2740
Вапняк	62,08	30,23	2720

На основі розрахунків отримано початкове наближення для форматів пустот (α) досліджуваних інтервалів, для шести вибірок порід воно складало:

- для міжзернових пустот – 0,6995–0,9;
- для перехідних пустот і мікротріщин літологічного ущільнення – 0,05–0,078;

- для мікротріщин – 0,007–0,0019;
- для каверн – 4–8.

За результатами інверсії акустичних даних для 51 пропластка розраховано значення α та їхніх концентрацій $C_n(\alpha)$ (табл. 3), а також кількісно оцінено внесок різних типів пористості (гранулярної, тріщинної та вторинної) у загальну (рис. 4).

На рис. 4 проілюстровано, що гранулярна та кавернозна пористості є переважальними типами для порід в інтервалі глибин 5892,0–6106,0 м. Зокрема, за розрізом середнє значення коефіцієнта гранулярної пористості

становило 1,84 %, кавернозної – 2,81 %, тріщинної – 0,13 %, перехідної – 2,17 %. Збільшення глибини призводить до зростання тріщинної пористості із зменшенням гранулярної та кавернозної.

Таблиця 3

Результати обчислених форматів пустот (α) досліджуваних вибірок порід				
Вибірка	Формат пустот, α			
Пісковик ущільнений	0,9	8,0000	0,0663	–
	0,6996	4,0000	0,0604	0,006
	0,6996	4,0000	0,598	0,0079
Вапнистий пісковик	0,6994	4,0000	0,0837	0,00287
	0,6997	4,0000	0,07857	0,00374
Вапняк	0,6996	4,0000	0,07348	0,00315

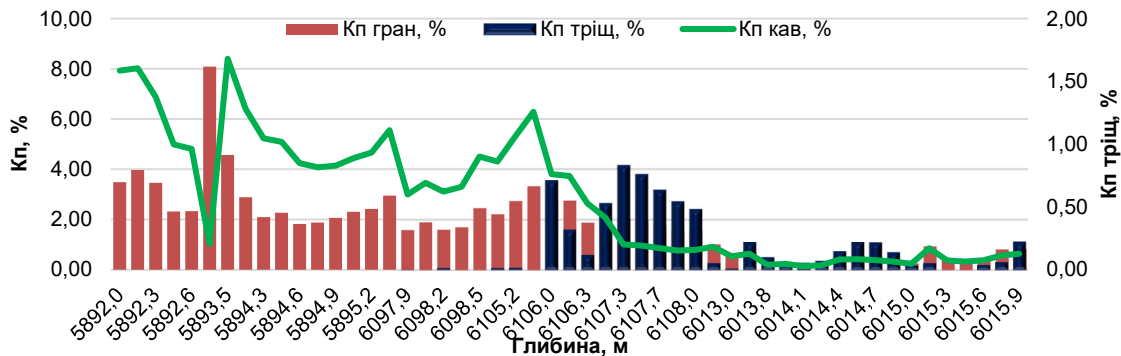


Рис. 4. Результати оцінки структури пористого простору пластів свердловини № 203 Березівського НГКР

За результатами обробки даних ГДС та кількісної оцінки типів пористості автори встановили, що у розрізі в пластах візейських і турнейських відкладів в інтервалі глибин 5800–6110 м свердловини № 203 Березівського родовища Дніпровсько-Донецької западини переважальними типами колекторів є гранулярно-кавернозний

(39,2 % пропластків) та тріщинно-кавернозно-гранулярний (23,5 % пропластків) (рис. 5), причому останній тип є доміантним для ущільнених порід-колекторів, коли відзначається зниження загальної пористості та її значення стає нижчим від граничного (нижче 6,0 %) у межах родовища.

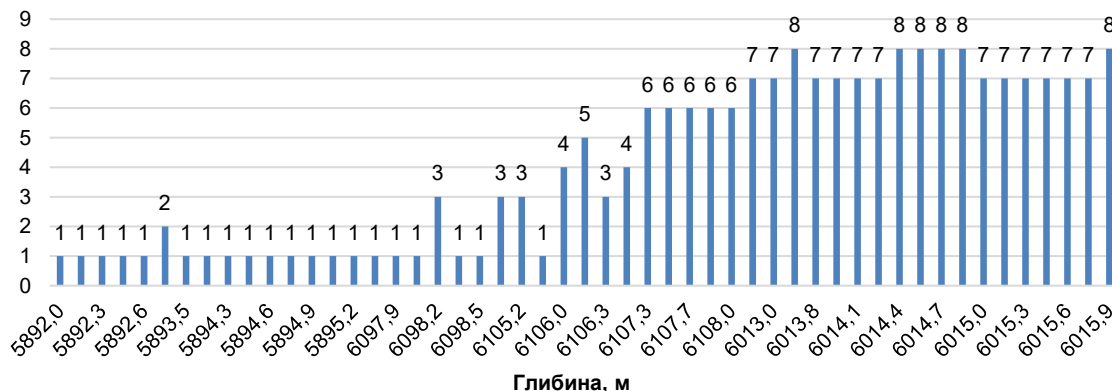


Рис. 5. Типи порід колекторів пластів свердловини № 203 Березівського НГКР:

- 1 – гранулярно-кавернозний; 2 – кавернозно-гранулярний; 3 – тріщинно-гранулярно-кавернозний; 4 – гранулярно-кавернозно-тріщинний; 5 – гранулярно-тріщинно-кавернозний; 6 – кавернозно-гранулярно-тріщинний; 7 – тріщинно-кавернозно-гранулярний; 8 – кавернозно-тріщинно-гранулярний

Коефіцієнт ефективної пористості автори визначили шляхом обчислення різниці між провідним пустотним простором промитої зони пласта та пласта в початкових умовах формування. Вона коливається в межах від 1 % у низькопроникній частині до 9,5 % в зоні з високим ступенем проникнення бурового розчину. На рис. 6 показано результуючу криву ефективної пористості пласта з кавернозно-гранулярним типом колектора в інтервалі 5890–5895 м.

Коефіцієнт динамічної пористості пласта промитої зони та коефіцієнт динамічної пористості пласта в

початкових умовах формування були обраховані на основі рівнянь (4) – (7), причому початкове наближення формату пустот $\alpha = 0,6996$ було обране для того, щоб зменшити похибку в обчисленні коефіцієнта динамічної пористості пласта-колектора в інтервалі 5890–5895 м.

На рис. 7 показано залежність між динамічною пористістю промитої зони та ефективною пористістю пласта-колектора в інтервалі 5890–5895 м для свердловини № 203 Березівського НГКР. Високий ступінь кореляції ($R = 0,94$) свідчить про те, що ємнісні властивості промитої зони пласта є доволі цінним

джерелом інформації для оцінки ефективної пористості колекторів нафти й газу, особливо тоді, коли ядерний матеріал відсутній, а комплекс методів геофізичних

досліджень свердловин (ядерно-магнітний, щільнісний та нейтронний каротаж) – обмежений.

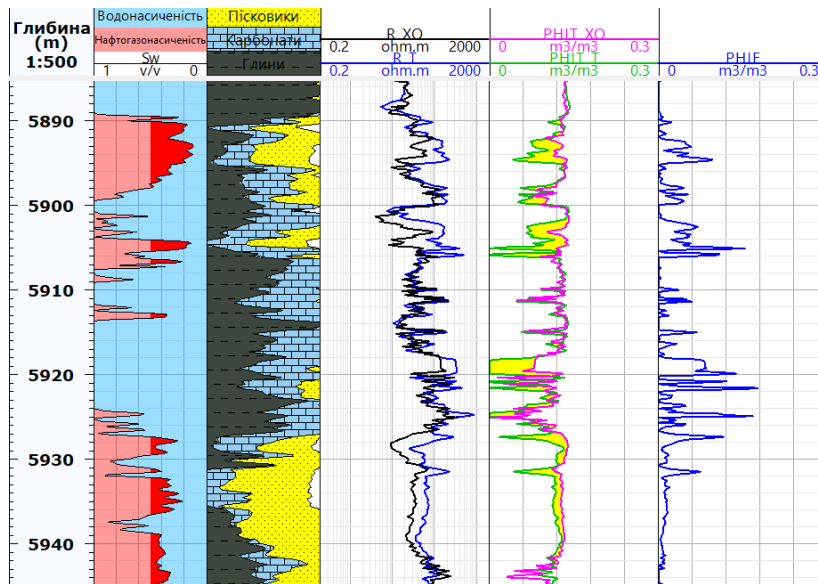


Рис. 6. Приклад результатів визначення ефективної пористості пласта-колектора в інтервалі 5890–5895 м для свердловини № 203 Березівського НГКР:

PHIE – коефіцієнт ефективної пористості; R_XO – питомий електричний опір промітої зони пласта; R_T – питомий електричний опір пласта в початкових умовах формування; PHIT_XO – коефіцієнт динамічної пористості пласта промітої зони; PHIT_T – коефіцієнт динамічної пористості пласта в початкових умовах формування

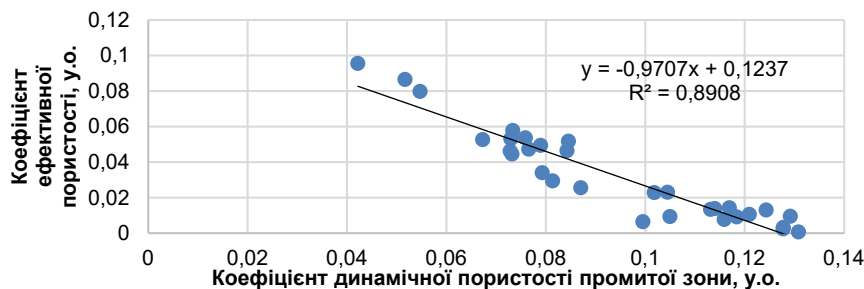


Рис. 7. Порівняння значень динамічної пористості промітої зони та ефективної пористості пласта-колектора в інтервалі 5890–5895 м для свердловини № 203 Березівського НГКР

Дискусія і висновки

У даній роботі для візейських і турнейських відкладів Березівського родовища вперше було визначено структуру пустотного простору на основі даних ГДС за оригінальною методикою, яка розроблена на кафедрі геофізики ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка. Для кількісної оцінки структури пустотного простору були використані дані швидкостей поздовжніх, поперечних хвиль та густини пластів. Було виділено три окремі групи порід: пісковик ущільнений, вапнистий пісковик, вапняк, для яких отримано набір форматів пустот для вибірок порід та їхню концентрацію пустот кожного типу для пропластків. На основі аналізу результатуючих даних було встановлено, що найоптимальнішими форматами пустот досліджуваних інтервалів є: для міжзернових пустот – 0,6995–0,9; для перехідних пустот і мікротріщин літологічного ущільнення – 0,0598–0,0837; для мікротріщин – 0,0028–0,0079; для каверн – 4–8. Подібна структура пустотного простору порід у межах вибірок пісковика ущільненого та вапняку підтверджується близькими значеннями пружних модулів. Неоднорідний склад цементу, мінералогічні та літологічні відмінності всередині вибірки вапнистого пісковика спричинили

розбіжності при підрахунку пружних модулів. За результатами досліджень 51 пропластка встановлено, що переважальними типами колекторів із семи встановлених є гранулярно-кавернозний (39,2 %) та тріщинно-кавернозно-гранулярний (29,5 %).

Розраховані значення форматів пустот вперше для даного родовища було використано для кількісної оцінки ефективної пористості на основі отриманих даних і показників питомого електричного опору на різних глибинах досліджень. Враховуючи те, що у розрізі у пластах візейських і турнейських відкладів в інтервалі глибин 5800–6110 м свердловини № 203 Березівського родовища Дніпровсько-Донецької западини одним із переважальних типів колекторів є гранулярно-кавернозний, було вибране початкове наближення формату пустот $\alpha = 0,6996$, яке дало змогу зменшити похибку в обчисленні коефіцієнтів динамічної, а відповідно, і ефективної пористості пластів-колекторів.

Отримані результати показали, що запропоновані методики є необхідними для розуміння та кількісної оцінки внутрішньої структури та фільтраційно-ємнісних властивостей порід-колекторів особливо в разі обмеженого комплексу каротажу і недостатнього відбору керну.

Внесок авторів: Владислав Ємець – методологія, валідація даних, написання (оригінальна чернетка); Ірина Безродна – концептуалізація, формальний аналіз, написання (перегляд і редагування).

Список використаних джерел

- Безродна, І. М. (2007). *Методика кількісної оцінки структури порожнього простору складнопобудованих порід-колекторів та прогнозу їх продуктивності за даними ГДС та петрофізики* [Дис. канд. геол. наук: 04.00.22, Київський національний університет імені Тараса Шевченка].
- Вижва, С. А., & Безродна, І. М. (2016). Вивчення структури порожнього простору складнопобудованих порід за даними петроакустичних досліджень Семиренківської площі. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(74), 11–17.
- Вижва, С. А., Безродна, І. М., & Ткаченко, О. В. (2019). Структура порожнього простору складнопобудованих башкирських карбонатних порід-колекторів Опішнянського родовища ДДЗ. *Геофізичний журнал*, 41(3), 189–202.
- Продайвода, Г. Т., Вижва, С. А., Безродна, І. М., & Продайвода, Т. Г. (2011). *Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу*. ВПЦ "Київський університет".
- Collett, L. S., & Katsube, T. J. (1973). Electrical parameters of rocks in developing geophysical techniques. *Geophysics*, 38 (1), 76–91. <https://doi.org/10.1190/1.1440336>
- Serra, O. (1984). *Fundamentals of Well Log Interpretation*. Developments in Petroleum Science.
- Schlumberger (1998). *Cased Hole Log Interpretation Principles/Applications*. Schlumberger Wireline and Testing.
- Shen, B., Wu, D., & Wang, Z. (2017). A new method for permeability estimation from conventional well logs in glutenite reservoirs. *J. Geophys.*, 14, 1268–1274.
- Son, P. X., Qu, H. V., & Nhan, D. D. (2006). Basroc 3.0 – A special software for processing wireline log in fractured basement. Science and Technics Publishing House, p. 459–467.
- Tiab, D., & Donaldson, E. C. (2004). *Petrophysics Theory and Practice of Measuring of Reservoir Rocks*. 2nd Edition, Gulf Professional Publishing.
- Worthington, D. F. (2004). Improved quantification of fit for purpose saturation exponents, *SPE Reservoir Eval.*, 7, 270.
- Yemets, V. Y., & Bezrodna, I. M. (2023). Evaluation of the void space structure and reservoir properties of rocks in the visevian and turnaisian formations of the Berezivske field of the Dnipro-Donetsk depression. *Матеріали*

XVII Міжнародної конференції "Моніторинг геол. проц. та екол. стану серед." <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520034>

References

- Bezrodna, I. M. (2007). *The method of quantitative estimation for the empty space structure of composite rock-reservoirs and of their productivity prediction by the logging and petrophysics data* [The thesis ... Cand. Sci. (Geol.): 04.00.22. Taras Shevchenko National University of Kyiv] [in Ukrainian].
- Collett, L. S., & Katsube, T. J. (1973). Electrical parameters of rocks in developing geophysical techniques. *Geophysics*, 38 (1), 76–91. <https://doi.org/10.1190/1.1440336>
- Prodaivoda, H. T., Vyzhva, S. A., Bezrodna, I. M., & Prodaivoda, T. H. (2011). *Geophysical methods for assessing the productivity of oil and gas reservoirs*. VPT "Kyivskiy universytet" [in Ukrainian].
- Serra, O. (1984). *Fundamentals of Well Log Interpretation*. Developments in Petroleum Science.
- Schlumberger (1998). *Cased Hole Log Interpretation Principles/Applications*. Schlumberger Wireline and Testing.
- Shen, B., Wu, D., & Wang, Z. (2017). A new method for permeability estimation from conventional well logs in glutenite reservoirs. *J. Geophys.*, 14, 1268–1274.
- Son, P. X., Qu, H. V., & Nhan, D. D. (2006). Basroc 3.0 – A special software for processing wireline log in fractured basement. Science and Technics Publishing House, p. 459–467.
- Tiab, D., & Donaldson, E. C. (2004). *Petrophysics Theory and Practice of Measuring of Reservoir Rocks*. 2nd Edition, Gulf Professional Publishing.
- Vyzhva, S., Bezrodna, I., & Tkachenko, O. (2019). The structure of void space of complex structured Bashkir carbonate reservoir rocks from the Opishnianske deposit of the DDD. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41(3), 189–202 [in Ukrainian].
- Vyzhva, S. A., & Bezrodna, I. M. (2016). Determination of the void space structure of complex rocks using the petroacoustic studies data from the Semyrenkivska area. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 74, 11–17 [in Ukrainian].
- Worthington, D. F. (2004). Improved quantification of fit for purpose saturation exponents, *SPE Reservoir Eval.*, 7, 270.
- Yemets, V. Y., & Bezrodna, I. M. (2023). Evaluation of the void space structure and reservoir properties of rocks in the visevian and turnaisian formations of the Berezivske field of the Dnipro-Donetsk depression. *Materials of the XVII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Hazards and State of the Environment"*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520034>

Отримано редакцією журналу / Received: 10.10.23

Прорецензовано / Revised: 01.03.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Vladyslav YEMETS, PhD Student
ORCID ID: 0009-0007-0631-3488
e-mail: vlad.yemets97@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Iryna BEZRODNA, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-6835-5276
e-mail: bezin3@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

DETERMINATION OF THE EFFECTIVE POROSITY OF ROCK RESERVOIRS BASED ON THE VOID SPACE STRUCTURE IN THE VISEVIAN AND TURNAISIAN FORMATIONS OF THE BEREZIVSKE FIELD OF THE DNIPRO-DONETSK DEPRESSION

Background. Currently, it is quite important to track the patterns of the internal structure of reservoirs with their physical properties. The analysis of well-logging data in the well 203 of the Berezivske field of the Dnipro-Donetsk depression is necessary to assess the prospectivity of complexly structured reservoirs.

Methods. The methodology for studying the void space structure in complexly structured reservoirs involved several stages: interpretation of well logging data; determination of parameters for the initial mathematical model of the reservoir; inversion of data from acoustic surveys into a curve of the distribution of different void formats; evaluation of reservoir rock types with determination of their effective porosity.

Results. Based on the data of compressional and shear wave velocities, as well as density, three distinct rock groups were identified: compacted sandstone, calcareous sandstone and limestone. The initial approximation was obtained for each rock sample, including the set of void formats and their concentration within the reservoir layers. Direct analysis of the resulting data by the authors revealed that the most optimal void formats for the investigated intervals are: for intergranular voids – 0.07 to 0.9; for transitional voids and microcracks – 0.05 to 0.077; for microcracks – 0.007 to 0.0019; for caverns – 4 to 8. Based on the research results, it has been established that granular-cavernous porosity (39,2 %) and fractured-cavernous-granular porosity (29,5 %) are prevailing types of reservoirs.

Conclusions. The calculated values of the void formats were used for these formations to quantitatively assess effective porosity based on the obtained data and specific electrical resistivity values at different depths of investigation. The resulting approximation of $\alpha = 0.6996$ was selected, which reduced the error in calculating the effective porosity of reservoir rocks. The obtained results have demonstrated that the proposed methodologies are essential for understanding and quantitatively assessing the void space structure and filtration-capacitive properties of reservoir rocks, particularly when we are facing with a limited well logging data and restrictive core sampling.

Keywords: void space structure, effective porosity, well-logging data, reservoir rocks.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

УДК 550.3

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.03>

Людмила ШУМЛЯНСЬКА, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

ORCID ID: 0000-0003-0234-7916

e-mail: lashum@ukr.net

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

Петро ПІГУЛЕВСЬКИЙ, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.

ORCID ID: 0000-0001-6163-4486

e-mail: pigulev@ua.fm

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

ПОБУДОВА ТА ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ЩІЛЬНОСТІ МАНТІЇ ПІД УКРАЇНСЬКИМ ЩИТОМ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.В. Шабатурою)

Вступ. Моделі густини мантиї є ключовими інструментами для розуміння фундаментальних геологічних і фізичних процесів, які відбуваються всередині Землі. Багато параметрів, які використовуються в моделях густини мантиї, залишаються недостатньо зрозумілими та невизначеними. Серед інших до них належать дані про склад та реологію мантиї, які можуть значно варіюватися. Значний вплив на кінцевий результат має спосіб створення моделей щільності (густини).

Методи. Моделювання за допомогою одновимірних моделей спрощує процес обчислення, натомість узагальнює розподіл густини мантиї, припускаючи, що він є однорідним у горизонтальному напрямку. Це обмеження не дозволяє враховувати латеральні варіації густини мантиї, які можуть бути важливими на регіональному рівні. Тривимірні моделі є більш складними і вимагають великої кількості даних, які здебільшого "важко" доступні. Крім того, тривимірне моделювання вимагає великого об'єму обчислювальних ресурсів, тому їх використання може бути обмеженим.

Результати. У цьому дослідженні представлено квазітривимірну модель густини мантиї під Українським щитом, отриману на основі набору одновимірних кривих густини, при розрахунках яких були внесені поліноміальні поправки за неоднорідність, які компенсують недоліки обрахунку одновимірних моделей. Ця тривимірна модель отримана в результаті перерахунку одновимірних кривих швидкості, одержаних сейсмотомографічним методом по Р-хвилям, розрахованим для 21 мантийного домену в діапазоні глибин від 50 до 2600 км. Процес перетворення кривих швидкості Р-хвиль у модель густини включає такі етапи: визначення сейсмічних меж у мантиї як точок перегину першої похідної кривих швидкості Р-хвиль для кожного мантийного домену; створення синтетичної моделі мантиї S-хвиль під Українським щитом шляхом перерахунку кривих швидкості Р-хвиль; вирішення рівняння Адамса–Уільямсона з використанням сейсмічних швидкостей (P,S) для кожного домену з подальшою поліноміальною корекцією для врахування гетерогенності; вибір еталонної моделі мантиї, яка була б основою для перерахунку швидкісних кривих у густину, через порівняння гравітаційного потенціалу на поверхні Землі та розрахованих від існуючих референтних моделей мантиї (PREM, PREMA, PREM3, IASP91 AK135). Як еталонну було вибрано модель AK135 за результатами порівняння обчисленого та спостереженого гравітаційного потенціалу в центральній точці Українського щита.

Висновки. У цьому дослідженні акцентується увага на заключних етапах конструювання моделі густини мантиї, враховуючи: збалансування маси верхньої та нижньої мантиї для кожного домену при визначенні густини з використанням рівняння Адамса–Уільямсона та введення поліноміальних корекцій відносно еталонної моделі AK135; розрахунок густин для кожного з 21 мантийного домену та їх тривимірна інтеграція. Отримана модель густини мантиї Українського щита добре узгоджується з поділом мантиї на три основні шари: літосферу, верхню мантию та нижню мантию. Кожен зі структурних шарів має свій візуальний патерн гетерогенності густини.

Ключові слова: густина, мантия, Український щит.

Вступ

Наукова новизна. На основі трансформації одновимірних сейсмотомографічних моделей для 21 домену мантиї Українського щита шляхом застосування поліноміальних поправок для обраної як оптимальної референтної моделі AK135 (Pigulevskiy, & Shumlianska, 2022), були отримані криві розподілу щільності (густини) для 21 домену мантиї. На їх основі було побудовано 3D-модель, яка дала змогу зробити першу реконструкцію густинної будови мантиї під Українським щитом (від 50 до 2600 км). Результати показують, що мантия під щитом має варіативну щільність та шарувату структуру із змінними по глибині та латералі аномаліями, морфологія яких має кореляцію з тектонічними одиницями (масштабу мегаблоку щита, шовними зонами).

З кінця минулого століття наукові дослідження мантиї значно покращили наше розуміння внутрішньої структури Землі. Сучасні моделі ґрунтуються на сейсмічних томографічних даних, які використовуються для створення глобальних карт сейсмічної томографії. Ці карти відображають сейсмічну гетерогенність у мантиї Землі на різних глибинах (Ritsema et al., 2011).

Водночас питання побудови 3D-мірної моделі мантиї досі залишається актуальним. Також залишається невизначеність щодо питання, чи можна використовувати

єдину одновимірну еталонну модель Землі для реконструкції структури мантиї під континентами, океанами, платформами та іншими геотектонічними структурами. Яку модель слід вибрати для реконструкції різних регіонів, наприклад мантиї під Українським щитом?

Геофізикам також доводиться вирішувати питання, пов'язані з кулястістю Землі (Старостенко, & Манукян, 1983). Це включає вибір посередньої структури та визначення рівня деталізації моделі (Пігулевський, & Свистун, 2014), врахування швидкісної анізотропії (Kern, & Tuba, 1993), використання загальних і послідовних даних Р- та S-хвиль (Шумлянська, Дубовенко, & Пігулевський, 2021) та перерахунок сейсмологічних даних у модель густини Землі (Mooney, & Kaban, 2010).

Ці питання, які стосуються густини мантиї, активно вивчаються, зокрема проводиться активне дослідження структури мантиї під Українським щитом.

Загалом виділяються два напрями розв'язання проблем визначення густини мантиї. Перший – це моделювання розподілу густини на глибину, отриману на геологічній поверхні (Толстой та ін., 2003) з використанням різних уявлень (гіпотез) про будову Землі як планети або отриманих за сейсмічними даними (Ringwood, 1975; Про можливість ..., 1993), та зіставлення отриманих результатів з гравітаційним полем або гравітаційною

енергією (Marchenko, 1999), або моментом інерції (Чуйкова, & Максимова, 2010). При цьому функції розподілу задаються у вигляді вхідних даних, наприклад, на основі лише радіального поділу густини у вигляді її неперервних та кусково-неперервних моделей: Лежандра-Лапласа, Роша, Булларда і Гаусса (Marchenko, 2000).

Другий напрям – це моделювання густини мантії, виходячи з результатів досліджень залежності тиску, сейсмічних швидкостей, густини в лабораторних умовах (Волярович, 1977; Семенов, 1978, 1983), у результаті яких було отримано лінійну залежність швидкості від густини:

$$V = a + b\sigma,$$

де σ – густина, a і b – коефіцієнти, що становлять функціональні залежності від атомної ваги речовини.

Для швидкостей об'ємних хвиль експериментальні співвідношення з густиною аналогічні:

$$V_p = a_p + b_p\sigma; V_s = a_s + b_s\sigma.$$

Ці емпіричні залежності стали основою багатьох досліджень густини, не тільки для земної кори, а також і для мантії.

Одним з перших оцінку коефіцієнтів a та b в кореляційній залежності швидкості від щільності для земної кори та верхньої мантії Українського щита виконав С.С. Красовський (1981). Комбіновану градієнтно-шарувату модель середовища для південно-східної частини УЩ було створено виходячи зі наявних даних про збільшення швидкості пружних хвиль залежно від підвищення основності та ступеня метаморфізму порід (Пігулевський, & Свистун, 2014).

Також різні коефіцієнти a і b були визначені для різних "поверхів" моделі літосфери Центральної і Східної Європи в межах Східноєвропейської платформи (Соллогуб, Чекунов, & Гарецький, 1989).

Подібну ідеологію було використано для знаходження поліноміальних поправок в інтервалах глибин, визначених по сейсмологічних межах, що є додатками до густини мантії, отриманої при розв'язанні рівняння Адамса-Уільямсона, а саме (Шумлянська, & Пігулевський, 2022):

$$\sigma(V_p, V_s) = \sigma_{A-W} + k,$$

де σ_{A-W} – густина, знайдена за рівнянням Адамса-Уільямсона; k – поліноміальна поправка, $k = a + b(z)$, де a та b – коефіцієнти лінійної функції, яка є різницею двох поліномів – між поліномом, що описує розподіл густини з глибиною, отриманим за розв'язком рівняння Адамса-Уільямсона, яке призводить до однорідного розподілу густини, як наслідок накладених обмежень на рівняння (Захаров та ін., 2016), та поліномом, що описує розподіл густини в мантії, відповідно до однієї з референтних моделей мантії (*PREM*, *PREMA*, *PREMC*, *IASP91* *AK135*) в кожному інтервалі глибини, що знаходиться між сейсмічними межами, знайденими за точками перегину першої похідної кривої швидкості $v_p(z)$ (Shumlianska, Dubovenko, & Pigulevskiy, 2020); z – глибина, км.

У цьому дослідженні розглянуто такі питання: збалансування отриманої моделі з масами верхньої та нижньої мантії відповідно до еталонної моделі *AK135*. Попередні результати геолого-тектонічної інтерпретації отриманої моделі густини верхньої і нижньої мантії.

Відомо, що найтісніший зв'язок з речовинним складом Землі має густина. Тому питання, пов'язані з перерахунком даних сейсмічної томографії в моделі густини верхньої і нижньої мантії (Усенко, 2014) є важливим кроком для подальшого моделювання внутрішньої будови Землі.

Мета. Перерахунок синтетичної *P*- і *S*-швидкісної тривимірної моделі мантії під Українським щитом у значення густини шляхом внесення поліноміальних

поправок на неоднорідність до одновимірних кривих густини, отриманих при розв'язанні рівняння Адамса-Уільямсона. Збалансування отриманої моделі з масами верхньої та нижньої мантії на основі вибраної як еталонної моделі *AK135*. Візуалізація отриманих значень густини у вертикальні та горизонтальні розрізи мантії під Українським щитом.

Вихідні дані. Проблеми та розв'язок поставленої задачі впливають здебільшого з вихідних даних. Наші вхідні дані – це сейсмотомографічна *P*-швидкісна модель для мантії під Українським щитом (Шумлянська, Трипільський, & Цветкова, 2014), побудована з урахуванням значень потужності земної кори щита та швидкості сейсмічних коливань, отриманих за даними ГСЗ (Соллогуб, 1982; Трипільський та ін., 1988, 2004). Цю модель створено з використанням кінематичного методу на основі розв'язання сейсмічного завдання шляхом розкладання функції повільності в ряд Тейлора (Геуко, 2004). Розв'язання задачі сейсмічної томографії, одержане за допомогою цього методу, є точною нижньою гранню щодо розв'язання класичним методом лінеаризації і містить менше обмежень на функцію швидкості. Метод не залежить від вибору початкового наближення (одновимірної референтної моделі), коректний за Тихоновим. Сама модель є набором одновимірних кривих $v_p(z)$, які характеризують певний обсяг геофізичного середовища, домену, розмір якого залежить від вікна вибірки перших часів приходу *P*-фази сейсмічної хвилі у форматі середньої точки. Інверсія годографа дає рішення $v_p(z)$ як гладкої, спадної функції, при цьому вважається, що всередині хвильоводу (якщо він є) функція швидкості постійна і розраховується, виходячи із значень швидкості на верхній та нижній межі хвильоводу. Таке уявлення функції швидкості $v_p(z)$, як гладкої і спадної, несе інформацію про сейсмічні границі в неявному вигляді. Тому сейсмічні границі можливо визначити за перегинами першої похідної $v_p(z)$ (Pigulevskiy et al., 2019; Dubovenko et al., 2021).

Головна перешкода для використання даної швидкісної моделі мантії для перерахунку в густину і, однаково, інші фізичні параметри, такі як температура, в'язкість та ін. – це наявність швидкостей лише поздовжніх хвиль. Метод перерахунку *P*-швидкісної моделі далі в *S*-швидкісну запропоновано (Шумлянська та др., 2021). При використанні середньоарифметичного значення v_p/v_s від п'яти референтних сейсмологічних моделей, вихідна синтетична *S*-швидкісна модель має прийнятні відхилення, які можна порівняти з роздільною здатністю методу їх отримання, а саме кінематичного методу Тейлорового наближення при розв'язанні сейсмічної задачі. Як показують результати визначення похибок швидкостей, при похибках визначення уявної швидкості максимальної глибини занурення рефрагованого променя = 6; 7; 8 км, обчислені похибки швидкостей мають той самий порядок, що і відхилення ($v_s - v_{s1}$) для одновимірних референтних моделей (v_s – значення швидкості за літературними джерелами для референтних моделей мантії, v_{s1} – значення швидкості шляхом перерахунку цих моделей) і значно менше похибки $\pm 0,1$ км/с, яка досягається іншими сейсмічними методами. Тобто синтетична *S*-швидкісна модель, отримана в результаті перерахунку *P*-швидкісної моделі, має властивість співрозмірності з вихідною моделлю, що дає переваги в точності у подальшому спільному використанні двох колінеарних моделей (*P*, *S*) та подальших перетвореннях у петрофізичні (фізико-літологічні) моделі мантії.

Методика побудови одновимірної моделі густини мантії

Методика перерахунку складається з кількох етапів:

- визначення сейсмічних границь по перегибах P -швидкісних кривих сейсмотомографічної моделі (Pigulevskiy et al., 2019; Shumlianska, Dubovenko, & Pigulevskiy, 2020);
- розрахунок синтетичної S -швидкісної моделі, шляхом перерахунку P -швидкісної моделі, яка має властивість співрозмірності (пропорційності) з вихідною моделлю, що дає переваги в точності у подальшому сумісному використанні двох колінеарних моделей (P , S) при перетворенні на петрогустинні моделі мантії (Шумлянська, Дубовенко, & Пігулевський, 2021);
- розрахунок одновимірних кривих густини шляхом розв'язання рівняння Адамса-Уільямсона, де вхідні дані є значення P - та S -швидкостей для кожного

домену мантії під Українським щитом (Шумлянська, & Пігулевський, 2022);

- трансформації отриманих кривих густини, які є одновимірними, однорідними моделями різних доменів мантії з використанням поліноміальних поправок відповідно до обраної як оптимальної (еталонної) для Українського щита референтної моделі AK135 (Pigulevskiy, & Shumlianska, 2022).

Рівняння Адамса-Уільямсона вимагає першого кроку ітерації із заданим параметром щільності σ_0 . Початкову щільність було взято з літературних джерел (Kurlov et al., 2011; Svistun, & Pigulevskiy, 2021; Азаров та ін., 2006; Анциферов та ін., 2008; 2009) на рівні 50 км (табл. 1).

Пройшовши всі описані етапи, можна перейти безпосередньо до завдання розрахунку тривимірної моделі щільності мантії під Українським щитом, але тільки після етапу збалансування отриманої моделі з масами верхньої та нижньої мантії відповідно до еталонної моделі AK135.

Таблиця 1

Значення щільності σ_0 , г/см³, початкові значення рівняння Адамса-Уільямсона

Latitude	Longitude	σ_0 , г/см ³ на 50 km
27	49	3,36
28,25	50	3,323
28,25	51	3,323
28,25	51,25	3,32
28,25	49	3,32
28,25	50,5	3,324
29,25	48,5	3,319
29,25	49,5	3,324
30,5	49	3,265
31,5	48,5	3,24
31,5	49,5	3,185
32,5	49	3,16
32,5	48	3,326
33,5	48,5	3,343
33,5	49	3,384
34,5	49	3,263
35,5	47,75	3,355
36,5	47,75	3,343
37,5	47,75	3,3
38,5	47,75	3,42

Збалансування мас. Розраховані значення густини були перераховані в масу верхньої та нижньої мантії та перевірені на відповідність до мас еталонної моделі AK135. Таким чином, отримана густина за рівнянням Адамса-Уільямсона при введенні поліноміальних поправок була збалансована відповідно еталонної референтної моделі AK135. Поправки вносились як середнє арифметичне окремо для верхньої та нижньої мантії. Формула для розрахунку маси – система рівнянь (Літнарів, 2007):

$$\begin{cases} \rho(r - \Delta r) = \rho(r) - \Delta\rho = \rho(r) + G \frac{\rho(r)m(r)\Delta r}{Fr^2} \\ m(r - \Delta r) = m(r) - \Delta m = m(r) - 4\pi\rho(r)r^2\Delta r \end{cases}$$

Поправки розраховувались для кожного домену. На рис. 1 показано, як змінюється крива густини, розрахована за рівнянням Адамса-Уільямсона (червона лінія), після введення поліноміальних поправок (сіра лінія), після введення поправок на масу (синя лінія) на прикладі домену верхньої мантії з координатами центра 31.5E; 48.5N. Ми змогли зберегти індивідуальні особливості початкових кривих P -швидкості, зберігаючи баланс мас відповідно до еталонної моделі AK135.

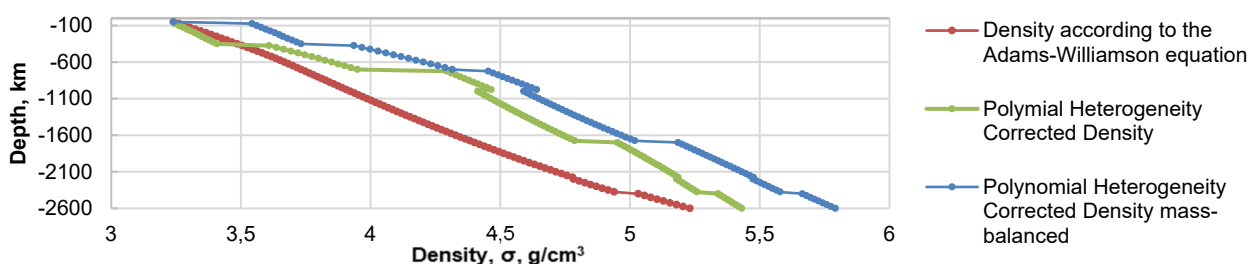


Рис. 1. Приклад введення поправки на масу для кривої густини домену мантії з координатами центральної точки 31.5E; 48.5N.

Червона лінія – крива густини, розрахована за рівнянням Адамса-Уільямсона; сіра лінія – після введення поліноміальних поправок; синя лінія – після введення поправок на масу

Результати

Кінцевий результат перерахунку являє собою набір одновимірних кривих густини для 21 домену мантиї (рис. 2) під УЩ в інтервалі 50–2600 км, отриманих після розв'язання рівняння Адамса–Уільямсона, внесення

поліноміальних поправок (поправка на неоднорідність), з урахуванням поправок на масу.

Вертикальні розрізи густини вздовж профілів AA1, BB1, CC1, DD1, EE1 показано на рис. 3.

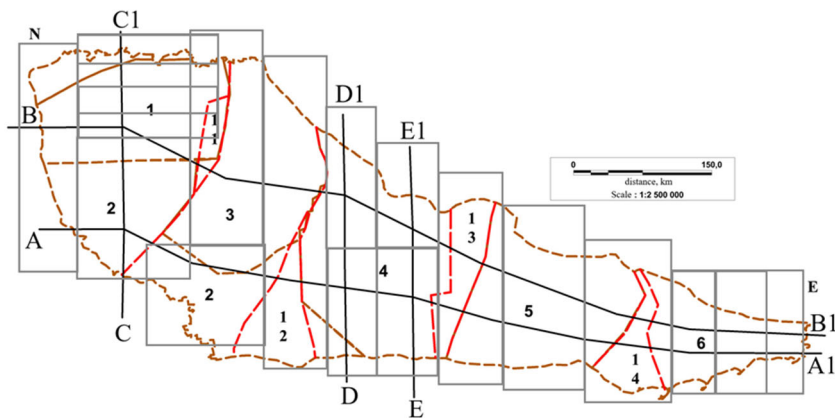


Рис. 2. Розташування профілів AA1, BB1, CC1, DD1, EE1. Сірі квадрати – домени під Українським щитом.

Червоні лінії – тектонічний поділ Українського щита (Круглов та ін., 2007).

Мегаблоки: 1 – Волинський; 2 – Дністровсько-Бузький; 3 – Росинсько-Тикицький; 4 – Ігульський; 5 – Середньопридніпровський; 6 – Приазовський.

Шовні зони: 11 – Немирівсько-Кочерівська; 21 – Голованівська; 31 – Ігулецько-Криворізька; 41 – Оріхівсько-Павлоградська

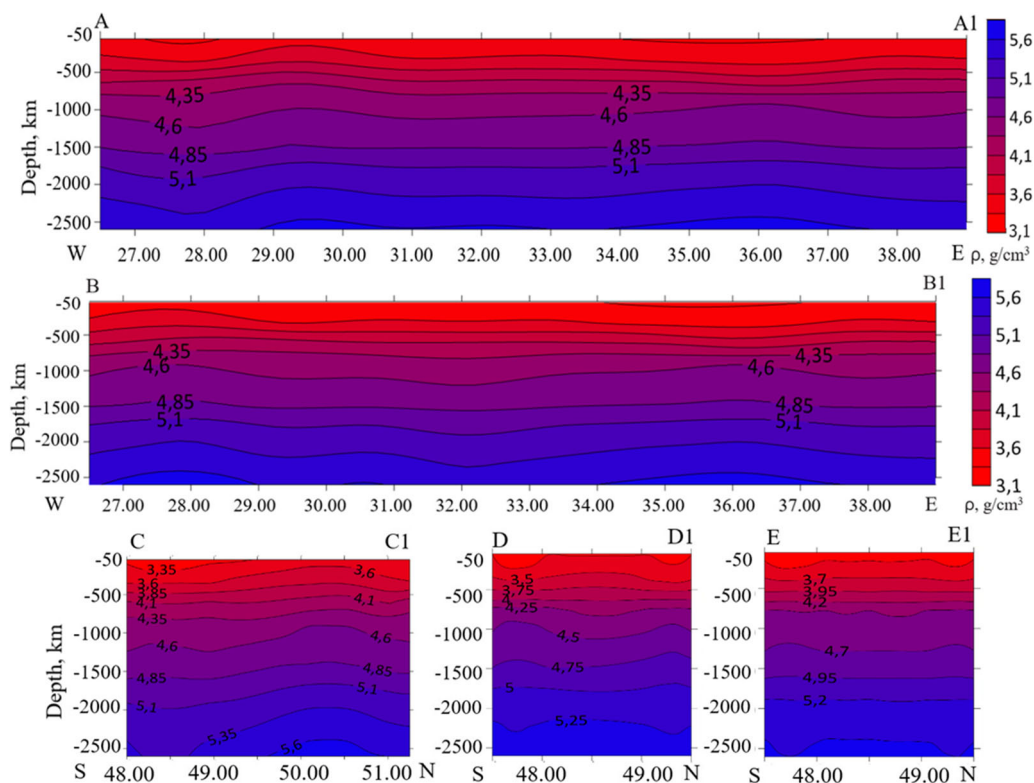


Рис. 3. Вертикальні розрізи густини мантиї під УЩ, г/см³. Розташування профілів див. рис. 2

Як показано на вертикальних розрізах густини (рис. 3), найбільший градієнт нарощування густини відзначається в інтервалі 250 ± 50 км, що відповідає горизонтам, які розташовані між підшоєю літосфери і покрівлею нижньої мантиї. Це дає змогу припустити, що зміни густини відповідають змінам літологічного складу та РТ-умов, що знаходяться в цьому горизонті.

Розглянемо характер густинних неоднорідностей по латералі. За результатами розрахунків горизонтальні перерізи пораховані від 50 до 2600 км з інтервалом

25 км, але для статті було вибрано деякі з них (рис. 4). Результати більш поглибленої тектонічної інтерпретації отриманих даних про розподіл густини мантиї в інтервалі 50–2600 км під УЩ передбачається опублікувати у подальших роботах. Тут ми відзначимо лише основні риси. Незважаючи на пряму залежність у розв'язанні рівняння Адамса–Уільямсона від початково заданих значень щільності першої ітерації, нам вдалося зберегти геометрію первинних кривих швидкості під час наступних перетворень, описаних у розділі, присвяченому методиці

перерахунку P -швидкісної моделі в густину. Якщо в цілому зупинитися на загальній характеристиці аномалій густини, видно, що їх розподіл за структурним планом проходить під Голованівською, Оріхівсько-Павлоградською шовними зонами, Кіровоградським мантійним розломом і виділяє мантію під центральною частиною щита в окрему зону (рис. 4).

Загалом зауважимо, що починаючи з глибини 75 км аномалії густини показують значну варіабельність у геометрії, що відображає неоднорідність геологічного середовища під різними тектонічними одиницями УЩ. Аномалії на 75–200 км (рис. 4) відповідають загальному геоструктурному плану УЩ, що "розривається" великою субмеридіональною зоною у його центральній частині з перепадом густини від 3,2 до 3,6 г/см³. До центральної частини цієї зони приурочений трансрегіональний

тектонічний шов (Кіровоградський мантійний розлом), який добре корелює на зрізах 150–200 км з глибинами підшови літосфери, виділеної за тепловими аномаліями (Гінтов, & Пашкевич, 2010), а також з глибинними неоднорідностями мантії, виділеними за даними комплексу фізичних полів та сейсмічних досліджень, проведених на УЩ (Байсарович та ін., 2005). На протязі усіх інтервалів глибин зона представлена породами з меншою щільністю щодо тих, що межують з нею із заходу і сходу. На зрізі 50 км розуцільнені породи (3,20–3,30 г/см³) поширюються у північному напрямку, що відповідає загальному плану простягання Інгільського мегаблоку. Однак, починаючи з глибини 75 км і до низів верхньої мантії (зріз 500 км), спостерігається зворотна картина, де зона з пониженою густиною має південний напрямок простягання.

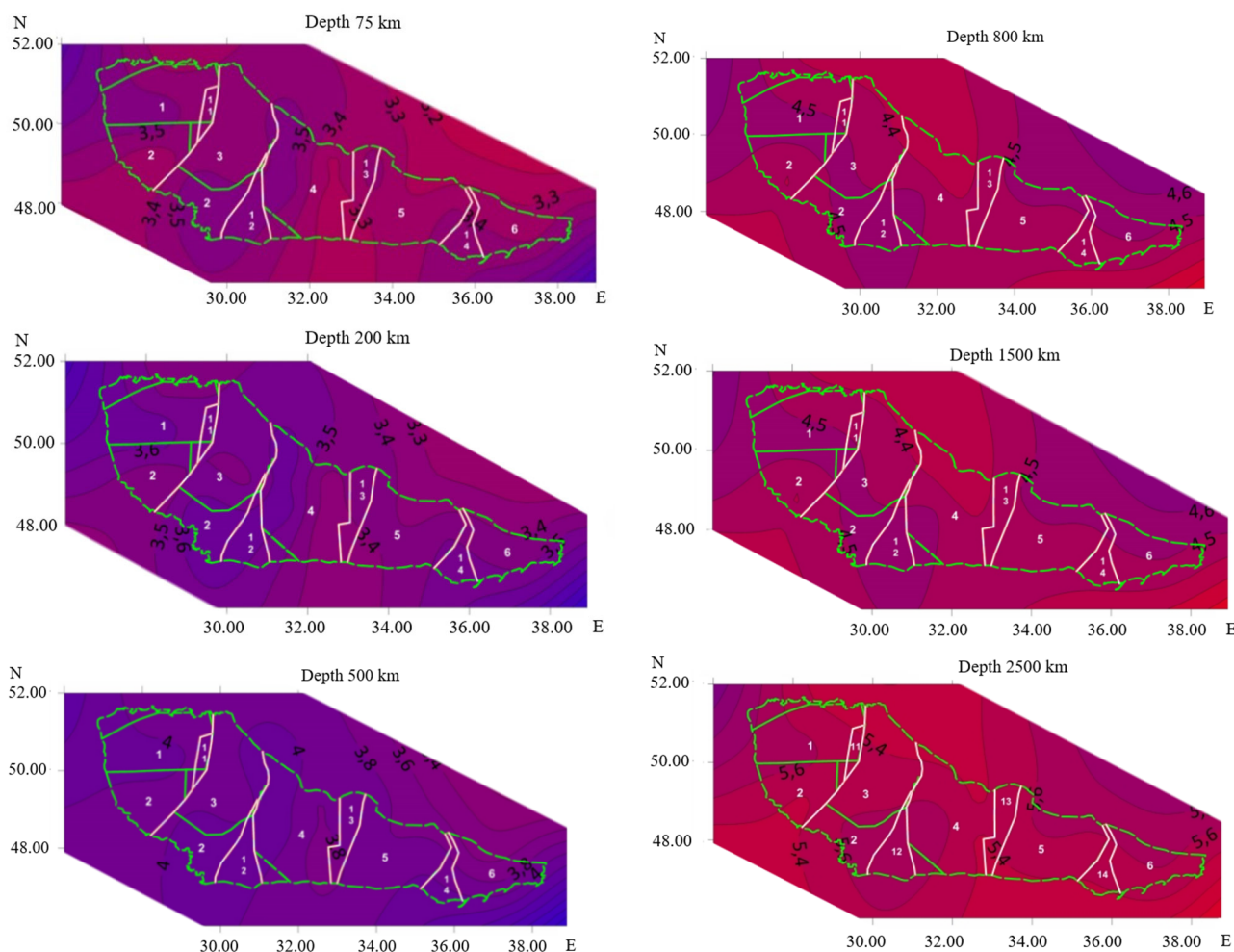


Рис. 4. Горизонтальні зрізи густини мантії під УЩ, г/см³. Умовні позначення див. рис. 2

Загальними рисами мегаблоків і шовних зон, позначених на рис. 4, є присутність характерних формацій, яких немає (або їх розвиток обмежений) у суміжних мегаблоках. Кожен із мегаблоків індивідуальний за своєю внутрішньою будовою та складом структурно-речових комплексів, але для всіх мегаблоків, за винятком Овруцької западини на північному заході УЩ, типовою є "глибинна" складчастість. Усі мегаблоки включають архейські структурно-речові комплекси, які більшою чи меншою мірою зазнали перетворення у протерозой. Водночас на схід від Криворізько-Кременчуцького розлому у складі кори мегаблоків переважає архейська матриця, а на захід від

нього – протерозойська. Загалом мегаблоки можна розділити на дві групи, приблизно рівні за площею поширення: граніт-зеленокам'яні та гранітогнейсові. Перші складають всю східну третину щита (Середньопридніпровський та Приазовський мегаблоки); на заході до цієї групи досить умовно віднесено лише Білоцерківсько-Середньобузький мегаблок, у межах якого, за нашими розрахунками, щільність літосфери на 0,1–0,15 г/см³ нижча, ніж під першими двома, що може вказувати на те, що архейські структурно-речові комплекси, вірогідно, в літосфері більшою мірою зазнали перетворення у протерозой, чим його фіксують за даними буріння.

За результатами комплексних геофізичних досліджень було показано різну будову літосфери з глибиною (Соллогуб, Чекунов, & Гарецький, 1989). У літосфері УЩ було виділено загалом кілька структурних планів, ешелонованих за глибиною. Вони сформувалися в різний час, у різних геодинамічних умовах і часто не узгоджуються між собою. У структурі поверхні Мохоровичича (М) досить добре відбиті шовні зони щита, у яких кора потовщена до 50–60 км, але при цьому середня потужність кори мегаблоків близька до 40 км. Лише між Волино-Подільським та Білоцерківсько-Середньобузьким мегаблоками сутурна зона не відображена у поверхні М. Можливо, це результат більшої товщини кори північно-західної частини УЩ (західніше Інгільського мегаблоку) взагалі. Тут середня потужність кори наближається до 45 км, а в межах Поліського вулканоплутонічного та Бузько-Подільського гранулітового поясу досягає 50–60 км, що є типовою для сутурних зон східної частини УЩ. Збільшення товщини кори у шовних зонах та Поліському поясі задовільно пояснюється колізійними обставинами, які супроводжувалися частковим підсувом кори суміжних мікрокондіментів та підвищенням їх щільності по колізійних швах.

Нижче від розглянутого літосферного шару розташована основна частина верхньої мантії, зрізи на глибині 500 та 600 км. На цих глибинах субмеридіональна диференціація УЩ стає менш контрастною, що може бути пов'язано з РТ-умовами, які нівелюють щільнісні латеральні особливості. Переходячи в нижню мантію, починаючи з глибини 800 км і нижче, структурний план аномалій густини змінює своє простягання на північно-західне у західній частині щита, або відсутнє – у східній (рис. 4).

Дискусія і висновки

У статті представлено 3D-модель щільності мантії під УЩ. Модель густини булл отриман шляхом перерахунку Р-швидкісної сейсмічної томографічної моделі мантії. Швидкісна модель представлена набором з 21 одновимірної кривої швидкості. Кожна Р-крива швидкості має індивідуальні особливості, зберігаючи в цілому шарувату структуру.

Всього в мантії виділено три шари – літосфера, верхня і нижня мантії, кожен з яких істотно відрізняється за розподілом щільності. Аналіз 3D-моделі щільності мантії під Українським щитом показує кореляцію аномалій щільності з глибинними неоднорідностями мантії, виявленими за результатами комплексного аналізу потенціальних фізичних полів, глибинних сейсмічних досліджень та теплового потоку.

Геолого-тектонічна будова Українського щита відображена в аномаліях щільності літосфери. Мегаблоки щита мають нижчу густину літосфери, ніж шовні зони, що їх розділяють. Простежуються повторюваності патерну аномалій підвищеного теплового потоку та аномалій низької щільності, що відображає вплив температури на густину гірських порід, принаймні в літосфері. Зв'язок між тектонічною структурою земної кори та аномаліями щільності літосфери простежується до глибини 200–250 км, а потім вони зникають на глибині ≈ 500 км, демонструючи вплив літосфери як більш холодного шару на властивості гірських порід верхнього шару мантії. На цих глибинах субмеридіональна диференціація щита стає менш контрастною. Водночас у нижній мантії структурний план аномалій густини змінює своє простягання на північно-західне у західній частині УЩ, і не простежується – у східній, що може бути пов'язано з високими значеннями температури та тиску.

Підсумовуючи, слід зазначити, що перші результати побудови (квазі) тривимірної щільнісної моделі мантії під

Українським щитом показують доцільність та необхідність продовження цих досліджень для отримання комплексної моделі її будови та петрофізичних особливостей, що впливають на формування земної кори та корисних копалин.

Внесок авторів: Людмила Шумлянська – концептуалізація, методологія, програмне забезпечення, формальний аналіз, валідація даних, написання (оригінальна чернетка); Петро Пігулевський – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, валідація даних, написання (оригінальна чернетка).

Список використаних джерел

- Азаров, Н. Я., Анциферов, А. В., Шеремет, Е. М., & Глевасский, Е. Б. та ін. (2005). *Геолого-геоелектрична модель Оріхово-Павлоградської шовної зони Українського щита*. Наукова думка.
- Азаров, Н. Я., Анциферов, А. В., Шеремет, Е. М., & Глевасский, Е. Б. (2006). *Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита*. Наукова думка.
- Анциферов, А. В., Шеремет, Е. М., Глевасский, Е. Б., Кулик, С. М., & Есипчук, К. Ю. (2008). *Геолого-геофизическая модель Головановской шовной зоны Украинского щита*. Вебер.
- Анциферов, А. В., Шеремет, Е. М., Есипчук, К. Ю., & Анциферов, В. А. (2009). *Геолого-геофизическая модель Немировско-Кочеревской шовной зоны Украинского щита*. Вебер.
- Великанов В. Я., Гурский Д. С., Гожик П. Ф. та ін. (2006). *Літосфера України: Атлас*. ТОВ "Географіка".
- Воларович, М. П. (Ред.). (1977). *Изучение физических свойств минерального вещества Земли при высоких термодинамических параметрах*. Наукова думка.
- Гинтов, О. Б., & Пашкевич, И. К. (2010). Тектонофизический анализ и геодинамическая интерпретация трехмерной геофизической модели Украинского щита. *Геофизический журнал*, 2(32), 6–27.
- Красовский, С. С. (1981). *Отражение динамики земной коры континентального типа в гравитационном поле (гравитационное моделирование структур земной коры континентального типа)*. Наукова думка.
- Курлов, М. С., Шеремет, Е. М., Козарь, Н. А., & Гурский, Д. С. (2011). *Криворізька наглибока свердловина СГ-8*. Ноулідж.
- Літнарів, Р. М. (2007). *Фізика з основами геофізики*. МЕНУ.
- Пігулевський, П. І., & Свистун, В. К. (2014). *Особенности глубинного строения Приазовского геоблока Украинского щита (Анализ. Обобщение геолого-геофизических исследований. Геоплотностное моделирование)*. Ноулідж.
- Рингвуд, А. Е. (1981). *Склад та петрологія мантії Землі*. Надра.
- Семенов, Б. Г. (1983). Зависимость плотность – скорость с учетом термодинамических условий при построении модели плотности земной коры и верхней мантии. *Геология и геофизика*, 6, 90–99.
- Семенова, С. Г. (1978). *Співвідношення густини та швидкості поведовжніх хвиль для гірських порід земної кори та верхньої мантії. Методика та інтерпретація геофізичних досліджень*. Наукова думка, с. 3–10.
- Соллогуб, В. Б. (1982). Літосфера України. *Геофизический журнал*, 4(4), 3–25.
- Соллогуб, В. Б., Чекунов, А. В., Гарецький, Р. Г. та др. (1989). *Літосфера Центральної та Східної Європи: Восточно-Европейская платформа*. Наукова думка.
- Старостенко В. И., & Манукян А. Г. Решение прямой задачи гравиметрии на шарообразной Земле. *Физика Земли*, 12, 34–50.
- Толстой, М. І., Гасанов, Ю. Л., Костенко, Н. В., Гожик, А. П., & Шабатура, О. В. (2003). *Петрогеохімія і петрофізика гранітоїдів Українського щита та деякі аспекти їх практичного використання*. ВПЦ "Київський університет".
- Трипольский А. А., Гейко, В. С., Ливанова, Л. П., Трипольская, И. П., & Цветкова, Т. О. (1988). *Сейсмическая модель земной коры. Литосфера Центральной и Восточной Европы: Геотраверс IV. VI. VIII*. Наукова думка, с. 13–25.
- Трипольский А. А., & Шаров Н. В. Литосфера докембрийских щитов северного полушария Земли по сейсмическим данным. Карельский Центр РАН.
- Усенко, О. В. (2014). *Формування розплавів: геодинамічний процес та фізико-хімічні взаємодії*. Наукова думка.
- Чуйкова, Н. А., & Максимова, Т. Г. (2010). Плотностные неоднородности мантии и ядра Земли. *ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия*, 2, 67–74.
- Шумлянська, Л., Дубовенко, Ю., & Пігулевський, П. (2021). Про можливість створення синтетичної S-швидкісної моделі шляхом перерахунку Р-швидкісної моделі. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(95), 46–53.
- Шумлянська, Л., & Пігулевський, П. (2022). Застосування поліноміальних поправок для побудови оптимальної одновимірної моделі густини мантії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(97), 51–59.
- Шумлянська, Л. А., Трипольский А. А., & Цветкова, Т. О. (2014). Воздействие скоростной структуры земной коры на результаты сейсмической томографии Украинского щита. *Геофизический журнал*, 36(4), 95–111.

- Dubovenko, Yu. I., Shumlianska, L. A., Pigulevskiy, P. I. & Svystun, V. K. (2021). Refined mantle velocity model at Ukrainian Shield adjusted after Karato. *20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*, May 11–14 2021, Kyiv, Ukraine.
- Geyko, V. S. (2004). A general theory of the seismic travel-time tomography. *Geophysical journal*, 26(2), 3–32.
- Kern, H., & Tubia Jose, M. (1993). Pressure and temperature dependence of P- and S-wave velocities. seismic anisotropy and density of sheared rocks from the Sierra Alpujata massif (Ronda peridotites. Southern Spain). *Earth and Planetary Science Letters*, 119(1–2), 191–205.
- Marchenko, A. N. (1999). Earth's radial profiles based on Legendre-Laplas law. *Geodynamic*, 1(2), 1–7.
- Marchenko, A. N. (2000). Earth's radial density profiles based on causs'ard Roche's distributions. *Bolletina di Geodesia e Scienze Affini*, LIX(3), 201–220.
- Mooney, W. D., & Kaban, M. K. (2010). The North American upper mantle: Density. composition. and evolution. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 115(B12).
- Pigulevskiy, P. I., Shumlianska, L. A., Dubovenko, Yu. I., & Svystun, V. K. (2019). The mantle disruptions by P-waves velocity gradients analysis under East of Ukrainian Shield. *18th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*, May 13–16, 2019, Kyiv, Ukraine.
- Ritsema, J., Deuss, A., van Heijst, H.-J., & Woodhouse, J. H. (2011). S40RTS: a degree-40 shear-velocity model for the mantle from new Rayleigh wave dispersion. teleseismic traveltimes and normal-mode splitting function measurements. *Geophys. J. Int.*, 184, 1223–1236.
- Semenov, B. G. (1983). Density-velocity dependence and calculation of thermodynamic conditions when building a density model of the Earth's crust and upper mantle. *Geology and geophysics*, 6, 90–99 [in Russian].
- Semenova, S. G. (1978). *Correlation of density and velocity of longitudinal waves for rocks of the earth's crust and upper mantle. Methodology and interpretation of geophysical research*. Naukova dumka, p. 3–10 [in Ukrainian].
- Shumlianska, L., Dubovenko, Yu., & Pigulevskiy, P. (2020). 2.5 dimensional model of mantle heterogeneities under the Ukrainian shield according to the gradients of the velocities of seismic waves. *Journ. Geol. Geograph. Geocology*, 29(2), 431–441.
- Svystun, V., & Pigulevskiy, P. (2021). Gravimetric survey and gravimetric database in Ukraine "Dniprogeofizika" during 2000–2011 carried out works on collection, analysis and formation of an electronic gravimetric data base (GDB) of the territory of Ukraine. Based on the results of the work car. *20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*, May 11–14, 2021, Kyiv, Ukraine.
- ### References
- Antsiferov, A. V., Sheremet, E. M., Esipchuk, K. Yu., & Antsiferov, V. A. (2009). *Geological-geophysical model of the Nemirovska-Kocherivska suture zone of the Ukrainian shield*. Weber [in Russian].
- Antsiferov, A.V., Sheremet, E.M., Glevasskiy, E.B., Kulik, S.M., Esipchuk, K. Yu. (2008). *Geological and geophysical model of the Golovaniv suture zone of the Ukrainian shield*. Weber [in Russian].
- Azarov, N. Ya., Antsiferov, A. V., Sheremet, E. M., & Glevasskiy, E. B. et al. (2005). *Geological-geoelectric model of the Orichovo-Pavlograd suture zone of the Ukrainian shield*. Naukova dumka [in Ukrainian].
- Azarov, N. Ya., Antsiferov, A. V., Sheremet, E. M., & Glevasskiy, E. B. et al. (2006). *Geological-geophysical model of the Kryvorizh-Kremenchug suture zone of the Ukrainian shield*. Naukova dumka [in Ukrainian].
- Velikanov, V. Ya., Gurskiy, D. S., Gozhik, P. F. et al. (2006). *Lithosphere of Ukraine: Atlas*. "Geographyca" LLC [in Ukrainian].
- Chuikova, N. A., & Maksimova, T. G. (2010). Density inhomogeneities of Earth's mantle and core. *VMU. Series 3. Physics. Astronomy*, 2, 67–74 [in Russian].
- Dubovenko, Yu. I., Shumlianska, L. A., Pigulevskiy, P. I., & Svystun, V. K. (2021). Refined mantle velocity model at Ukrainian Shield adjusted after Karato. *20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*, May 11–14 2021, Kyiv, Ukraine.
- Geyko, V. S. (2004). A general theory of the seismic travel-time tomography. *Geophysical journal*. 26(2), 3–32.
- Gintov, O. B., & Pashkevich, I. K. (2010). Tectonophysical analysis and geodynamic interpretation of the three-dimensional geophysical model of the Ukrainian Shield. *Geophysical journal*, 2(32), 6–27 [in Russian].
- Kern, H., & Tubia Jose, M. (1993). Pressure and temperature dependence of P- and S-wave velocities. seismic anisotropy and density of sheared rocks from the Sierra Alpujata massif (Ronda peridotites. Southern Spain). *Earth and Planetary Science Letters*, 119(1–2), 191–205.
- Krasovsky, S. S. (1981). *Reflection of the dynamics of the continental crust in the gravitational field (Gravitational modeling of the structures of the continental crust)*. Naukova dumka [in Russian].
- Kurlov, M. S., Sheremet, E. M., Kozar, N. A., & Gurskiy, D. S. (2011). *Kryvorizhsk ultra-deep well SG-8*. Knowledge [in Ukrainian].
- Litnarovich, R. M. (2007). *Physics with bases of geophysics*. IEGU [in Ukrainian].
- Marchenko, A. N. (1999). Earth's radial profiles based on Legendre-Laplas law. *Geodynamic*, 1(2), 1–7.
- Marchenko, A. N. (2000). Earth's radial density profiles based on causs'ard Roche's distributions. *Bolletina di Geodesia e Scienze Affini*, LIX(3), 201–220.
- Mooney, W. D., & Kaban, M. K. (2010). The North American upper mantle: Density. composition. and evolution. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 115(B12).
- Pigulevskiy, P. I., Shumlianska, L. A., Dubovenko, Yu. I., & Svystun, V. K. (2019). The mantle disruptions by P-waves velocity gradients analysis under East of Ukrainian Shield. *18th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*, May 13–16, 2019, Kyiv, Ukraine.
- Pigulevskiy, P. I., & Svystun, V. K. (2014). *Features of the deep structure of the Azov Geoblock of the Ukrainian Shield (Analysis. generalization of geological and geophysical studies. geodensity modeling)*. Knowledge [in Russian].
- Ringwood, A. E. (1975). *Composition and petrology of the Earth's mantle*. McGraw-Hill.
- Ritsema, J., Deuss, A., van Heijst, H.-J., & Woodhouse, J. H. (2011). S40RTS: a degree-40 shear-velocity model for the mantle from new Rayleigh wave dispersion. teleseismic traveltimes and normal-mode splitting function measurements. *Geophys. J. Int.*, 184, 1223–1236.
- Semenov, B. G. (1983). Density-velocity dependence and calculation of thermodynamic conditions when building a density model of the Earth's crust and upper mantle. *Geology and geophysics*, 6, 90–99 [in Russian].
- Semenova, S. G. (1978). *Correlation of density and velocity of longitudinal waves for rocks of the earth's crust and upper mantle. Methodology and interpretation of geophysical research*. Naukova dumka, p. 3–10 [in Ukrainian].
- Shumlianska, L., Dubovenko, Yu., & Pigulevskiy, P. (2020). 2.5 dimensional model of mantle heterogeneities under the Ukrainian shield according to the gradients of the velocities of seismic waves. *Journ. Geol. Geograph. Geocology*, 29(2), 431–441.
- Shumlianska, L., Dubovenko, Yu., & Pigulevskiy, P. (2021). About the possibility of creating a synthetic S-speed model by recalculating the P-speed model. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(95), 46–53 [in Ukrainian].
- Shumlianska, L., & Pigulevskiy, P. (2022). Application of polynomial corrections to build an optimal one-dimensional model of mantle density. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(97), 51–59 [in Ukrainian].
- Shumlianska, L. O., Trypilskiy, O. O., & Tsvetkova, T. O. (2014). The influence of the velocity structure of the earth's crust on the results of seismic tomography of the Ukrainian shield. *Geophysical Journal*, 36(4), 95–117 [in Russian].
- Sollogub, V. B. (1982). The lithosphere of Ukraine. *Geophysical Journal*. 4(4), 3–25 [in Ukrainian].
- Sollogub, V. B., Chekunov, A. V., & Garetsky, R. G. (Eds.). (1989). *Lithosphere of Central and Eastern Europe: Eastern European platform*. Naukova dumka [in Russian].
- Starostenko, V. I., & Manukyan, A. H. (1983). Solution of the direct problem of gravimetry on a spherical Earth. *Physics of the Earth*, 12, 34–50 [in Russian].
- Svystun, V., & Pigulevskiy, P. (2021). Gravimetric survey and gravimetric database in Ukraine "Dniprogeofizika" during 2000–2011 carried out works on collection, analysis and formation of an electronic gravimetric data base (GDB) of the territory of Ukraine. Based on the results of the work car. *20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*, May 11–14, 2021, Kyiv, Ukraine.
- Tolstoy, M. I., Hasanov, Yu. L., Kostenko, N. V., Gozhik, A. P., & Shabaturo, O. V. (2003). *Petrogeochemistry and petrophysics of granitoids of the Ukrainian shield and some aspects of their practical use*. Kyiv University [in Ukrainian].
- Trypilskiy, O. O., Geiko, V. S., Livanova, L. P., Trypilska, I. P., & Tsvetkova, T. O. (1988). *Seismic model of the earth's crust. Lithosphere of Central and Eastern Europe: Geotransverse IV. VI. VIII*. Naukova dumka [in Russian].
- Trypilskiy, O. O., & Sharov, N. V. (2004). The lithosphere of the Precambrian shields of the Northern Hemisphere according to seismic data. Karelian Center of the Russian Academy of Sciences [in Russian].
- Usenko, O. V. (2014). *Formation of melts: geodynamic process and physical and chemical interactions*. Naukova dumka [in Ukrainian].
- Volarovych, M. P. (Ed.). (1977). *Study of the physical properties of the Earth's mineral matter at high thermodynamic parameters*. Naukova dumka [in Russian].

Отримано редакцією журналу / Received: 11.12.23

Прорецензовано / Revised: 15.04.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Liudmyla SHUMLIANSKA, PhD (Geol.), Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0003-0234-7916

e-mail: lashum@ukr.net

S. I. Subbotina Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Petro PIGULEVSKIY, DSc (Geol.), Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0001-6163-4486

e-mail: pigulev@ua.fm

S. I. Subbotina Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

CONSTRUCTION AND FIRST INTERPRETATION RESULTS OF THE THREE-DIMENSIONAL MANTLE DENSITY MODEL UNDER THE UKRAINIAN SHIELD

Background. Mantle density models are key tools for understanding fundamental geological and physical processes occurring within the Earth. Many parameters used in mantle density models remain poorly understood and undefined. Among others, these include data on the composition and rheology of the mantle, which can vary significantly.

Methods. The method of creating density models (density) significantly influences the final result. Modeling with one-dimensional models simplifies the calculation process but generalizes the distribution of mantle density, assuming it is homogeneous in the horizontal direction. This limitation does not allow for the consideration of lateral variations in mantle density, which can be important at the regional level. In this study, we present a quasi-three-dimensional model of mantle density beneath the Ukrainian Shield, obtained on the basis of a set of one-dimensional density curves. Polynomial corrections for heterogeneity were applied during the calculations, compensating for the shortcomings of one-dimensional models. This three-dimensional model was derived by recalculating one-dimensional velocity curves obtained by seismic tomography for 21 mantle domains in the depth range of 50 to 2600 km. The process of transforming P-wave velocity curves into a density model includes the following steps: determining seismic boundaries in the mantle as points of inflection of the first derivative of P-wave velocity curves for each mantle domain; creating a synthetic S-wave mantle model beneath the Ukrainian Shield by recalculating P-wave velocity curves; solving the Adams-Williamson equation using seismic velocities (P, S) for each domain with subsequent polynomial correction to account for heterogeneity; selecting a reference mantle model that would serve as the basis for converting velocity curves into density through the comparison of gravitational potential on the Earth's surface and calculated values from existing reference mantle models (PREM, PREMA, PREM6, IASP91 AK135). The AK135 model was chosen as the reference model based on the comparison of calculated and observed gravitational potential at the central point of the Ukrainian Shield. This study focuses on the final stages of constructing the mantle density model, taking into account mass balancing of the upper and lower mantle for each domain when determining density using the Adams-Williamson equation and introducing polynomial corrections relative to the AK135 reference model; calculating densities for each of the 21 mantle domains and their three-dimensional integration.

Results. In this study, we present a quasi-three-dimensional model of mantle density beneath the Ukrainian Shield, obtained on the basis of a set of one-dimensional density curves, with polynomial corrections for inhomogeneity incorporated into the calculations, compensating for the shortcomings of one-dimensional model calculations. This three-dimensional model was obtained by recalculating one-dimensional velocity curves obtained by the seismic tomography method for P-waves, calculated for 21 mantle domains in the depth range from 50 to 2600 km.

Conclusions. This study focuses on the final stages of constructing the mantle density model, considering balancing the mass of the upper and lower mantle for each domain in determining density using the Adams-Williamson equation and introducing polynomial corrections relative to the AK135 reference model; calculating densities for each of the 21 mantle domains and their three-dimensional integration. The obtained mantle density model of the Ukrainian Shield is well aligned with the division of the mantle into three main layers: lithosphere, upper mantle, and lower mantle. Each of the structural layers has its own visual pattern of density heterogeneity.

Keywords: density, mantle, Ukrainian shield.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

УДК 550.382.3

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.04>

Сергій ВИЖВА, д-р геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-4091-6649
e-mail: s.vyzhva@knu.ua

Сергій ПОПОВ¹, канд. геол. наук
ORCID ID: 0000-0002-3881-3723
e-mail: 814614@ukr.net

Ксенія БОНДАР¹, д-р геол. наук
ORCID ID: 0000-0002-4946-7707
e-mail: ks_bondar@ukr.net

Руслан ХОМЕНКО¹, канд. геол. наук
e-mail: sapphirelion1977@gmail.com

Антон ІВКО¹, студ.
e-mail: antonazivko@gmail.com

Юлія АНДРІЙЧУК¹, студ.
e-mail: andriychuk1@knu.ua

Богдан КРУГЛОВ¹, студ.
ORCID ID: 0000-0002-7899-2957
e-mail: bkr12@ukr.net

Олександр КРУГЛОВ², канд. геол. наук
ORCID ID: 0000-0003-2663-0935
e-mail: alex_kruglov@ukr.net

Євген ПОЛЯЧЕНКО³, канд. геол. наук
ORCID ID: 0000-0002-3316-4605
e-mail: poliachenkoib@gmail.com

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²ІНЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського", Харків, Україна

³Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ДЕТАЛЬНОЇ МАГНІТНОЇ ЗЙОМКИ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ НАФТОГАЗОВОЇ ГЕОЛОГІЇ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. дослідником О.І. Меньшовим)

Вступ. На сьогодні зацікавленість у вивченні локального аномального магнітного поля для вирішення завдань нафтогазової геології зростає, а можливості обладнання дають змогу значно збільшити швидкість, точність і детальність робіт. Відповідно до цього набуває актуальності розробка і випробування вдосконаленої методики детальної магнітної зйомки в русі.

Методи. Для ділянок зі слабкоградієнтним магнітним полем запропоновано проведення оцінки точності зйомки методом зіставлення карт, отриманих за повторними зйомками ділянки.

Результати. Здійснено наземну зйомку магнітного поля в русі ділянок загальною площею близько 20 км² у Зінківському районі Полтавської області. Міжпрофільна відстань становила близько 50 метрів, відстань між точками спостережень по профілю близько 1 метра. Така сітка спостережень дозволяє отримати карти, які значно відрізняються від карт, отриманих за звичайною густиною спостережень. Також завдяки цій методиці можна виділяти локальні аномалії та робити висновки про тонку структуру магнітного поля.

Виділено основні об'єкти, що утворюють аномалії та представлено їх геологічну характеристику. На цій основі розпочато складання каталогу аномалій магнітного поля нафтогазових регіонів.

Висновки. Запропоновано пояснення тектонічних і геохімічних чинників утворення локальних аномалій магнітного поля досліджених ділянок. Виділено три типи аномалій, пов'язані з ярами. Додатні аномалії над ярами та аномалії типу "сходінка", на нашу думку, зумовлені тектонічними рухами, а від'ємні аномалії – поверхневим зносом ґрунтового покриву. Знакомінні поля, спостережені на досліджених ділянках, пов'язані з озалізненням осадових порід.

Ключові слова: магнітометрична зйомка, магнітна аномалія, ґрунтовий покрив, магнітна сприйнятливість.

Вступ

Загальноприйнята методика магнітометричних робіт, спрямованих на виявлення структур у зв'язку з покладами вуглеводнів, складалася у 80-х роках ХХ ст. через потребу виконання великих об'ємів геофізичних робіт, переважно геологічних зйомок масштабу 1 : 200 000 та 1 : 50 000. Методика передбачала роботи за сіткою 200–500 м між профілями та відстанню між пікетами 50–100 м. Така мережа спостережень була зумовлена, зокрема, можливостями апаратури (точність відліку була 2–10 нТл, а точність зйомки у найкращих випадках 5–10 нТл). Водночас на більшості ділянок досліджень поле змінюється дуже повільно – 5–10 нТл на відстані у сотні метрів, і обрана мережа відповідала такій точності.

Іншим фактором була швидкість взяття відліку, що становила 2–10 с, і при цьому потрібна була зупинка на пікеті та попередня теодолітна розбивка мережі спостережень. Крім того, вважалося, що аномалії, пов'язані з покладами вуглеводнів, мають і розміри, і співвідношення з покладами, і відповідні глибини залягання магнітних об'єктів. Всі дрібніші аномалії та утворювана ними структура поля вважалися не інформативними для пошуків нафти і газу. Відображенням цього підходу стало висловлювання "аномалія типу поклад" (Безукладнов, & Мавричев, 1997; Левашов та ін., 2011).

З часом стало ясно, що сама по собі величина аномалії не може бути критерієм наявності покладу (Лукин, 2004). Аномалії можуть не збігатися з межами родовищ,

© Вижва Сергій, Попов Сергій, Бондар Ксенія, Хоменко Руслан, Івко Антон, Андрійчук Юлія, Круглов Богдан, Круглов Олександр, Поляченко Євген, 2024

можуть бути додатними, від'ємними або знакозмінними (Березкин, Лощаков, & Николаев, 1982; Орлюк, 1998). Найпоширеніший на сьогодні погляд – поширення по границях родовища більш градієнтних магнітних полів, пов'язаних з розломами – зонами фільтрації вуглеводнів, розташованими по границях структур. Отже більше уваги приділяється локальним аномаліям з розмірами в десятки і перші сотні метрів. Водночас у межах аномалій розмірами в кілька кілометрів можуть бути присутні локальні аномальні зони в 5–10 разів вищої інтенсивності. Якщо пікет, припустимо, 100-метрової сітки спостережень випадково потрапляє в таку високоаномальну локальну ділянку, це буде істотно спотворювати контури аномалій більшого розміру, оскільки з такою розрідженою сіткою програми інтерполяції поширять локальні високоаномальні значення поля на міжпрофільну відстань. Це може призвести до істотного спотворення магнітної карти.

Сьогодні склалася ситуація, коли зацікавленість у вивченні локального аномального магнітного поля зростає, а можливості обладнання дають змогу значно збільшити швидкість, точність і детальність робіт. Відповідно до цього метою роботи є розробка і випробування вдосконаленої методики детальної магнітної зйомки в русі.

Методи

Роботи проводилися на території Зінківського району Полтавської області. Використовувалися цезієві магнітометри ПКМ 1. Вимірювання орієнтованих зразків виконувалися на апаратурі палеомагнітної лабораторії Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України. Природна залишкова намагніченість (ПЗН) вимірювалася на спінмагнітометрі JR6 (Брно, Чехія). Параметр магнітної сприйнятливості (МС) – на капаметрі MFK1. Обробка матеріалів, побудова магнітних моделей і розрахунок напрямків векторів ПЗН виконані за допомогою програм Surfer, Potent та Remasoft 3.0.

Опис методики зйомки. Проводилася зйомка в русі, з частотою 1–10 вимірів в секунду, і прив'язкою за GPS. Така методика ще не ввійшла в нормативні розробки методів магнітометрії, тому автори були вимушені самі обрати найбільш об'єктивний спосіб визначення точності зйомки, сітки спостережень і особливостей обробки результатів.

Профілі проходилися через 20–50 м із кроком близько 1 м по профілю (вимірювання 1 замір в секунду). Відомо, що у величину вимірюваного поля дає свій внесок ґрунтовий покрив, який постійно формує аномалії величиною в перші нанотесли з розмірами в перші метри. Щоб уникнути впливу цих приповерхневих неоднорідностей зазвичай пропонують робити виміри поля на висоті 2 м над поверхнею ґрунту. Однак магнітні властивості ґрунтового покриття можуть бути корисні при пошуку вуглеводнів (Меньшов, 2021), тому ми проводили зйомку на висоті 1 м, а вплив ґрунтового покриття для виділення більш глибинних джерел аномалій нівелювався відповідним осередненням значень по профілю.

Результати

Точність магнітної зйомки. Як міра якості вимірювань використовувалася т. зв. інтерполяційна точність, подібно до того, як це робиться в гравірозвідці. У даному випадку це припустимо, оскільки над потужними товщами осадових порід відсутні різкі зміни магнітних властивостей між пікетами, які заважають використовувати такий підхід при зйомці, наприклад, над кристалічними породами.

Оцінку інтерполяційної точності зйомки ми проводили на дослідній ділянці розмірами 100х200 м двома методами. Перший – побудова карти; повторні виміри в точках між профілями; розрахунок середньоквадратичної похибки

між вимірним полем і інтерпольованим. Це звичайний спосіб розрахунку інтерполяційної точності, він проілюстрований на рис. 1, де з інтерпольованих значень карти за синіми профілями (рис. 1,в) розраховувалася середня квадратична похибка (δ) відносно спостережених значень за червоними профілями. Похибка δ становила 1,2 нТл, що в рази перевищує точність стандартної зйомки.

Другий спосіб розрахунку – зіставлення двох (синіх і червоних) карт у випадкових точках (рис. 1,г) з однаковими координатами. Точність при цьому сягала 0,3 нТл. За звичайного способу розрахунку на δ мають вплив згадані вище поверхневі неоднорідності ґрунту, мікрорельєф, магнітне сміття.

На наш погляд, незважаючи на те, що в другому способі розрахунку ми зіставляємо дві вже проінтерпольовані карти, цей спосіб оцінки точності кращий, оскільки в ньому зіставляються не окремі точки спостережень, а ділянки. Крім того, спосіб порівняння двох карт дає змогу уникнути впливу похибок, пов'язаних з неоднорідністю поля ґрунтового покриття. Тому цьому методу порівняння двох карт слід надати перевагу.

Інформативність магнітної зйомки різної щільності. На рис. 2 наведено приклади магнітних зйомок ділянки площею 1,5 км² за різної щільності спостережень, які показують, що профільні зйомки з відстанню між профілями 50 м і кроком по профілю 1 м дають змогу відобразити всі приповерхні геологічні процеси. Порівняно з геоморфологічними спостереженнями, які також дають інформацію про приповерхневі геологічні процеси, магнітна карта має важливу перевагу, надаючи інформацію про речовинний склад на глибині і його перетворення в різних геоморфологічних структурах. Так, флюїдний режим, привнесення або винесення речовини ґрунтовими водами, окисно-відновлювальні умови змінюють мінеральний склад, а отже й магнітне поле.

Нижче наведено основні типи спостережених нами аномалій та їх можлива геологічна інтерпретація.

Найпоширенішими локальними аномаліями магнітного поля є ті, що пов'язані з ярами. Вони ж є і найбільш різноманітними. Ми виділили три типи таких аномалій (рис. 3): 1) додатні; 2) від'ємні; 3) аномалії типу "сходінка".

Додатні аномалії (рис. 3,а). Вони відповідають переважно малим прямолінійним ярам, інколи ледве помітні в розораному полі. Ми не зустрічали водотоків у таких ярах. За результатами моделювання джерело аномалії сягає глибин у десятки метрів. Важко припустити інші, крім тектонічних, чинники утворення такої аномалії, асоційованої з настільки незначною формою рельєфу. Тому вважаємо такі яри дрібними розломами, в яких утворювалися магнітні мінерали.

Від'ємні аномалії (рис. 3,б). Ми знайшли поки що один такий яр, він характеризується довгими, відлогими схилами, викривленістю осі, поділом на рукави та наявністю сучасного сезонного водотоку. Відбір проб ґрунту із свердловин завглибшки до 1 м показав зменшення магнітної сприйнятливості з глибиною у кожній свердловині, а також між свердловинами, розташованими в бортах яру і свердловинами в тальвегу. Це свідчить про винос ґрунтового покриття, який і формує від'ємну аномалію. Такий яр не є розломом.

Аномалія "сходінка" (рис. 3,в). Нам відомі два таких яри, які були досліджені на відстані 10 км – від їх початку (ледь помітні в оранці), до впадіння в р. Грунь. Це середні за розмірами яри з колишніми водотоками і ставками. Водночас "сходінка" в магнітному полі спостерігається з одного борту по всій довжині яру, збільшуючись за

амплітудою в напрямку гирла. Можна припустити, що асиметрію у властивостях (у т. ч. магнітних) правого і лівого бортів зумовлює моноклінальне залягання порід. Додатковим аргументом на користь структурного характеру аномалії типу "сходінка" є те, що ці дві балки паралельні з відстанню між ними 1 км, і в обох лівий борт більш магнітний. Загалом аномалії від ярів не перевершують в районі робіт величини 10–20 нТл.

Іншим типом локальних (десятки та перші сотні метрів) аномалій є слабкі (3–5 нТл) лінійні додатні або від'ємні аномалії, які не виражені в рельєфі. Наприклад, така структура зображена на рис. 4 і формує додатну аномалію (правий кут зверху) в 3–4 нТл.

Окремим типом локальних аномалій є *ізометричні знакозмінні* ділянки поля, не виражені в рельєфі. Вони можуть сягати відносно великих значень: від +20 до -20 нТл. Таку ділянку зображено на рис. 5. Ми спостерігали її

поблизу від кар'єру по видобутку піску (рис. 5,а), де розкриті неогенові відклади (озалізовані слабкозцементовані пісковики та глини). Можливо, ці ділянки озалізованості і спричиняють таке знакозмінне контрастне поле. Профіль, пройдений нами на цій ділянці (рис. 5,б), дає змогу зробити висновок про різкий характер зміни поля від спокійного до аномального. Озалізованість приповерхневих горизонтів відбувається після осадконакопичення, а тому повинно бути пов'язане з геохімічними процесами.

Оскільки від'ємні частини аномалій на рис. 5 характеризуються високими градієнтами, вони можуть бути спричинені оберненою намагніченістю порід. Вимірювання магнітних властивостей орієнтованих зразків озалізованого пісковика з цього кар'єру показало значне розходження з напрямком сучасної намагніченості. Частково намагніченість тут може вважатись оберненою (табл. 1).

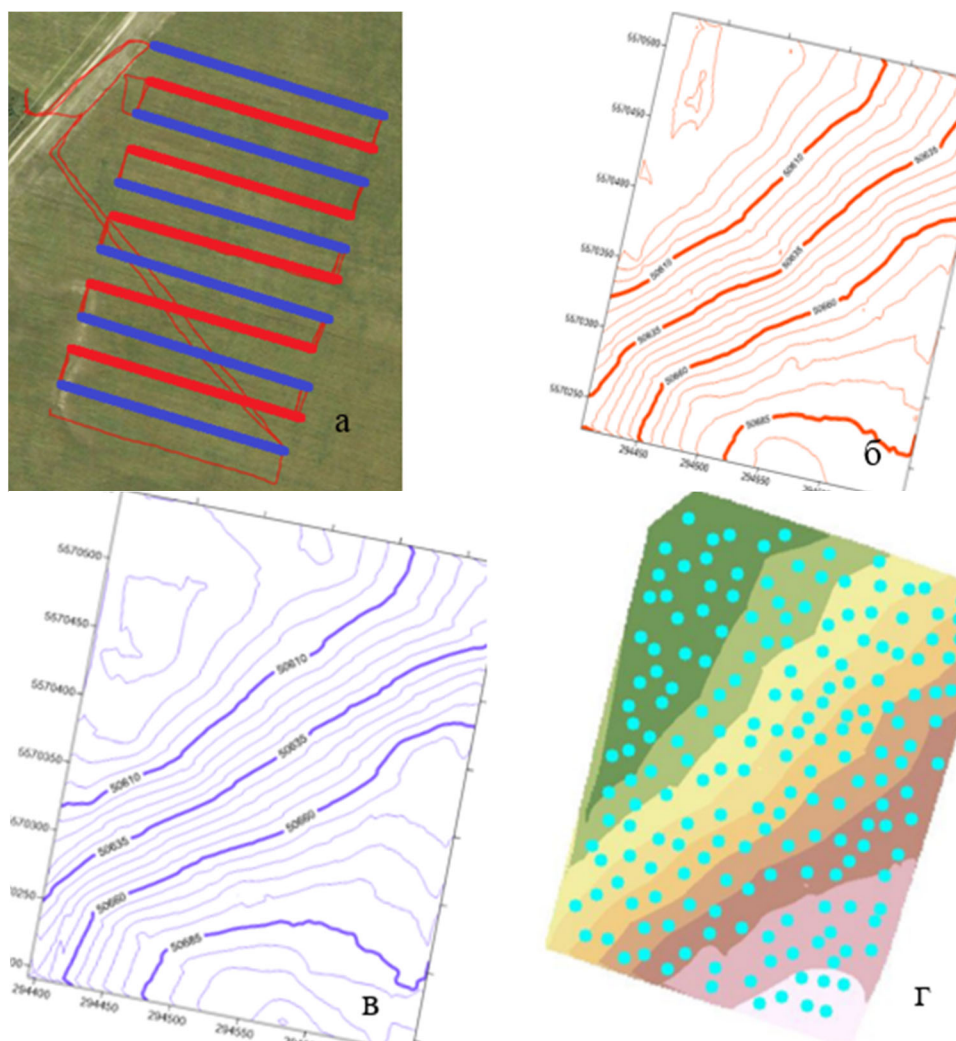


Рис. 1. Роботи з визначення точності зйомки (переріз ізоліній – 5 нТл):

а – трек зйомки з виділеними "синіми" та "червоними" профілями; б – карта поля за "червоними" профілями; в – карта поля за "синіми" профілями; г – накладені карти та випадкові точки для розрахунку точності між картами

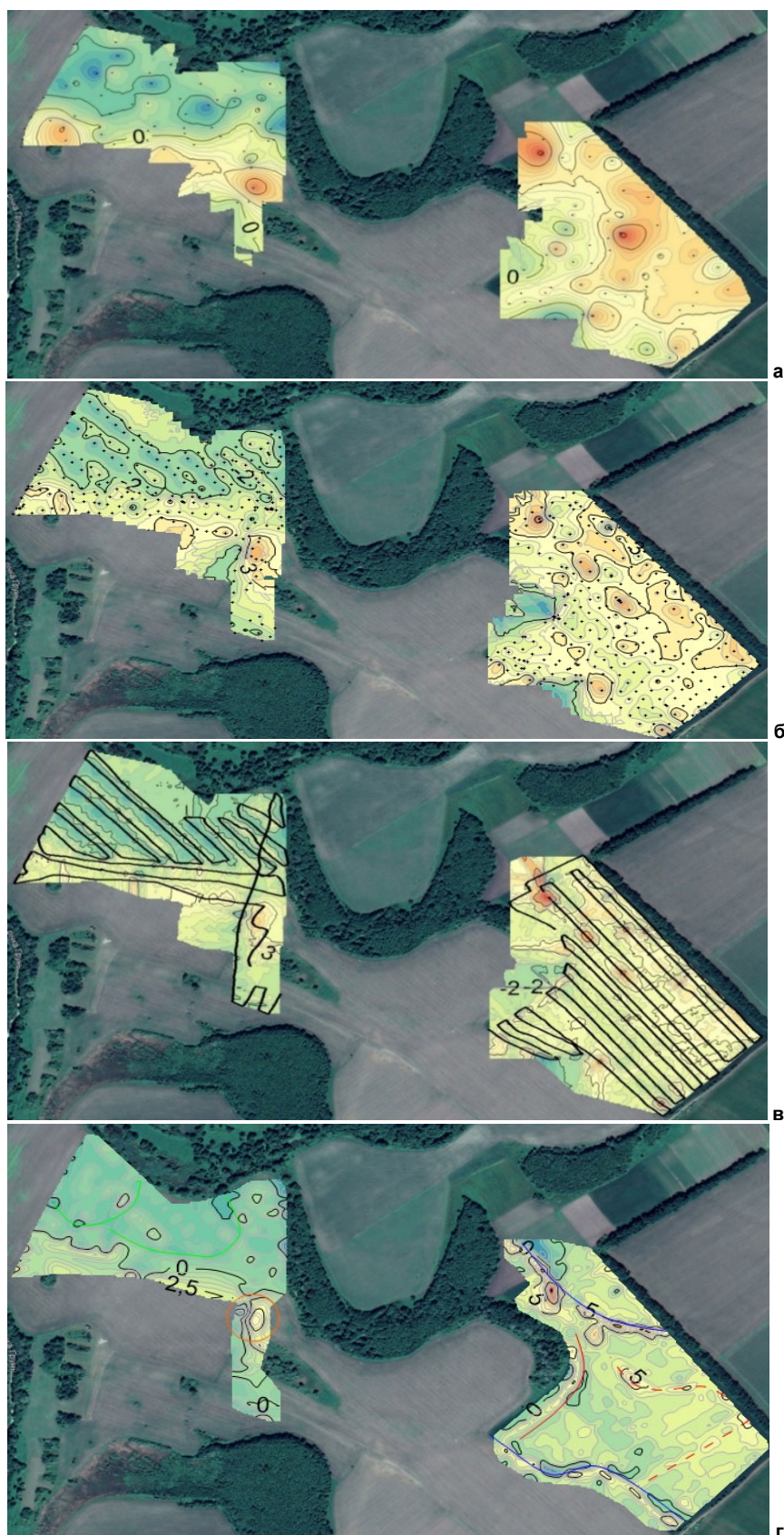


Рис. 2. Зіставлення інформативності магнітних карт різної щільності спостережень для верхньої частини розрізу (Перетин ізоліній – 1 нТл):

а – сітка спостережень 100×50 м; б – сітка спостережень 50×25 м; в – трек профілів. Між профілями 50–70 м, крок по профілю 1 м. Первинні дані; г – опрацьована карта за профільною зйомкою. Зелені лінії – стариці (майже не виражені в рельєфі), червоне коло – старе поселення, червона суцільна лінія – схил, сині лінії – малі розорані яри, червона пунктирна лінія – аномалії нез'ясованої природи

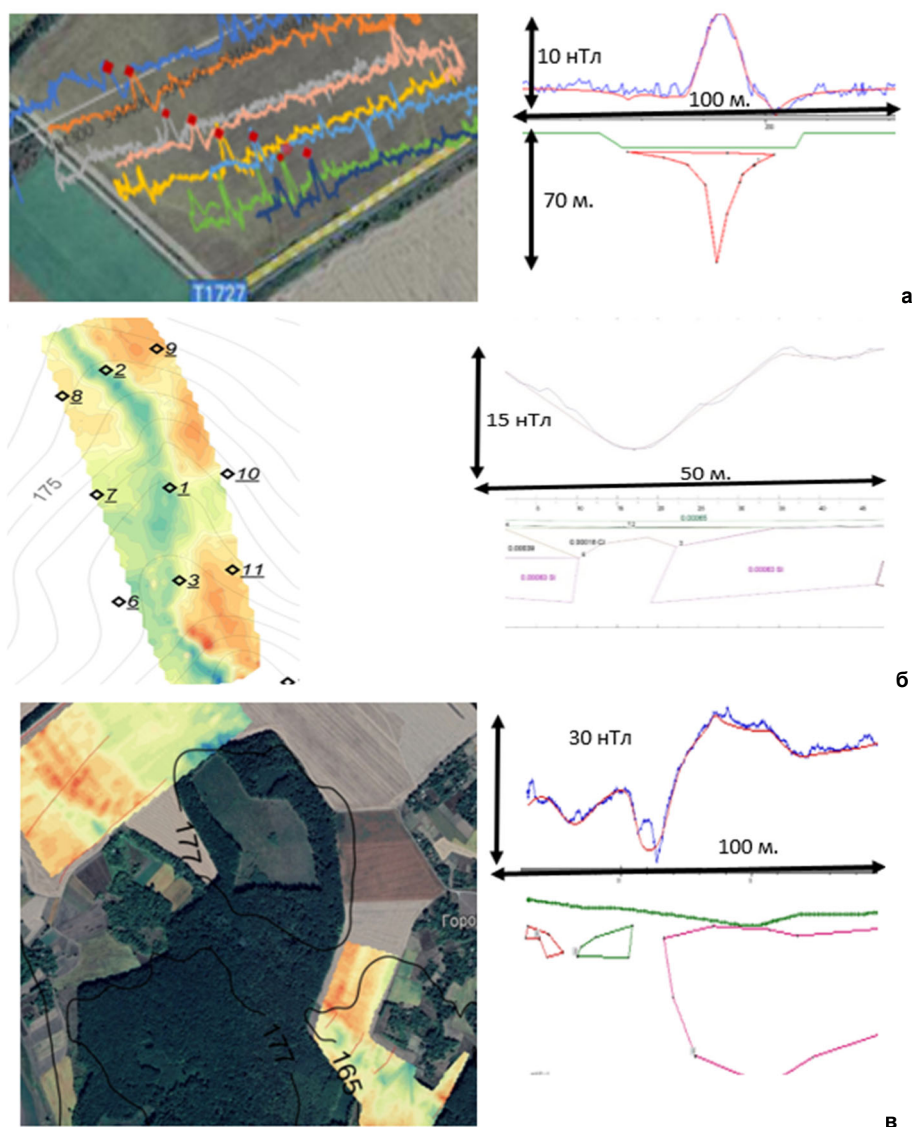


Рис. 3. Різні типи магнітних аномалій ярів (перетин ізоліній 1 нТл):

а – карта профілів з додатною аномалією (червоні маркери) над яром та модель тіла за одним із графіків;
 б – від'ємна аномалія вздовж яру та графік за профілем ухрест яру. Свердловини для вимірювання магнітних властивостей;
 в – магнітна "схдинка" над яром та один із профілів ухрест яру

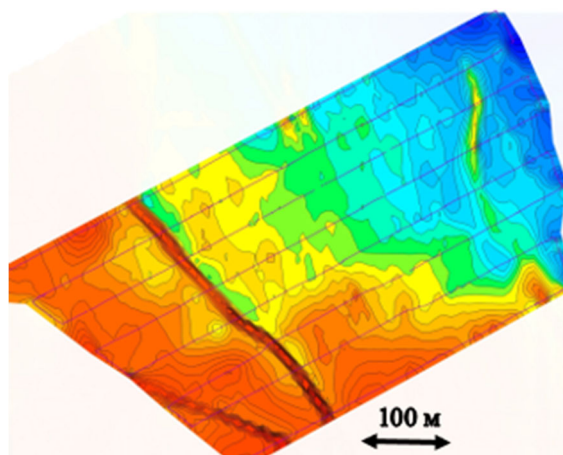


Рис. 4. Ділянка магнітного поля: додатні (червоні) лінійні аномалії – розорані яри (перетин ізоліній – 0,5 нТл)

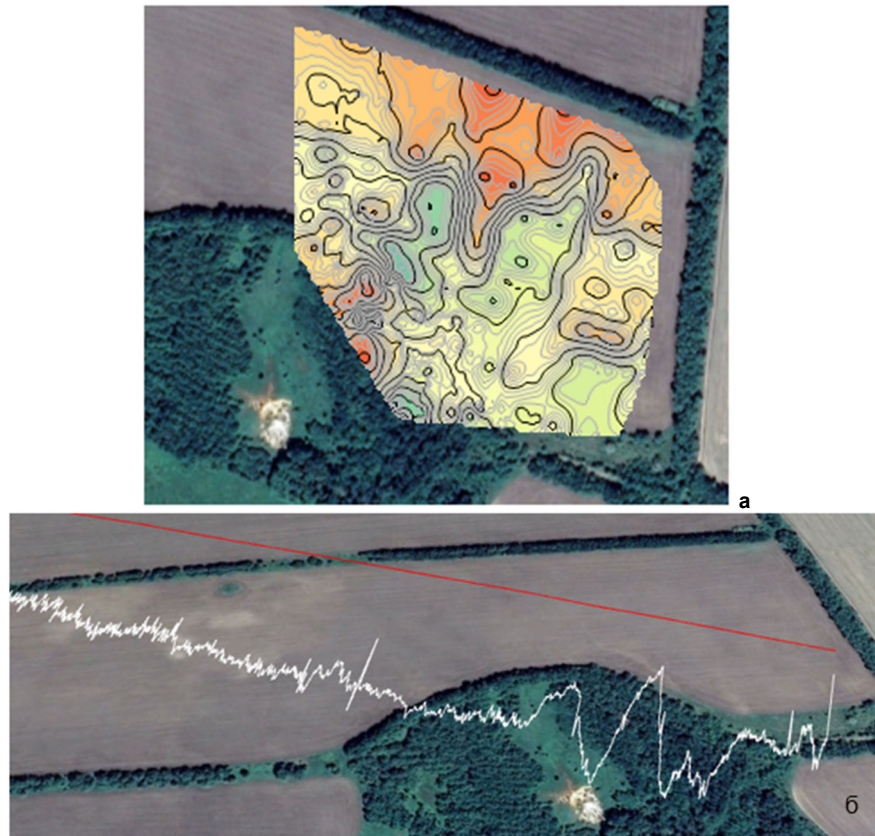


Рис. 5. Знакозмінне поле за площинною зйомкою та за інтерпретаційним профілем:

а – ділянка знакозмінного поля (перетин ізоліній 1 нТл); б – лінія профілю (червона лінія) та магнітне поле за профілем (біла лінія)

Таблиця 1

Магнітні властивості озалізених пісковиків

Зразок	α , 10^{-6} од. СИ	ПЗН (ln), 10^{-6} А/м	Q	D°	I°
1	33,7	303,8	0,2	215	35
2	75,8	780,2	0,2	261	-3
3	104,6	226,2	0,04	193	-43

Примітки. α – магнітна сприйнятливості; ПЗН (ln) – природна залишкова намагніченість; Q – фактор Кенігсбергера; D – кут схилення; I – нахилення.

Більші за розмірами аномалії нами повністю не були закартовані саме через свої розміри (від кількох кілометрів до десятків). Однак виявлені досить виразні лінійні зони зміни значень поля в 1–3 нТл за розмірами відповідають межі великих аномалій. За морфологією поля вони нагадують аномалії типу "сходінка", але з меншою інтенсивністю і градієнтами. Такий характер зміни поля в нафтогазових регіонах вже відзначався (Donovan, Forgey, & Roberts, 1979), і на цій основі було зроблено висновок про невелику глибину залягання джерел магнітних аномалій. Існує вірогідність, що вони є частинами аномалій у десятки кілометрів, які простежуються при аеромагнітній зйомці, але при аеромагнітному картуванні їх межі згладжуються і через висоту польоту, і через розріджену сітку спостережень, і через осереднення при обробці.

Окремим джерелом інформації є тонка магнітна структура поля, пов'язана з магнетизмом ґрунтового покриву, вплив якого на результати вимірів вже згадувався вище. Так, ґрунтовий покрив формує знакозмінне поле з аномаліями розміром в один – кілька метрів та інтенсивностями до перших нанотесл. Звичайно, магнетизм ґрунтового покриву, крім всього іншого, несе в собі інформацію про більш глибинні утворення. Але тут потрібні масові заміри за однакових методичних налаштувань.

Дискусія і висновки

1. Опрацьована методика швидкої детальної магнітної зйомки в русі із середньою швидкістю 3–4 км за годину. Обрана нами оптимальна міжпрофільна відстань при цьому сягала 50 м, крок – близько 1 м. Дана методика дає змогу виділити аномалії від перших метрів та з інтенсивностями в перші нанотесли.

2. Запропоновано використання інтерполяційної точності як головного параметра для оцінки якості зйомки на ділянках з великим шаром осадових порід. Водночас зіставляються дві карти однієї території, побудовані на інтерпольованих значеннях, і в точках з однаковими координатами обраховується похибка.

3. Вперше виділено типи локальних магнітних аномалій над осадовими породами з прив'язкою до їх геологічної природи. До них увійшли: додатні лінійні аномалії над ярами; від'ємні аномалії над ярами; аномалії типу "сходінка" над ярами; знакозмінні аномалії, не виражені в рельєфі.

4. До переліку типів аномалій поки що не увійшли великі за розмірами аномалії, тому що через обмеженість ділянки робіт жодна з них не закартована нами в повному обсязі. Також поки що ми не додали до переліку слабко виражені в значеннях поля лінійні та ізометричні аномалії невідомої природи, інколи асоційовані з

від'ємними або навпаки додатними формами рельєфу. Ці питання є в планах подальших досліджень.

5. Магнітне картування великих площ з відстанню між профілями в метри та перші десятки метрів дозволяє будувати карти з перетином ізоліній 0,5–1 нТл та виділити окремо тонку структуру магнітного поля (локальні аномалії) і структури більш високих порядків. Зйомки з відстанню 100 і більше метрів між профілями і кроком в десятки метрів дають змішану, а отже і спотворену картину.

6. Магнітна карта також надає інформацію про речовинний склад на глибині і його перетворення в різних геоморфологічних структурах, і які є продовженням більш глибоких, пов'язаних з вуглеводнями процесів. З цих позицій детальне магнітне картування важко переоцінити.

Внесок авторів: Сергій Вижва – концептуалізація, написання (перегляд і редагування); Сергій Попов – концептуалізація, методологія, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування), валідація даних; Ксенія Бондар – написання (перегляд і редагування); Антон Івко – польові роботи, обробка даних, побудова карт; Руслан Хоменко – програмування та розрахунки; Юлія Андрійчук – написання (перегляд і редагування), первинна обробка матеріалів; Богдан Круглов – кінцева обробка матеріалів, побудова карт; Олександр Круглов – польові роботи, лабораторні дослідження, первинна обробка матеріалів; Євген Поляченко – лабораторні дослідження, первинна обробка даних.

Подяки, джерела фінансування. Дослідження були проведені завдяки гранту, наданому ТОВ "Надра Юзівська" за програмою спонсорської допомоги університетам на наукові розробки.

Список використаних джерел

Безукладнов, В. А., & Мавричев, В. Г. (1997). Выявление аномалий типа "залежь" по магнитному полю. *Геология нефти и газа*, 7, 21–24.
Березкин, В. М., Лощаков, А. М., Николаев, & М. И. (1982). Применение магниторазведки для поисков месторождений нефти и газа. *Прикладная геофизика*, 103, 127–136.

Serhii VYZHVA¹, DSc (Geol.), Prof.

ORCID ID: 0000-0003-4091-6649

e-mail: s.vyzhva@knu.ua

Serhii POPOV¹, PhD (Geol.)

ORCID ID: 0000-0002-3881-3723

e-mail: 814614@ukr.net

Kseniia BONDAR¹, DSc (Geol.)

ORCID ID: 0000-0002-4946-7707

e-mail: ks_bondar@ukr.net

Ruslan HOMENKO¹, PhD (Geol.)

e-mail: sapphireion1977@gmail.com

Anton IVKO¹, Student

e-mail: antonazivko@gmail.com

Yuliia ANDRIICHUK¹, Student

e-mail: andriychuk1@knu.ua

Bohdan KRUHLOV¹, Student

ORCID ID: 0000-0002-7899-2957

e-mail: bkr12@ukr.net

Olersandr KRUGLOV², PhD (Geol.)

ORCID ID: 0000-0003-2663-0935

e-mail: alex_kruglov@ukr.net

Ievgen POLYACHENKO³, PhD (Geol.)

ORCID ID: 0000-0002-3316-4605

e-mail: poliachenkoib@gmail.com

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²National Scientific Centre "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research n.a. O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

³S.I.Subbotina Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

IMPROVED METHODOLOGY OF DETAILED MAGNETOMETRIC SURVEY TO SOLVE THE PROBLEMS OF OIL AND GAS GEOLOGY

Background. Nowadays, interest in studying the local anomalous magnetic field to solve the problems of oil and gas geology is growing, and the capabilities of the equipment can significantly increase the speed, accuracy and detail of work. Accordingly, the development and testing of an improved method of detailed magnetic recording in motion becomes relevant.

Methods. For areas with low gradient magnetic field, we assessed the accuracy of the survey by comparing the maps obtained from repeated surveys of the site.

Левашов, С. П., Якимчук, Н. А., Корчагин, И. Н., Прилуков, В. В., & Якимчук, Ю. Н. (2011). Обнаружение и картирование геоэлектрическими методами аномалий типа "залежь углеводородов" в разломных зонах кристаллических массивов. *Нефть. Газ. Новации*, 4, 16–23.

Лукин, А. Е. (2004). Прямі пошуки нафти та газу: причини невдач та шляхи підвищення ефективності. *Геолог України*, 3, 18–43.

Меньшов, О. (2021). Роль магнітних методів при дослідженні території ушліплених порід-колекторів нафти і газу: постановка завдання. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(92), 42–49. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.06>.

Орлюк, М. І. та ін. (1998). Магнітометричні дослідження при регіональному та локальному прогнозі нафтогазоносності земної кори Дніпровсько-Донецької западини. *Геофізичний журнал*, 20(3), 92–102.

Donovan, T. J., Forgey, R. L., & Roberts, A. A. (1979). Aeromagnetic detection of diagenetic magnetite over oil fields. *AAPG Bull.*, 6(2), 32–54.

References

Berezkin, V. M., Loshchikov, A. M., Nikolaev, M. I. (1982) Application of magneto-exploration for oil and gas deposits. *Applied geophysics*, 103, 127–136 [in Russian].

Bezukladnov, V. A., & Mavrichiev, V. G. (1997). Detection of anomalies type "deposits" by magnetic field. *Geology of oil and gas*, 7, 21–24 [in Russian].

Donovan, T. J., Forgey, R. L., & Roberts, A. A. (1979). Aeromagnetic detection of diagenetic magnetite over oil fields. *AAPG Bull.*, 6(2), 32–54.

Levashov, S. P., Yakimchuk, N. A., Korchagin, I. N., Prilukov, V. V., & Yakimchuk, Y. N. (2011). Detection and mapping of geoelectrical anomalies of type "hydrocarbon deposits" in fracture zones of crystalline masses. *Oil Gas. Innovations*, 4, 16–23 [in Russian].

Lukin, A. E. (2004). Direct Search for Oil and Gas: Causes of Failures and Ways to Increase Efficiency. *Geologist of Ukraine*, 3, 18–43 [in Ukrainian].

Minshov O. (2021). The role of magnitudes methods at the pre-Iljeni area of the porid-ring naphthi and gas: the setting of the final. *Vysnik of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(92), 42–49. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.06> [in Ukrainian].

Orlyuk, M. I., Maksimchuk, V. E., Vakarchuk, G. I., & Chupil, P. M. (1998). Magnetometric studies for regional and local forecasting of oil and gas content of the earth's crust in the Dnieper-Donets depression. *Geophysical Journal*, 20(3), 92–102 [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 15.10.23

Прорецензовано / Revised: 19.03.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

R e s u l t s . *The survey of the magnetic field was conducted in the movement. The total surveyed area was about 20 square kilometers in the Zinkovsky district of the Poltava region. The inter-profile distance was about 50 meters, the distance between the points of observation on the profile was about 1 meter. This grid of observations allows us to get maps that differ significantly from the maps obtained by the usual density of observations. This technique also allows identifying local anomalies, and drawing conclusions about the fine structure of the magnetic field.*

The main objects that form anomalies and their geological characteristics are identified. On this basis, interpreted magnetic field anomalies in oil and gas regions were catalogued.

C o n c l u s i o n s . *We have proposed explanation of tectonic and geochemical factors, which form local anomalies of the magnetic field of the studied areas. Three types of anomalies associated with ravines are distinguished. Positive anomalies over ravines and step-type anomalies, in our opinion, are associated with tectonic movements, and negative anomalies are due to slope wash processes. Alternating magnetic fields in the studied areas may be due to ferruginized deposits.*

K e y w o r d s : *magnetometric survey, magnetic anomaly, soil cover, magnetic susceptibility.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

УДК 550.552.53.553

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.05>

Ivan KARPENKO^{1,2}, PhD (Geol.)
e-mail: karpenko.i.geoscience@gmail.com

Serhii LEVONIUK², PhD (Geol.)
e-mail: serhii.levoniuk@ugv.com.ua,

Oleksii KARPENKO³, DSc (Geol.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-5780-0418
e-mail: okarpenko.geol@knu.ua

Andrii LOKTIEV⁴, PhD (Geol.)
ORCID ID: 0000-0003-3640-8473
e-mail: shon327@hotmail.com

¹M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²NJSC "Naftogaz of Ukraine", Kyiv, Ukraine

³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

⁴LLC "Institute of Geology", Kyiv, Ukraine

NEURON NETWORK TECHNOLOGIES APPLICATION IN LITHOLOGICAL-FACIAL DECOMPOSITION OF THE DEVONIAN AND CARBONIFEROUS SEDIMENTS ACCORDING TO GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL DATA (NORTHWESTERN PART OF THE DNIEPER-DONETS DEPRESSION)

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.В. Шабатурою)

Background. The growth of hydrocarbon reserves in the old oil and gas producing regions can be realized to a large extent due to the reinterpretation of geological and geophysical data on the old fund of wells (both within existing deposits and on areas that, under certain circumstances, were at one time assessed as unpromising). At this stage of geological exploration work, considerable work is being done to reinterpret the data of geophysical studies in the missed intervals of wells of the old fund, including exploratory wells. Similar works are carried out on deep horizons (Devonian), as well as on Mesozoic deposits, which in the last century were not of primary importance in terms of prospects in many areas. The available geological and geophysical material indicates significant difficulties in the correct identification of layers within the specified strata.

Methods. The results of geophysical, petrographic and petrophysical studies on the deposits are analyzed. The methods of statistical analysis were applied in order to establish the possibility of using pattern recognition methods for lithological-facies dissection of well sections based on well-logging data.

Results. Thanks to the use of neural network technology, the reliability of the traditional geological interpretation of the well-logging data was verified. The reliability of establishing the lithological-facies affiliation of individual layers in Upper Devonian, Lower, and Middle Carboniferous well sections has been increased by using an ensemble of calculated neural networks. An original approach to the implementation of neural network technology in the interpretation of geological and geophysical data is proposed.

Conclusions. The article examines the geophysical characteristics of potentially promising horizons that were previously overlooked. The problems to be solved are indicated, as well as ways to increase the reliability of the geological interpretation of well-logging data in layers of different ages. In particular, the possibility and expediency of using machine learning based on neural network technologies is considered.

Keywords: horizon, reservoir, lithology, Devonian, neural networks, well logging.

Background

Many years of communication with specialists in the area of well-logging data interpretation, as well as own experience, lead to the understanding that the geological conclusions based on the materials of well logging are always probabilistic and quite subjective in nature. These well-known and obvious things, which are described in textbooks, and taught in universities to students, are realized only over the years. Even the calculated parameters, which are determined from the well logging data and are the basis for various methods of estimating oil and gas reserves, are the result of modeling the geological environment (reservoir rocks) based on our experiments (in a laboratory environment) with rocks in conditions that have never been identical to the natural occurrence of rock layers. We have to come to terms with this and adapt the geological interpretation of well-logging materials to the results of industrial development of oil and gas fields, formations, or deposits. That is, it is trivial to the maximum possible coincidence of estimates of productive (or non-productive) objects by geologists, geophysicists and developers. The same applies to the most simple (not at first glance) task, such as lithological

decomposition of the formations by the well-logging data. The difficulties here are as follows:

- when the number of lithological types of rocks increases, the efficiency of their separation according to various geophysical parameters decreases (significant overlap of distributions of parameter values for lithotypes close in terms of lithological characteristics);
- lack of representative core collections for individual lithological types for every stratigraphic unit;
- a limited set of well-logging methods regarding the number of informative parameters that are measured in wells;
- difficulties (including the presence of subjectivism) of tying individual core samples to well sections and geophysical curves;
- atypical behavior of the logging curves opposite the layers that are uniquely identified by core data in terms of their lithological affiliation.

The listed difficulties are typical when studying the deposits of the Kinashivska structure (the extreme northwestern part of the northern border zone of the Dnieper-Donets depression), which was chosen to perform the reinterpretation of the well-logging data material in old exploration wells. It was precisely on this geophysical material

from a specific area that promising approaches to increase the effectiveness of geological interpretation were tested.

Analysis of recent research and publications.

Previous years, increased attention had been paid to deposits, which for certain reasons were considered secondary in relation to their prospects for the discovery of new deposits. Undoubtedly, for tens of years, the main production of hydrocarbons and the growth of oil and gas reserves in the Dnieper-Donets basin (DDB) took place at the expense of productive carbon horizons. Devonian deposits, due to their local distribution in the DDB, and in many areas even at great depths, were a rather difficult target for exploratory drilling. Thus, in the articles (Bagrii et al., 2023; Lukin, 1997, 2006, 2008; Stryzhak, Polishchuk, & Korzhnev, 2013), the variety of litho-facies types of rocks capable of retaining hydrocarbons in Devonian formations is described in sufficient detail. At the same time, in the wells of the old fund, which revealed Devonian deposits during exploratory drilling, quite often negative conclusions were obtained regarding the presence of productive deposits with conditional hydrocarbon rates. There are quite a lot of reasons for such results both at the stages of conclusions based on the results of geophysical investigations in wells and during well tests. Moreover, in addition to the objective factors of the geological nature, there are also complications related to the low efficiency of interpretation of well-logging data in the study of Devonian deposits. Features of the opening of Devonian sediments during well drilling, testing technologies in the past also led to the omission of productive layers/objects in well sections. The review of geological materials, industrial tests and geophysical data obtained in different years in exploratory wells is one of the directions of work of production and research institutions aimed at identifying new promising oil and gas objects in Devon. Recommendations for similar works can be found in publications (Bagrii et al., 2023; Karpenko, Mykhailov, & Karpenko, 2015; Lukin, 1997, 2008; Stryzhak, Polishchuk, & Korzhnev, 2013; Vakarchuk, 2016).

Isolation of previously unsolved parts of the general problem. This article deals with issues related to increasing the efficiency of geological and geophysical research in wells. Moreover, due to the limited volume of the publication, only one of the aspects of solving such a problem is considered. Namely, increasing the efficiency of lithologic-facies decomposition of Devonian sediments and other younger sediments that are promising for oil and gas. The problematic issues related to this task are discussed below.

Geological and geophysical features of research objects. Oil and gas-bearing deposits of the sub-salt Devonian complex are described in detail in the work of (Lukin, 1997, 2006, 2008) in terms of their lithological-genetic origin and features of spatial distribution. On the example of a separate structure within the boundaries of the Kinashivska structure (DDB) in the section of the Upper Devonian (Famennian stage, depth interval 1962–2834 m), lithological types of rocks are found, inherent in significantly different conditions of sedimentation. Their diversity creates significant difficulties (as will be shown below) in the identification of lithotypes based on the data of geophysical studies (well logging) in well sections. We will present the individual characteristics of the main lithotypes of the Famennian layer from the wells of Kinashivska structure based on the results of well logging taking into account the macro descriptions of the core.

The powerful chemogenic stratum of the Upper Devonian age is represented by quite frequent alternation of salt layers with carbonate, carbonate-clay rocks and

effusives. Limestone layers have high resistivity up to $2000 \Omega \cdot \text{m}$ and porosity of 4–5 %. Reservoirs are not distinguished among these deposits, according to the well-logging results.

The sediments of the Famennian stage of the Devonian are represented mainly by intersalt terrigenous formations. According to geophysical materials, they are divided into three strata: clay-carbonate, sandy and sandy-clay. According to geophysical data, there are no reservoir rocks in the lower layer.

Powerful terrigenous reservoirs with a porosity of up to 21 % and a resistivity of $0.5\text{--}0.7 \Omega \cdot \text{m}$ are found in the interval of the sandy stratum. According to all materials and test data, the considered reservoirs are saturated with water.

In the interval of the upper, sandy-clay stratum, the section is represented by a thin layering of sandy-clay reservoirs with argillites. There are also separate thin layers composed of probably tight sandstones and limestones.

All reservoirs have very low resistivity; their resistivity here ranges from 5 to $1.6 \Omega \cdot \text{m}$. The rocks of this part of the section are poorly cemented and form caverns during drilling. The reservoirs here are selected according to the neutron gamma-ray (NGR) data, the increased readings of which, together with the decrease in natural gamma radiation (GR) according to the GHK, indicate a decrease in the clay content of the rocks. When tested by the equipment on the pipes from the reservoirs of the specified intervals, small inflows of oil were obtained. Careful analysis of the geophysical material made it possible to identify reservoir rocks with a total thickness of 39.2 m in the well interval, the weighted average porosity of which is about 15.4 %. It should also be noted that the stratigraphic breakdowns of the section were taken from the conclusions based on the results of the interpretation of the well-logging data performed by specialists of the Nizhyn Expedition of Well Logging (EWL), without author's corrections (authors of the article).

Since the reservoir rocks in this section of the well are quite atypical (low-resistivity and rich), the estimation of their oil saturation coefficient poses certain difficulties. Calculations using the usual techniques (Vyzhva et al., 2019, 2021; Rybalka et al., 2016) show that individual reservoirs have an oil and gas saturation ratio of 50 to 64 %. These numbers should be considered indicative.

The layer encountered in the roof of the Devonian terrigenous stratum (4 m thick) should be noted separately. It has a geophysical characteristic of carbonaceous rocks: very large resistivity values (up to $8000 \Omega \cdot \text{m}$) and interval time ΔT ; at low (at the level of clays) NGR readings. This layer and the layers lying above it (according to the data of the core study – breccia) obviously belong to Devonian supersalt deposits; they do not have reservoir properties.

According to geophysical materials, all selected terrigenous and carbonate reservoirs are water-saturated in carbonate deposits.

Methods

Decomposition of the entire section of the well on Kinashivska structure was carried out taking into account all geological and geophysical information. Logging materials were taken as a basis, as well as a macro description of the core, petrographic descriptions of cuts and test results. In addition, the assignment of specific lithological types to individual strata was based on own experience and the results of the interpretation of data from the well logging, performed at the time by geophysicists-interpreters of the geological department of the Nizhyn EWL. In contrast to the conclusions made earlier, we carried out lithological decomposition continuously along the entire wellbore

(without focusing on promising layers and intervals). To visualize the petrophysical features of individual lithological types, parameter histograms were constructed for individual lithotypes of rocks, taking into account the stratigraphic affiliation. Separately performed for rocks of the Devonian (Famennian stage D₃fm), rocks of the Visean-Tournaisian (C₁v-t) of the Lower Carboniferous and rocks of the Moscovian and Bashkirian stages of the Middle Carboniferous (C₂m-b). As an example, the distribution of the average values of the exposure dose power of gamma radiation (GR) by lithotypes and stratigraphic affiliation of strata is shown in (fig. 1). A wide range of sedimentary rocks is found in the studied section – from terrigenous (argillites, siltstones, sandstones, sand breccia), coal layers, salt-bearing rocks – to carbonates (limestones, marl). Many transitional forms of lithotypes, which are almost impossible to uniquely identify on the log charts, are described during petrographic laboratory studies of the core. For the convenience and simplification of the construction of the lithological column based on the well-logging data, the individual lithological types of rocks named above, which certainly have individual characteristics in different layers, have been selected.

Fig. 1 clearly demonstrates the obvious difficulties in differentiating rocks by natural gamma-activity in the wells of Kinashivska structure: a) small differences in the average values of natural GR radioactivity between the main terrigenous rocks (except breccia) in the deposits of the Famennian stage of the Devonian; b) similarly, very similar

GR characteristics between limestone and marl layers in D₃fm deposits; c) also close average values of GR between lithotypes of terrigenous rocks of the Lower Carboniferous, especially between argillites and siltstones; d) the differentiation of all observed lithological types significantly improves in the deposits of the Moscovian and Bashkirian tiers of the Middle Carboniferous. High values of natural gamma activity of sandstones, siltstones, especially Devonian and Lower Carboniferous, testify to the polymineral composition of the skeleton with a significant content of potassium feldspars and other minerals with an increased relative to the background content of radioactive elements. This composition of terrigenous rocks significantly affects the reduction of the differentiation of terrigenous rocks by the value of GR. High values of gamma activity in the interval of occurrence of probably salt-bearing rocks in the lower parts of the rocks indicate an increased content of potassium salt. At the same time, the increased values of the interval time of the longitudinal wave ΔT in relation to salt-bearing rocks are significantly higher than in pure salts, and the electrical resistivity according to lateral logging data (LL) is also not characteristic of pure evaporites (significantly lower). Increased values of NGR readings indicate the effect of chlorine on secondary gamma activity. The above features characterize the interval with isolated salt-bearing (probably) rocks as a layer in which there are sedimentary rocks with an increased content of evaporites. Such rocks are named "salt" in the lithological column and in the drawings in the article (fig. 1).

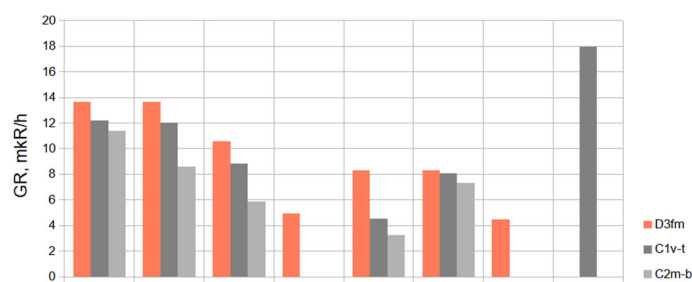


Fig. 1. Distribution of the average values of the natural radioactivity (GR) by lithotypes and stratigraphic affiliation of deposits in the well sections of Kinashivska structure

The above features of the average values distribution of natural radioactivity in the rocks of the Kinashivska structure from the Lower Devonian to the Middle Carboniferous clearly require the involvement of petrographic/geophysical parameters of a different nature in order to improve the efficiency of lithological decomposition of well sections.

Fig. 2, 3 show the average values distributions of the intensity of the neutron gamma-log radioactivity NGR and the interval time of the longitudinal wave ΔT in the rocks of the structure. As can be seen, each method separately also has significant limitations regarding the effectiveness of such decomposition of the section into individual lithotypes.

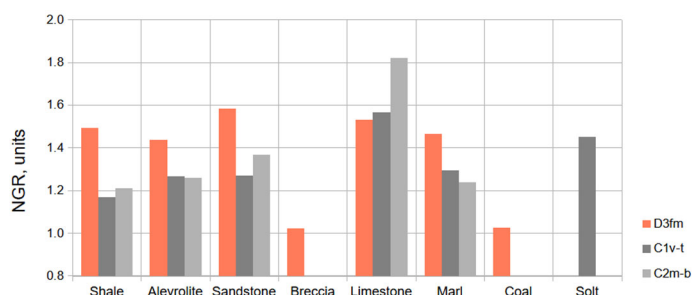


Fig. 2. Distribution of the average values of the intensity of the neutron gamma-log radioactivity NGR by lithotypes and stratigraphic affiliation of deposits in the well sections of Kinashivska structure

It should be noted that there is a regular decrease in the average values of NGR in the same lithological types of terrigenous rocks in the direction from old to younger

deposits. Two factors are manifested here: an increase in the content of the clay component in the Carboniferous sandstones on the one hand (leads to a decrease in NGR

readings), and an increase in the porosity of the sandstones of the Moscovian and Bashkirian layers (as it should be – increased readings of ΔT on the acoustic logging curves).

Coal layers stand out in contrast: minimal readings on GR curves (fig. 1), NGR curves (influence of density effect – low density) (fig. 2), increased values of ΔT .

In general, it should be noted that only certain types of rocks stand out quite contrastingly according to the complex

of geophysical features. These are coal layers, salt-bearing rocks, pure compacted limestones. Other rocks have close values, which creates significant problems in the lithological decomposition of complex section. On the Kinashivska structure, special difficulties arise during the decomposition of well sections according to the data of well logging in the intervals represented by rocks of Devonian age (fig. 4, 5).

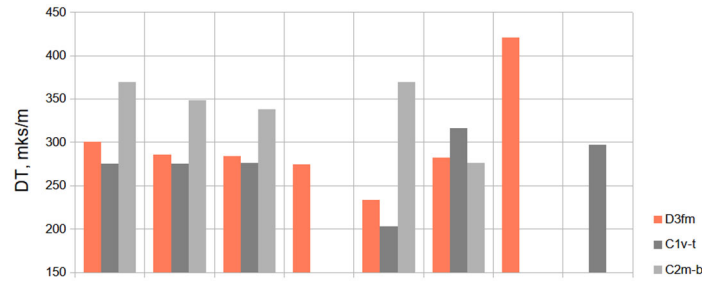


Fig. 3. Distribution of the average values of the interval time of the longitudinal wave ΔT by lithotypes and stratigraphic affiliation of deposits in the well sections of Kinashivska structure

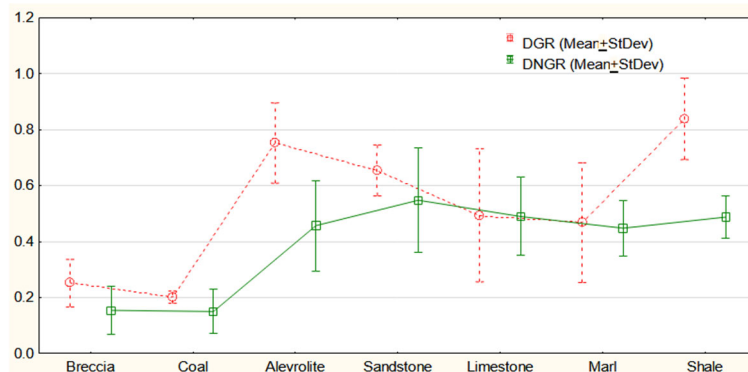


Fig. 4. Distributions of the characteristic values of the double difference parameters GR and NGR (DGR, DNGR) within $\pm$ their standard deviations ($\pm$ StDev) relative to the mean values by lithological types of rocks of the Famennian stage of the Kinashivska structure

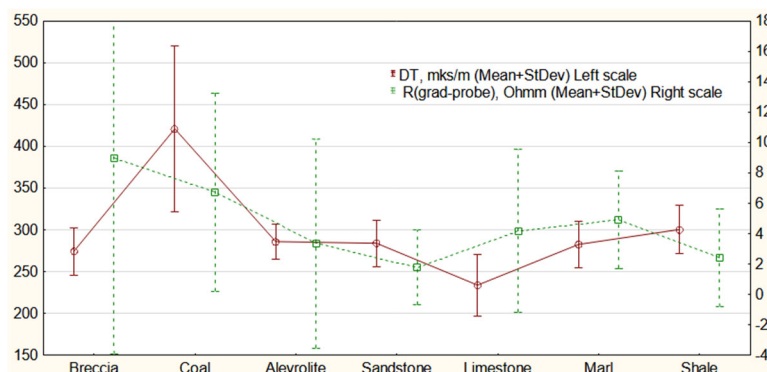


Fig. 5. Distributions of the characteristic values of the interval time of the longitudinal wave ΔT (DT) and the electrical resistivity of the gradient-probe ($L = 4$ m) within $\pm$ their standard deviations ($\pm$ StDev) relative to the mean values by lithological types of rocks of the Famennian stage of the Kinashivska structure

Fig. 4, 5 show the main statistical characteristics of the distributions of four geophysical parameters for all selected lithological types of rocks. It should be noted that these parameters are the main parameters used in the lithological decomposition of formations. Their peculiarity is that the factor of lithology significantly affects the readings of their logging methods, GR, NGR, sonic log, resistivity. All the parameters, presented here, have a different physical nature, which helps to conduct lithological diagnostics of rocks as efficiently as possible, taking into account different physical properties of

deposits. It is clearly visible that the crossing of distributions within even $\pm$ one standard deviation (StDev) of the values is quite significant for most of the main lithological groups. This primarily concerns argillites, siltstones, sandstones and marls. According to the data of petrographic and petrophysical studies of the core material, the reservoir properties are characteristic of sandstones, siltstones and limestones in the well sections of the Kinashivska structure. Layers of limestones in well sections have a wide range of variability of porosity, which is due to different facies conditions of

carbonate formation. However, the main reservoirs of the oil-saturated part of the section (according to the test data) are sandstones and siltstones.

Results

Actually, all the above-mentioned aspects of the use of these logging methods were lauded as a basis for the lithological decomposition of the section. In fig. 6, 7 there are tablets of logging diagrams from sections of one of the wells of Kinashivska structure with the interpretational results.

As noted, the construction of the lithological column was initially performed in a classic way – manually, taking into account all geological, geophysical, and core information (the left lithological column Lithology (start) in fig. 6, 7) based on the well-known domestic system GeoPoisk. Different areas of the section with a mixed lithological composition – terrigenous,

carbonate, coal and salt-bearing rocks – were chosen for the demonstration. Of course, subjective, sometimes erroneous (or ambiguous) decisions of the petrophysicist can take place in a well section that is very difficult to interpret. To check the results of the interpretation in order to reduce random errors in individual layers, the procedure of creating "images" or interpretive models "logging-lithology" using the technology of artificial neural networks (ANN) was used. In our case, the popular Statistica-12 program, which has the Automated Neural Networks module, was used as an auxiliary. This program was chosen because it uses proven, repeatedly tested algorithms for creating ANNs, the description of which is given in the reference information for this program. The architecture of MLP – multilayer perceptron neural network was chosen as the basis for training.

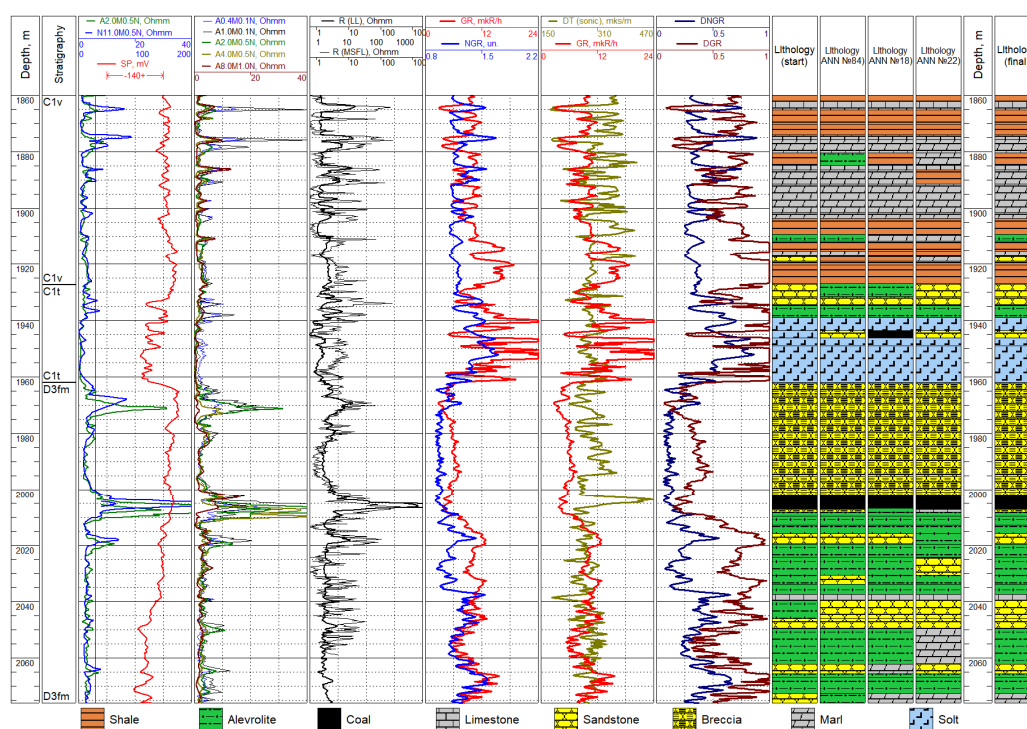


Fig. 6. Results of the refinement of the qualitative interpretation of the data of a typical well-logging complex for the purpose of lithological decomposition of the Kinashivska structure well section using neural network technology (D₃fm, C₁t, C₁v strata)

Multilayer perceptrons (MLP) is perhaps the most popular network architecture in use today, originally due to Rumelhart and McClelland (1986) and discussed at length in most neural network textbooks (Bishop, 1995). Each neuron performs a weighted sum of its inputs and passes it through a transfer function f to produce their output. For each neural layer in an MLP network, there is also a bias term. A bias is a neuron in which its activation function is permanently set to 1. Just as like other neurons, a bias connects to the neurons in the layer above via a weight, which is often called threshold. The neurons and biases are arranged in a layered feedforward topology. The network thus has a simple interpretation as a form of input-output model, with the weights and thresholds as the free (adjustable) parameters of the model. Such networks can model functions of almost arbitrary complexity with the number of layers and the number of units in each layer determining the function complexity. Important issues in Multilayer Perceptrons design include specification of the number of hidden layers and the number of units in these layers (Bishop, 1995). Other aspects include the choice of

activation functions and training methods (Statistica. Electronic manual).

More detailed information about neural network modeling algorithms, in particular MLP, can be found in special literature. We used this technology precisely because it allows creating complex model relationships between quantitative and qualitative parameters, and dependencies can have discontinuous-nonlinear multivariate relationships. The following parameters were used as input continuous numerical data: electrical resistivity (LL method), GR data, values of the double difference parameters GR and NGR (DGR, DNGR), interval time of the longitudinal wave of the sonic method – ΔT (DT). The stratigraphic affiliation of the rocks was also used as input data. The initial information was the result of the previous manual lithological dissection of the section. After multiple repetitions of modeling neural networks in the Statistica program, an ensemble of 3 ANNs of the MLP type (12–10–8 architecture) was selected with a verification efficiency of at least 81 % (ANN №18 – 87 %; ANN №22 – 81 %; ANN №84 – 87 %). Fig. 6, 7 show lithological columns synthesized by corresponding ANNs. The effectiveness of

the segmentation, i.e. the comparison of the simulated lithological types of rocks of the ANN with the initial ones

performed by us, is clearly demonstrated in the tab. 1 (one network, No.84, is chosen as an example).

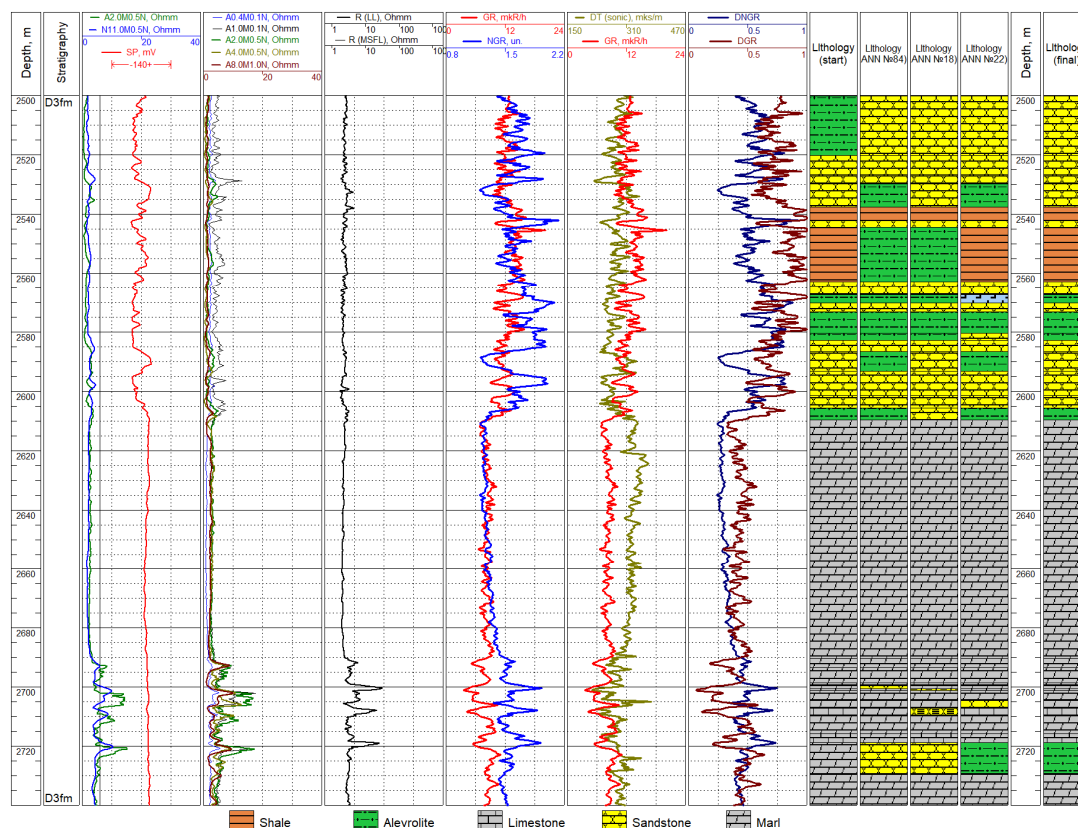


Fig. 7. Results of the refinement of the qualitative interpretation of the data of a typical well-logging complex for the purpose of lithological decomposition of the Kinashivska structure well section using neural network technology (famennian stage D₃fm)

Table 1

Table of the efficiency of lithological dissection, implemented by ANN No.84 in comparison with the initial (manual) dissection of the strata (efficiency 87%)

Predicted (ANN)	Shale	Alevrolite	Sandstone	Breccia	Limestone	Marl	Coal	Solt
84.MLP 12-10-8-Alevrolite	4	41	10	0	0	1	0	0
84.MLP 12-10-8-Breccia	0	0	0	7	0	0	0	0
84.MLP 12-10-8-Coal	0	0	1	0	0	0	3	0
84.MLP 12-10-8-Limestone	0	0	0	0	24	1	0	0
84.MLP 12-10-8-Marl	1	0	1	0	3	20	0	0
84.MLP 12-10-8-Sandstone	0	6	43	0	2	5	0	1
84.MLP 12-10-8-Shale	36	1	1	0	0	0	0	0
84.MLP 12-10-8-Solt	0	0	0	0	0	0	0	3

All implementations of lithological segmentation with the help of ANN testify to the high efficiency of the technology. Moreover, in many cases of discrepant results in individual layers with the initial (manual) dissection performed by a person, neural networks showed more correct results. That is, subjective errors in interpretation were eliminated as much as possible. After analyzing the modeling results, comparing the initial data regarding the assignment of lithological affiliation to individual layers (a total of 218 layers were selected in the section), the final column of the results of the lithological segmentation of the strata was formed. The results of ANN modeling were taken into account as much as possible. Assignment of a specific layer lithotype is based on the results of the maximum correspondence to the same results in 4 columns.

Discussion and conclusions

The specific example of lithological dissection of a very complex (and difficult) strata by geophysical characteristics

(Upper Devonian, Lower and Middle Carboniferous deposits) shows that the use of neural network technologies allows solving several problems. Firstly, the number of errors of the interpreter when assigning a specific lithological type to individual layers is significantly reduced – by comparing the results of one's own manual interpretation with the results simulated by an ensemble of artificial neural networks in a specific well. Secondly, there is an opportunity to perform the task of lithological dissection in other wells of this area as objectively as possible by using ready-made models of artificial neural networks (ANN). At the same time, the main function of the interpreter is the "creative" analysis of the results of the dissection of the well strata based on ANN. The approach presented in the article to increase the reliability of the qualitative interpretation of logging data on the example of a rather problematic section of Upper Devonian, Lower and Middle Carboniferous rocks can be enhanced by the improvement of the ANN model by further training it on an

array of neural model dissection with an efficiency higher than the given specific verification threshold.

Authors' contribution: Ivan Karpenko – general concept of research, geological basis of the research conducted, writing the initial version (draft) of the article, conclusion; Serhii Levoniuk – geological data interpretation, formation analysis, making significant changes and additions to the article; Oleksiy Karpenko – statistical processing and data filtering, neural network modeling, making significant changes and additions to the article; Andrii Loktiev – data validation.

Acknowledgments, funding sources. The work was largely carried out within the framework of the international scientific project № 101008140 – EffectFact – H2020-MSCA-RISE-2020.

References

- Vakarchuk, S. G. (2016). Assessment of the oil and gas potential of the compacted rocks of the Devonian complex of the Dnieper-Donets basin. *Oil and gas industry of Ukraine*, 1, 14–18 [in Ukrainian]. <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/3827/1/5649p.pdf>.
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Orlyuk, M., Drukarenko, V., Reva, M., & Shabaturo O. (2019). Petrophysical parameters of rocks of the Visean stage (Lokhivitsky zone of the Dnieper-Donets Basin). *Geophysical Journal*, 41, 2, 145–160 [in Ukrainian] <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i4.2019.177380>.
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., & Shabaturo, O. (2021). Electric and elastic parameters of condensed rocks of the northern edge of the Dnieper-Donets depression. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3 (94), 37–45 [in Ukrainian] <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.04>.

Іван КАРПЕНКО^{1,2}, канд. геол. наук
e-mail: karpenko.i.geoscience@gmail.com

Сергій ЛЕВОНІУК², канд. геол. наук
e-mail: serhii.levoniuk@ugv.com.ua

Олексій КАРПЕНКО³, д-р. геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-5780-0418
e-mail: okarpenko.geol@knu.ua

Андрій ЛОКТЕВ⁴, канд. геол. наук
ORCID ID: 0000-0003-3640-8473
e-mail: shon327@hotmail.com

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

²НАК "Нафтогаз України", Київ, Україна

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

⁴ТОВ "Інститут геології", Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОНОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ЛІТОЛОГО-ФАЦІАЛЬНОМУ РОЗЧЛЕНУВАННІ ВІДКЛАДІВ ДЕВОНУ І КАРБОНУ ЗА ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИМИ ДАНИМИ (ПІВНІЧНО-ЗАХІДНА ЧАСТИНА ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ)

Вступ. Приріст запасів вуглеводнів у старих нафтогазовидобувних регіонах значною мірою може бути реалізований за рахунок переінтерпретації геолого-геофізичних даних на старому фонді свердловин. Як у межах існуючих родовищ, так і на площах, які за певними обставинами були у свій час оцінені як неперспективні. На даному етапі геологорозвідувальних робіт виконується значна робота з переінтерпретації даних геофізичних досліджень у пропущених інтервалах свердловин старого фонду, у тому числі – пошукових і розвідувальних свердловин. Подібні роботи виконуються на глибокі горизонти (девон), а також на відклади мезозою, які в минулому столітті не були першочерговими в плані перспективності на багатьох площах. Наявний геолого-геофізичний матеріал свідчить про значні труднощі щодо правильної ідентифікації пластів у межах указаних стратонів.

Методи. Проаналізовано результати геофізичних, петрографічних і петрофізичних досліджень по відкладах, що вивчалися. Застосовано методи статистичного аналізу з метою встановлення можливості використання методів розпізнавання образів для літолого-фаціального розчленування розрізів свердловин за даними геофізичних досліджень.

Результати. Завдяки використанню технології нейронних мереж перевірено надійність традиційної геологічної інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин. Підвищено достовірність встановлення літолого-фаціальної належності окремих пластів у розрізах свердловин верхнього девону, нижнього і середнього карбону – шляхом застосування ансамблю розрахованих нейронних мереж. Запропоновано оригінальний підхід щодо реалізації технології нейронних мереж при інтерпретації геолого-геофізичних даних.

Висновки. Розглянуто геофізичні характеристики потенційно перспективних горизонтів, які раніше пропускались. Вказано завдання, які слід вирішувати, а також шляхи підвищення достовірності геологічної інтерпретації даних промислової геофізики в різновікових товщах. Зокрема розглянуто можливість і доцільність використання машинного навчання на основі нейронних мереж.

Ключові слова: горизонт, колектор, літологія, девон, нейронні мережі, геофізичні дослідження свердловин.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

Karpenko, O., Mykhailov, V., & Karpenko, I. (2015). Eastern Dnieper-Donets depression: Predicting and developing hydrocarbon resources. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 68, 49–54 [in Ukrainian] http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_geol_2015_1_11.

Lukin, O. Yu. (2006). Devonian of the Dnieper-Donets avlakenogen (tectono-sedimentary complexes, formations, genetic types of deposits and lithogeodynamics). *Geological Journal*, 2–3, 26–46 [in Ukrainian] http://catalog.library.tnpu.edu.ua:8080/library/DocDescription?doc_id=229352

Lukin, A. (1997). *Lithogeodynamic factors of oil and gas accumulation in avlakenogen basins*. Naukova dumka [in Russian].

Lukin, A. (2008). Devonian rifogenic-carbonate complexes of the Dnieper-Donets avlakenogen and prospects for their oil and gas potential *Geological Journal*, 3 (324), 7–26 [in Russian] http://catalog.library.tnpu.edu.ua:8080/library/DocDescription?doc_id=344534.

Rybalka, S., & Karpenko, O. (2016). Central part of the Dnieper-Donets Basin: Reservoir properties of deep-laid terrigenous rocks. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(72), 56–59 [in Ukrainian] http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_geol_2016_1_10

Stryzhak, V. P., Polishchuk, M. B., & Korzhnev, P. M. (2013). Prospects of oil and gas potential of the Devonian subsalt deposits of the northwestern part of the Dnieper-Donet Basin. *Tectonics and Stratigraphy*, 40, 102–109 [in Ukrainian] <https://doi.org/10.30836/igs.0375-7773.2013.94058>.

Bagrii, I., Starodubets, K., Malyshev, O., & Glon, V. (2023). Hydrocarbon potential of Devonian sediments of the Chernihivsko-Brahynskoho perspective district. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(101), 57–61. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.101.08>

Bishop, C. (1995). *Neural Networks for Pattern Recognition*. University Press, Oxford.

Отримано редакцією журналу / Received: 20.12.23

Прорецензовано / Revised: 13.04.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

УДК 550.3

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.06>

Наталія РУСАЧЕНКО, асп.

ORCID ID: 0000-0002-7407-696X

e-mail: rusachenko_natasha@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Павло КУЗЬМЕНКО, канд. геол. наук, доц.

ORCID ID: 0009-0007-0157-9391

e-mail: pavlo.kuzmenko@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНІ АЛГОРИТМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ СОЛЯНО-КУПОЛЬНОЇ ТЕКТОНІКИ ЗА СЕЙСМІЧНИМИ ДАНИМИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.В. Шабатурою)

Обробка сейсмічних даних, в умовах складної соляно-купольної тектоніки Дніпровсько-Донецького басейну, вимагає особливої уваги до оконтурення тіла соляного штока. Статтю присвячено аналізу методичних принципів застосування високотехнологічних алгоритмів обробки сейсмічних даних, які стали галузевими стандартами в провідних сервісних геофізичних компаніях, а в Україні тільки починають включатися до послідовності процедур обробки сейсмічної інформації.

Детально описано переваги пре-стек глибинної міграції порівняно з часовою міграцією, результати якої можуть містити "pull up" та "push down" ефекти. Також висвітлено результати міграції зворотного часу (RTM), що значно покращила простеження горизонтів, на прикладі матеріалів Дніпровсько-Донецької западини, у прирозломних та приштокових зонах. Проаналізовано результати повнохвильової інверсії (FWI) для візуалізації соляно-купольної тектоніки та візуалізації штоків.

Розглянуто комплексне використання глибинної міграції, RTM та FWI під час обробки масиву сейсмічних даних у межах румунської частини Карпат. Результати ілюструють покращення роздільної здатності, сейсмічні горизонти стали більш регулярними, вдалося уникнути переходу з фази на фазу. Також оконтурено просторові межі розломів та соляні тіла.

Наголошено, що сейсмічні дані, які максимально відображають реальне геологічне середовище, можуть бути отримані тільки в результаті синергічного поєднання досконалих варіантів систем спостереження та обробки, достовірних швидкісних моделей та сучасних алгоритмів міграції як елементів технології загалом. Комплексне застосування цих технологій демонструє узгоджені геологічні результати та створює передумови для виявлення нових родовищ та пасток вуглеводнів, що приурочені до зон розвитку солянокупольної тектоніки Дніпровсько-Донецької западини.

Ключові слова: сейсмічна обробка, пре-стек глибинна міграція, міграція зворотного часу (RTM), повнохвильова інверсія (FWI).

Вступ

З геологічного погляду центральна частина Дніпровсько-Донецького западини (ДДЗ) є складною територією, у геологічній будові якої значну роль відіграють девонські соляні куполи та діапіри. Ці формації утворювалися епізодично в кілька етапів, які чергувалися з періодами стабільності та викликані тектонічними рухами (Stovba, & Stephenson, 2012). Підняття солі деформувало шари гірських порід, тому горизонти біля соляного купола мають великий кут падіння, що в окремих випадках досягає 90 градусів. Присольові відклади можуть утворювати пастки та відповідні умови для накопичення вуглеводнів, тому важливо отримати якомога більш інформативні зображення тіла соляних штоків сейсмічними методами.

Обробка сейсмічних даних, в умовах складної соляно-купольної тектоніки Дніпровсько-Донецького басейну, вимагає особливої уваги до оконтурення тіла соляного штока. З цією метою у вітчизняну практику було введено застосування таких високотехнологічних процедур, як глибинна міграція, міграція зворотного часу та повнохвильова інверсія, що допомагає визначити нові перспективи використання сейсмічних даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прагнення геофізиків зменшити ризики буріння привело до потреби вдосконалення візуалізації геологічного середовища. Першим кроком стало використання алгоритму глибинної міграції для даних Мексиканської затоки (Ratcliff, Gray, & Whitmore, 1991). Було протестовано два алгоритми глибинної міграції. Перший підхід використовував тривимірне рішення рівняння Ейконала. Другий підхід використовує динамічне трасування променів для їх відстеження у тривимірній моделі. Результати тестування на синтетичних і реальних сейсмічних даних

показали, що використання структурно-тектонічної моделі підвищує точність алгоритму.

Процес галокінезу призводить до утворення соляних структур складної форми, що створює проблеми для побудови сейсмічної швидкісної моделі та, відповідно, для алгоритму сейсмічної міграції. Для вирішення поставленого завдання було розроблено ряд нових алгоритмів міграції (McMechan, 1983; Hale, Hill, & Stefani, 1992; Jones, 2008; Мармалевский, Костюкевич, & Дуброва, 2013). Однак, незважаючи на прогрес в алгоритмах міграції, створення реалістичної моделі геологічного середовища залишається актуальною задачею (Jones, 2008; McCann, & Viz, 2012) тощо.

Для розв'язання проблеми побудови достовірної швидкісної моделі для отримання геологічно-змістовних результатів обробки сейсмічних даних в останнє десятиріччя вийшла низка статей, які доводили ефективність використання алгоритму FWI для областей зі складною тектонікою (Ramos-Martinez et al., 2017; Whitmore et al., 2020).

Вітчизняні науковці вивчали комплексні підходи для отримання максимально змістовного сейсмічного зображення. А.Н. Тяпкіна, Ю.К. Тяпкін, Е.Ю. Тяпкіна (Тяпкина, Тяпкин, & Тяпкина, 2017) доводили, що сучасні методи широко- і повноазимутальної зйомки в поєднанні із графом обробки, який включає застосування похилої трансверсально-ізотропної моделі геологічного середовища, міграції у зворотному часі та спеціальних процедур обробки, створюють передумови для отримання достовірної моделі геологічного середовища та її подальшої поглибленої інтерпретації.

Над питанням удосконалення графу обробки для побудови сейсмічних зображень соляних штоків працював Н.Я. Мармалевський (Мармалевский, Костюкевич, & Дуброва, 2013). Його робота присвячена виявленню та

простеженню субвертикальних відбиваючих границь. Автори застосовували міграцію дуплексних хвиль, яка може використовуватися як складова комплексного підходу для вирішення задач вивчення соляно-купольної тектоніки.

Мета досліджень – описати та проаналізувати процедури сейсмічної обробки, що дають змогу отримати максимально наближений до реального геологічного середовища результат. Висвітлити перспективи застосування алгоритмів PSDM, RTM та FWI, які вже стали галузевими стандартами у провідних сервісних геофізичних компаніях, а нині починають бути частиною графу обробки вітчизняних даних.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Використання усталених алгоритмів обробки сейсмічних даних сьогодні виявляється недостатнім для побудови достовірної моделі геологічного середовища в ускладненому соляно-купольною тектонікою геологічному розрізі Дніпровсько-Донецької западини. Тому застосування світового досвіду у використанні відповідних високотехнологічних алгоритмів на перспективних площах та родовищах ДДЗ вважається авторами одним із найефективніших підходів для розв'язання зазначеної проблеми.

Результати

PSDM. Пре-стек глибинна міграція. Зазвичай має на увазі найбільш широкозастосовувана у

нафтогазовій індустрії міграція за алгоритмом Кірхгофа (https://wiki.seg.org/wiki/3-D_prestack_depth_migration). Узагальнено це процес міграції, під час якого дані підсумовуються після того, як була виконана міграція в глибинному домені. Для даного типу міграції використовується пластова швидкісна модель. Алгоритм придатний як для вертикальних, так і латеральних варіацій сейсмічних швидкостей. Пре-стек глибинна міграція має важливе значення для отримання сейсмічних зображень у областях, де існують структури з крутим кутами нахилу горизонтів, наприклад уздовж соляних куполів або в зонах скидових розломів. Також даний тип міграції є стандартом для вирішення задач кількісної інтерпретації та прогнозування характеристик геологічного розрізу.

На рис. 1 показано приклади виникнення помилок під час побудови сейсмічних зображень у припущенні середньшвидкісної моделі, що зумовлені варіаціями латеральної швидкості. Ефект "pull up" – це підняття сейсмічних горизонтів, спричинене поширенням сейсмічних хвиль з формацій із вищою швидкістю сейсмічних хвиль у формації з нижчою. Ефект "push down" – це опускання сейсмічних горизонтів, спричинене поширенням сейсмічних хвиль з формацій із нижчою швидкістю у формації, де швидкість вища. Використання пре-стек глибинної міграції дає змогу позбавитися цих помилок.

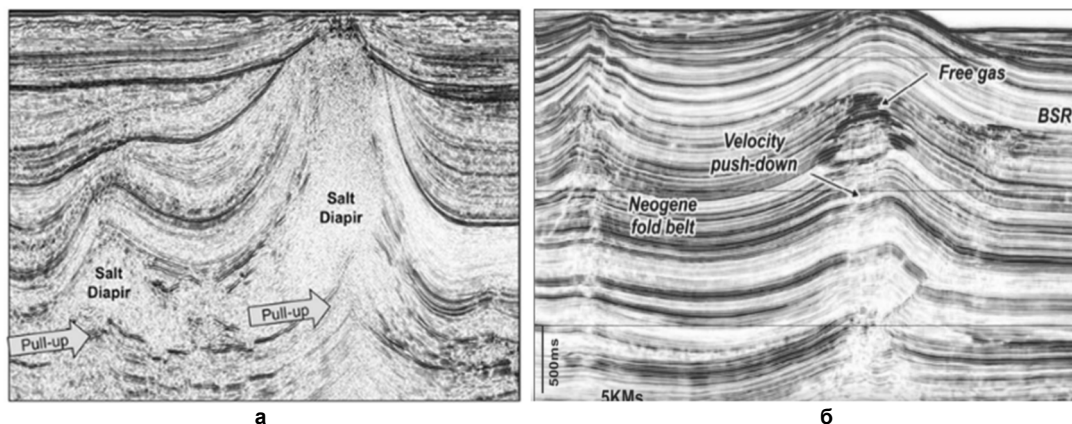


Рис. 1. Приклади спотворення геометрії горизонтів на даних часової міграції перед підсумовуванням (PSDM): а – "pull up" ефект (Marfurt et al., 2014); б – "push down" ефект (Hajana, 2015)

RTM. Reverse time migration – високотехнологічна процедура, яка обчислює чисельні розв'язки повного хвильового рівняння. Згідно з міжнародним досвідом, RTM є точним методом сейсмічної візуалізації для крутих і вертикальних геологічних (акустично-контрастних) границь. Застосування RTM на наземних 3D WAZ даних є великим викликом у Дніпровсько-Донецькому басейні через погану якість даних з низьким співвідношенням сигнал/завада та нерегулярну просторову вибірку через пропуски в розстановці та відсутність трас.

Для RTM використовують нерегуляризовані дані з вихідним положенням пунктів збудження та реєстрації. Це впливає на результат присольових сейсмічних відбиттів. Аналіз результатів KPSDM та RTM для двох площ виявив однакові особливості. Сейсмічні дані RTM виглядали більш згладженими, але для горизонтів з крутими кутами падіння та по латералі простежувалася краща когерентність. Також відмінності між даними KPSDM та RTM полягають у спектрі, оскільки перші характеризуються повним діапазоном спектра сейсмічних частот. У свою чергу, RTM під сіллю має відбиття з крутими кутами падіння горизонтів, які не спостерігаються на KPSDM. Це допомагає визначити нові перспективні ділянки за

допомогою алгоритму RTM. Даний алгоритм показав результати, що узгоджуються з геологією регіону та потенційно можуть допомогти відкрити вуглеводневі пастки та окреслити соляні штоки у складній геології Дніпровсько-Донецького басейну.

Сейсмічні дані RTM виглядають більш згладженими, але для крутоспадних пластів їх латеральні протяжні відбиття виглядають набагато краще. Частотно-обмежений алгоритм RTM виявився ефективним, особливо на рівні сольових і підсольових відкладів для покращення сейсмічного зображення порівняно з більш простим алгоритмом міграції Кірхгофа. Разом з тим у верхній частині (1000 м) RTM є тіньові зони, спричинені низькою кратністю, яка зумовлена поверхневими умовами та нерегулярністю сейсмічної зйомки (червоний прямокутник) (рис. 2). Крутонахилені відбиваючі горизонти, сформовані тектонічними рухами геологічних структур, погано спостерігаються на розрізі PSDM, але результати RTM відновлюють відбиваючі горизонти, що мають круті кути нахилу. Це показано на малюнках жовтими стрілками.

Результати PSDM за алгоритмом Кірхгофа та RTM наведено на рис. 2.

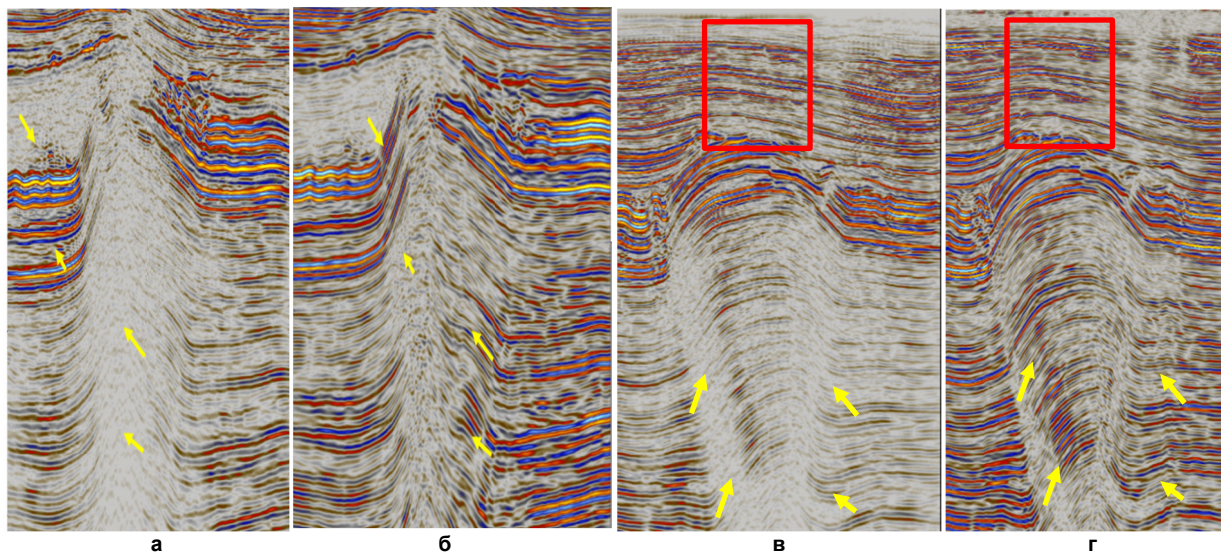


Рис. 2. Порівняння результатів а, в – пре-стек глибинна міграція Кірхгофа; б, г – RTM (Kuzmenko et al., 2021)

Максимального ефекту досягнуто при поєднанні широкоазимутальних даних із трансверсально-ізотропною моделлю швидкості з похилою віссю симетрії. У цьому випадку відбиття від осадових порід під соляним штоком мінімально спотворені завадами та чітко простежуються до границі із сіллю. Алгоритм RTM у поєднанні із широкоазимутальною системою спостережень дає змогу впевнено виділити ніжку штока і надійніше закартувати відбиття від геологічних горизонтів у приштоковій зоні.

FWI. Full-waveform inversion – це сучасний процес побудови швидкісної моделі, який долає обмеження

існуючих методів. FWI використовує початкову швидкісну модель та застосовує послідовність лінеаризованих інверсій, щоб вирішити повну нелінійну проблему FWI та її оновлення.

Алгоритм здатен зіставляти синтетичну сейсмічну інформацію з оригінальним набором польових даних. Це досягається ітераційно шляхом визначення різниці між змодельованими та реальними даними (рис. 3). Будь-який граф побудови швидкісної моделі для пре-стек глибинної міграції може використовувати з урахування даних FWI.

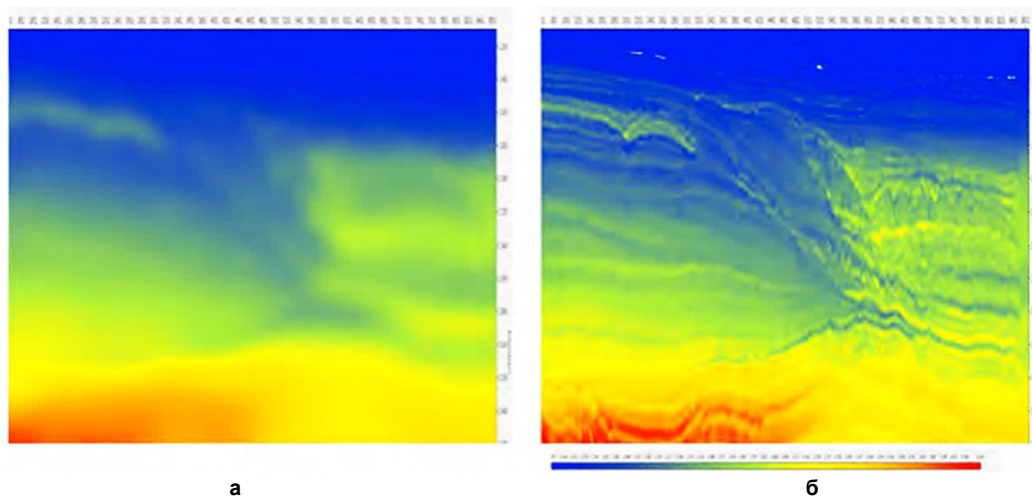


Рис. 3. Порівняння швидкісної моделі після томографії (а) та швидкісної моделі після алгоритму FWI (б) (Kapoore et al., 2013)

Основні переваги FWI такі:

- використання спадних, заломлених та відбитих хвиль одночасно для забезпечення побудови точних швидкісних моделей;
- усунення артефактів міграції, що приводить до отримання точних моделей швидкості у глибинній області;
- покращення якості сейсмічних зображень разом з отриманням характеристики колектора.

Результати комплексного застосування алгоритмів.

Важливість створення швидкісної моделі та необхідність використання комплексного підходу проілюстрував

у своїй статті I.F. Jones (2008). Автор на прикладі змодельованих даних із структурами Північного моря показав недоліки у використанні так званої соляної моделі (оконтурення ймовірних меж соляного штоку з метою використання в межах виділеної структури значення швидкості поширення сейсмічних хвиль у сольових відкладах). Зображення стінок соляного штоку виглядає краще в моделі без солі (рис. 4). Автори статті наголошують на наявності взаємозв'язку швидкісної моделі та точності візуалізації субвертикальних стінок соляних штоків.

У статті (Meffre et al., 2022) розглянуто комплексне використання глибинної міграції, RTM та FWI під час

обробки масиву сейсмічних даних. Площі територіально розташовувалися в межах румунської частини Карпат. Як видно з результатів, представлених на рис. 5, покращилася роздільна здатність, сейсмічні горизонти стали більш регулярними, вдалося уникнути переходу із фази на фазу. Також оконтурені просторові межі розломів та соляні тіла. Отримані результати рекомендовано використовувати під

час розробки родовищ. Це підвищує достовірність сейсмічних даних та знижує ризики буріння.

У статті (Dolytny et al., 2022) проаналізували зазначений комплексний підхід на прикладі матеріалів Басейну Кампос (Бразилія) (рис. 6). Стрілки показують покращення візуалізації підсолевих відбиттів. Колом виділено розломи рифтової стадії, які зафіксовано на ображенні FWI.

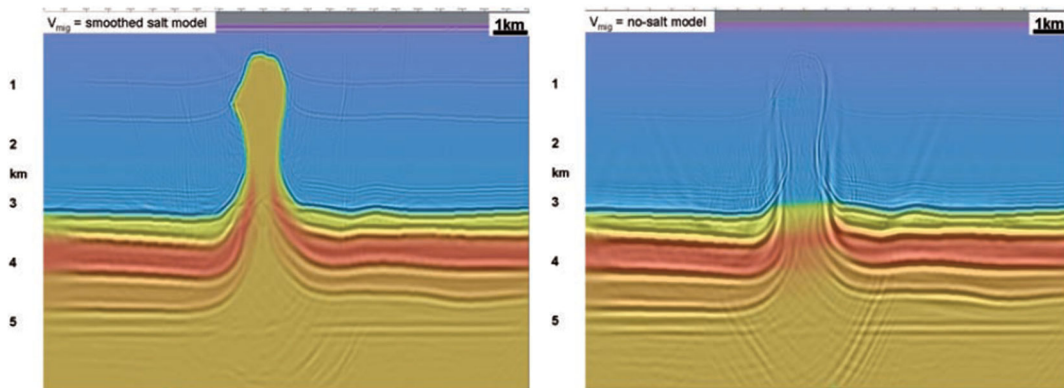


Рис. 4. Результати RTM із моделлю солі (a) та без моделі солі (b) (Jones et al., 2008)

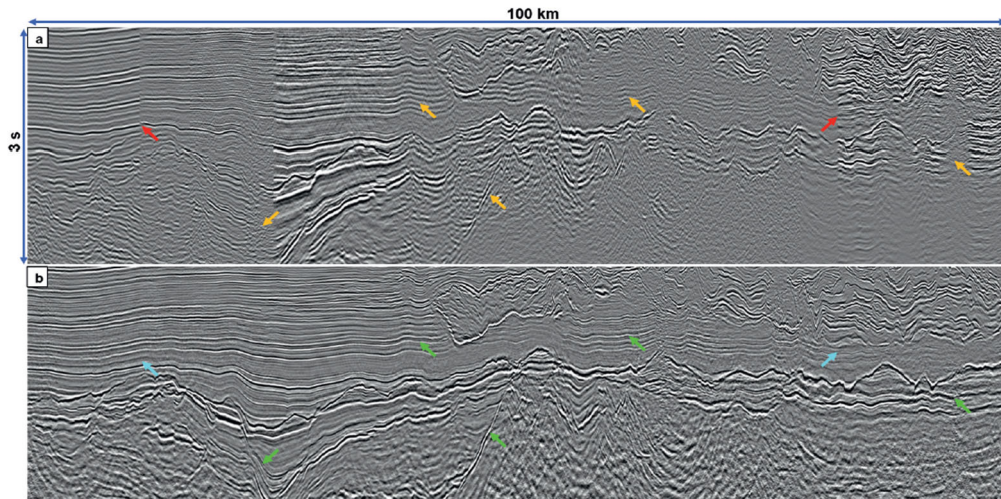


Рис. 5. Порівняння результатів різних типів міграції:

a – результати пре-стек часової міграції (PSTM); b – узагальнені результати PSDM, RTM та FWI (Meffre et al., 2022)

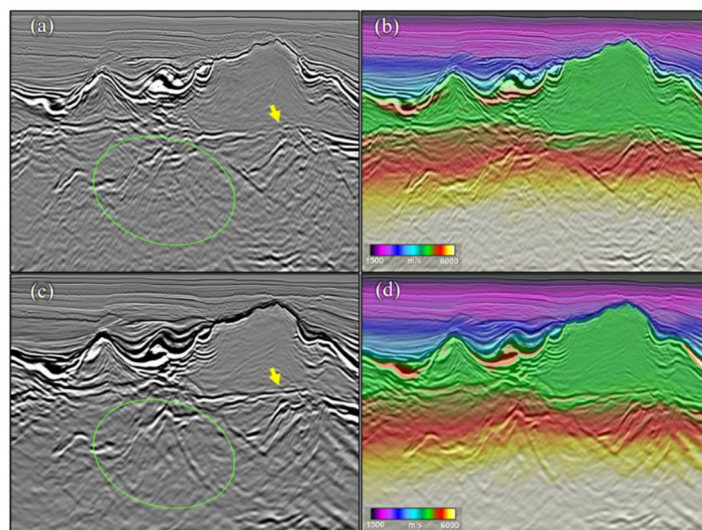


Рис. 6. Результати RTM міграції (a); результати RTM міграції із накладеною швидкісною моделлю (b); результати FWI (c); результати FWI 20 Гц із накладеною оновленою швидкісною моделлю (d) (Dolytny et al., 2022)

Висновки

Різноманітні типи пасток вуглеводнів, пов'язаних з розвиненими соляними тілами, не можуть бути надійно виявлені та підтверджені бурінням без попереднього отримання достовірних сейсмічних результатів. Такими результатами є якісні швидкісні моделі та сейсмічні зображення геологічного середовища. Стаття розкриває вітчизняний і міжнародний досвід – як за допомогою сучасних алгоритмів і технологій можна отримати покращені зображення геологічного середовища та підвищити інформативність геологічних моделей. Серед таких технологій можна виділити глибинну міграцію, міграцію зворотного часу та повнохвильову інверсію. Комплексне застосування цих технологій демонструє узгоджені геологічні результати та створює передумови для виявлення нових родовищ і пасток вуглеводнів, приурочених до зон розвитку солянокупольної тектоніки Дніпровсько-Донецької западини.

Внесок авторів: Наталія Русаченко – концептуалізація, формальний аналіз, методологія, написання (оригінальна чернетка); Павло Кузьменко – валідація даних, написання (перегляд і редагування).

Список використаних джерел

- Мармалевський, Н., Костюкевич, А., & Дуброва, Г. (2013). Миграция дуплексных волн и приближение угольковых отражателей. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*, 4, 22–29.
- Тяпкина, А., Тяпкин, Ю., & Тяпкина, Е. (2017). Сочетание усовершенствованной системы наблюдения, обработки, скоростной модели и миграции для построения сейсмических изображений в районах с интенсивной соляной тектоникой. *Геофізичний журнал*, 39, 3–21. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i2.2017.97347>
- Dolymnyj, C., Rodrigues, F., Porto, A., Galves, L., & Ovalles, A., (2022). Assessing FWI imaging's potential to tackle illumination issues and internal multiples in the Brazilian presalt. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 782–786. <https://doi.org/10.1190/image2022-3749870.1>
- Hajana, M. (2015). *Seismic characterisation of fluid leakage in marine sediments*. SEG. <https://doi.org/10.1190/int-2014-0122.1>
- Hale, D., Hill, N.R., & Stefani, J.P. (1992). Imaging salt with turning seismic waves. *Geophysics*, 57, 1453–1462.
- Jones, I., Bloor, R., Biondi, B., & Etgen, J. (Eds.). (2008). *Prestack Depth Migration and Velocity Model Building*. Society of Exploration Geophysicists.
- Kapoor, S., Vigh, D., Wiarda, E., & Alwon, S. (2013). Full Waveform Inversion Around the World. *75th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2013*, Jun 2013, cp-348-00693. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20130827>
- Kuzmenko, P., & Rusachenko, N. et al. (2021). Some Aspects of Seismic Data Reverse Time Migration for Salt Tectonics Geology of the Dnieper-Donets Basin. *SPE Eastern Europe Subsurface Conference, November 23–24, 2021, Kyiv, Ukraine*. doi: <https://doi.org/10.2118/208531-MS>
- Marfurt, K. J., & Alves, T. M. (2014). Pitfalls and limitations in seismic attribute interpretation of tectonic features. *Interpretation*, 3(1), 1F-T41. <https://doi.org/10.1190/INT-2014-0122.1>
- McCann, D. M., & Viz, M. J. (2012). Risk-Based Inspection and Hazard Assessments: Analogs for Civil Infrastructure. *Structures Congress 2015, ASCE 2012*, 1639–1648.
- McMechan, G. A. (1983). Migration by extrapolation of time-depnt boundary values. *Geophysical Prospecting*, 31(3), 412–420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1983.tb01060.x>
- Meffre, A., & Prieux, V. (2022). Revival of legacy land seismic surveys using advanced processing technologies: An example from the Carpathian foothills. *First Break*, 40(1), 45–52. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2022002>

- Ramos-Martinez, J., Shi, J., Qiu L., Valenciano A., & Chemingui N. (2017). Multi-Parameter FWI – Long-Wavelength Updates and Leakage Reduction in Acoustic Anisotropic Media. *79th EAGE Conference and Exhibition 2017, Jun 2017*, Vol. 2017, p. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700834>.
- Ratcliff, D. W., Gray, S. H., & Whitmore, N. D. (1991). Seismic imaging of salt structures in the Gulf of Mexico. *SEG 61 Expanded Abstracts*, 1164–1167. <https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.316.177>
- Stephenson, R., & Stovba, S. (2012). *The Dniepr-Donets Basin, Regional Geology and Tectonics: Phanerozoic Rift System and Sedimentary Basins*. Roberts D.G. and Bally A.W. (Eds), London, pp. 421–436. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-56356-9.00015-8>.
- Whitmore, N., Martin, T., Yang Y., Chemingui, N., Alcantara, T., & Frugier, E. (2021). Efficient reflectivity modelling for full wavefield FWI. *First Break*. 39. 53–58. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2021019>.

References

- Dolymnyj, C., Rodrigues, F., Porto, A., Galves, L., & Ovalles, A., (2022). Assessing FWI imaging's potential to tackle illumination issues and internal multiples in the Brazilian presalt. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 782–786. <https://doi.org/10.1190/image2022-3749870.1>
- Hajana, M. (2015). *Seismic characterisation of fluid leakage in marine sediments*. SEG. <https://doi.org/10.1190/int-2014-0122.1>
- Hale, D., Hill, N.R., & Stefani, J.P. (1992). Imaging salt with turning seismic waves. *Geophysics*, 57, 1453–1462.
- Jones, I., Bloor, R., Biondi, B., & Etgen, J. (Eds.). (2008). *Prestack Depth Migration and Velocity Model Building*. Society of Exploration Geophysicists.
- Kapoor, S., Vigh, D., Wiarda, E., & Alwon, S. (2013). Full Waveform Inversion Around the World. *75th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2013*, Jun 2013, cp-348-00693. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20130827>
- Kuzmenko, P., & Rusachenko, N. et al. (2021). Some Aspects of Seismic Data Reverse Time Migration for Salt Tectonics Geology of the Dnieper-Donets Basin. *SPE Eastern Europe Subsurface Conference, November 23–24, 2021, Kyiv, Ukraine*. doi: <https://doi.org/10.2118/208531-MS>
- Marfurt, K. J., & Alves, T. M. (2014). Pitfalls and limitations in seismic attribute interpretation of tectonic features. *Interpretation*, 3(1), 1F-T41. <https://doi.org/10.1190/INT-2014-0122.1>
- Marmalevsky, N., Kostyukevich, A., & Dubrova, G. (2013). Migration of duplex waves and the approach of corner reflectors. *Collection of scientific works of UkrDGRI*, 4, 22–29 [in Russian].
- McCann, D. M., & Viz, M. J. (2012). Risk-Based Inspection and Hazard Assessments: Analogs for Civil Infrastructure. *Structures Congress 2015, ASCE 2012*, 1639–1648.
- McMechan, G. A. (1983). Migration by extrapolation of time-depnt boundary values. *Geophysical Prospecting*, 31(3), 412–420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1983.tb01060.x>
- Meffre, A., & Prieux, V. (2022). Revival of legacy land seismic surveys using advanced processing technologies: An example from the Carpathian foothills. *First Break*, 40(1), 45–52. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2022002>
- Ramos-Martinez, J., Shi, J., Qiu L., Valenciano A., & Chemingui N. (2017). Multi-Parameter FWI – Long-Wavelength Updates and Leakage Reduction in Acoustic Anisotropic Media. *79th EAGE Conference and Exhibition 2017, Jun 2017*, Vol. 2017, p. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700834>.
- Ratcliff, D. W., Gray, S. H., & Whitmore, N. D. (1991). Seismic imaging of salt structures in the Gulf of Mexico. *SEG 61 Expanded Abstracts*, 1164–1167. <https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.316.177>
- Stephenson, R., & Stovba, S. (2012). *The Dniepr-Donets Basin, Regional Geology and Tectonics: Phanerozoic Rift System and Sedimentary Basins*. Roberts D.G. and Bally A.W. (Eds), London, pp. 421–436. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-56356-9.00015-8>.
- Tyapkina, A., Tyapkin, Y., & Tyapkina, E. (2017). Combining an advanced observation system, processing, velocity model and migration for seismic imaging in areas with intense salt tectonics. *Geophysical Journal*, 39, 3–21. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i2.2017.97347> [in Russian].
- Whitmore, N., Martin, T., Yang Y., Chemingui, N., Alcantara, T., & Frugier, E. (2021). Efficient reflectivity modelling for full wavefield FWI. *First Break*. 39. 53–58. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2021019>.

Отримано редакцією журналу / Received: 02.09.23

Прорецензовано / Revised: 27.03.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Natalia RUSACHENKO, PhD Student (Geol.)
ORCID ID: 0000-0002-7407-696X
e-mail: rusachenko_natasha@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Pavlo KUZMENKO, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0009-0007-0157-9391
e-mail: pavlo.kuzmenko@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

HIGH-TECH ALGORITHMS FOR VISUALIZATION OF SALT-DOME TECTONICS ON SEISMIC DATA

Processing of seismic data, in the conditions of complex salt-dome tectonics of the Dnipro-Donetsk basin, requires special attention to the outline of the body of the salt shaft. The article is devoted to the analysis of methodological principles of applying high-tech seismic data processing algorithms, which have become industry standards in leading service geophysical companies, and in Ukraine are just beginning to be included in the seismic data processing workflow.

The advantages of pre-stack depth migration compared to pre-stack time migration were described and one of them is absence of "pull up" and "push down" effects. In addition, the Reverse time migration (RTM) significantly improved the continuity of horizons, which is illustrated by data from the Dnieper-Donetsk basin. Full-waveform inversion (FWI) for visualizing the salt-dome tectonics and diapirs are described in detail.

The integrated use of depth migration, RTM and FWI during the seismic data processing within the Romanian part of the Carpathians was considered. There is improvement of the resolution, the seismic horizons became more continuous, it became possible to avoid phase mismatch. Faults and salt bodies are also better visualized.

Seismic data that maximally reflect the real geological environment can be obtained only as a result of a synergistic combination of perfect options for observation and processing systems, reliable velocity models, and modern migration algorithms as elements of technology in general. The complex application of these technologies demonstrates consistent geological results and creates prerequisites for the discovery of new deposits and hydrocarbon traps, which are confined to the zones of development of salt dome tectonics of the Dnipro-Donetsk basin.

Key words: seismic processing, pre-stack depth migration, reverse time migration (RTM), full-waveform inversion (FWI).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

UDC 553.98(262.81)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.07>

Elena POGORELOVA¹, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-2412-4441
e-mail: yy_pgrlova@mail.ru

Murad ABDULLA-ZADA¹, PhD (Earth sciences)
ORCID ID: 0009-0001-4150-8340
e-mail: murad.abdullazade@asoiu.edu.az

Lala ABILHASANOVA², Deputy Chief of Geology Department
e-mail: lala.abilhasanova@socar.az

Telli SHIKHMAMMADOVA², Team Leader
e-mail: telli.shixmammadova@socar.az

¹Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan
²SOCAR, Exploration Geophysics Department, Baku, Azerbaijan

SEISMIC-GEOLOGICAL ANALYSIS OF THE SOUTH CASPIAN MEGA DEPRESSION EVOLUTIONARY DEVELOPMENT TO IDENTIFY HYDROCARBON ACCUMULATIONS

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

Background. The South Caspian Mega Depression (SCMD) is a territory limited in the west by the Dziruly massif, in the east by the Western Turkmenian Depression (inclusive), in the north by the mountain structures of the Greater Caucasus, Greater Balkhan and in the south restricted by the Lesser Caucasus, Talysh and Albours (including the aquatic area of the Southern Caspian) which in turn is related to the South Caspian oil and gas mega-basin. In the geodynamic model, the SCMD represents the Caucasian segment of the Alpine-Himalayan folded belt (its intermountain part) with elements of the active stage of development inherent in this area – earthquakes, sea level changes, mud volcanism, etc.

Methods. This article examines the history of the development of SCMD based on data from geophysics, drilling, volcanology, geodynamics in order to identify accumulations of hydrocarbons.

Seismogeological sections presented throughout the study area explain the complex geological structure and geodynamics, starting from the baikalian tectonic genesis and up to the present time. The clear boundaries of sedimentary basins and the island arcs surrounding them, which controlled lithology and stratigraphy, make it possible to predict probable petroleum source rock and oil and gas-producing rocks.

Results. The construction of structural multi-temporal sediment surfaces in the Petrel program made it possible to trace the geological development of a certain segment (the South Caspian Aquatic Basin) of the studied territory, to clarify the influence of both long-lived deep and short-term local faults on the petrological composition of sediments and their thickness to determine the contours of possible objects of oil and gas formation.

Conclusions. The approximation of the outlined oil and gas source rocks (by PetroMod modeling) stratigraphic units on the territory of Western Turkmenistan to the western part of the SCMD assumes the allocation of hydrocarbon sources in deep-submerged rocks in the rest of the territory.

The combination of seismometry and volcanology data makes it possible not only to outline geological bodies on seismic profiles, but also to determine their density composition and chemistry by the speed of propagation of seismic waves.

Keywords: South Caspian Mega Depression, Greater Caucasus, Lesser Caucasus, Talysh, Alborz, geodynamic model, hydrocarbon sources.

Background

The South Caspian megadepression (SCMD) is an intermountain trough bounded: from the west by the Dziruly massif, from the east by the West Turkmenian Depression, from the north by the orogens of the Greater Caucasus, Greater Balkhan and from the south by the Lesser Caucasus, Talysh and Alborz, including the waters area of the Southern Caspian (fig. 1). All these structural units are the Caucasian segment of the Alpine-Himalayan folded belt, which is in its active stage of development (earthquakes, sea level changes, mud volcanism, etc.).

The oil and gas potential of this territory is associated to its location on the active margin of the Tethys Ocean, which certainly indicates the presence of hydrocarbon accumulations. For example, the Western Siberia, the Pre-Urals territories and many other oil and gas basins are the ancient active margins of the continents.

The considered territory is part of a united South Caspian oil and gas megabasin, but its geological formation at certain stages took place in different ways.

Volcanogenic sedimentary rocks of the Mesozoic-Quaternary are included into the geological structure of the studied oil and gas basin.

In the Mesozoic period, that territory was represented by the active continental margin of Eurasia and was under

compression conditions associated with the convergence of Gondwana with Eurasia (Golunka, 2007) (fig. 2).

Methods

The history of the development of SCMD based on data from geophysics, drilling, volcanology, geodynamics in order to identify accumulations of hydrocarbons allows optimizing prospecting and exploration methods in oil and gas industry.

To analyze the history of the development of such a large and diverse genesis of the territory, various research methods were applied, in particular, the interpretation of seismic profiles, the construction of structural maps and profiles, the use of chemistry of volcanic rocks to clarify the nature of the geodynamic model in different periods of geological time.

Results

Methodology and laying out the main material

The western border of the SCMD is the Dziruly massif, located on the Georgia territory (Mikhailov, 2017). Towards the east of it, the Kartly depression stretched up to the border with Azerbaijan, made by thick strata of Miocene-Pliocene molasses (up to 2–3 km) and Paleocene-Eocene volcanogenic-terrigenous-carbonate formations with a thickness of up to 4.5 km. That means the basement here is situated shallow – about 4–6 km.

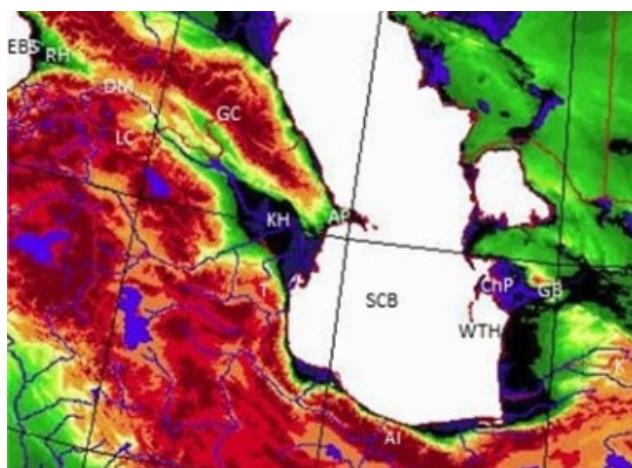


Fig. 1. South Caspian Megadepression:

EBS – Eastern Black Sea hollow; SCB – South Caspian basin; RH – Riony hollow; KH – Kura hollow; WTH – West Turkmenian hollow; GC – Greater Caucasus; LC – Lesser Caucasus; DM – Dziruly Massif; AP – Absheron Peninsula; T – Talysh mountain; A – Albours; GB – Greater Balkhan; K – Kopetdag; ChP – Cheleken Peninsula



Fig. 2. The scheme of interaction of lithospheric plates of the Caucasian region according to (Narimanov, 2003).

Borders: 1 – collision; 2 – spreading; 3 – subduction; 4 – direction of movement of lithospheric plates

Along the sides of the Kartly depression, narrow folds, overturned to the south, complicated by disjunctives, are developed in Paleogene-Neogene sediments, since both the folding of the Greater Caucasus and Adjara-Trialety have been thrust onto the Kartly trough, and the intensity of the former is more significant than latter (Kekelia et al., 2011).

The main oil Georgia's areas are concentrated in the Colchis and South Kakhety oil and gas bearing regions (intermountain troughs in the body of the Transcaucasian microcontinent), as well as in the Guri and Pre-Tbilisi regions (marginal troughs of the superimposed Adjara-Trialety folded zone), which oil-content is associated with the Upper Cretaceous-Pliocene deposits (Lebedev et al., 2004) (fig. 1).

To the east of the Kartly (Upper Kura) depression the Mid-Kura depression with complex tectonics is situated, especially in the interfluvium of the Kura and Gabyrry rivers. The South Kakhety tectonic region distinguished here, represented by a thick Paleogene-Neogene stratum (4–5 km), and the Mirzaani-Arashi meganticlinorium with a huge thickness of the Pliocene complex, was folded and torn apart by thrusts (fig. 3).

The southern part of the Transcaucasian microcontinent (island arc) has been passed through the Late Mesozoic and

Cenozoic development regime of the marginal basin. As a result, Cretaceous-Paleogene hollows (inter-arc rifts) formed at the junction with the orogeny of the Lesser Caucasus (island arc in the Mesozoic) with structural-formation zones: Adjara-Trialety, Bolnisi-Ganja and Sakirya. The farthest northern downwarping of some of them are part of the intermountain trough (Khain, 2005).

A relatively stable tectonic block, the Artvin-Bolnisi block, remained unaffected by this regeneration, within which the protrusions of the ancient basement – the Khramy and Loki massifs – have been preserved.

This entire territory in the Mesozoic time was the active margin of Eurasia, composed, in general, of the same sedimentary complexes that form the oil systems of the modern margins of this megaplate.

The recognized sources of oil and gas generation are the deposits of Maikopian (Oligocene-Early Miocene) and Late Eocene. Modern research has added Lower Jurassic shales to the oil source rocks. The main productive reservoir rocks are fractured Middle Eocene volcanic tuffs, dolomitized limestone of Cretaceous age, as well as Chokrakian (Middle Miocene) and Upper Eocene sandstones.

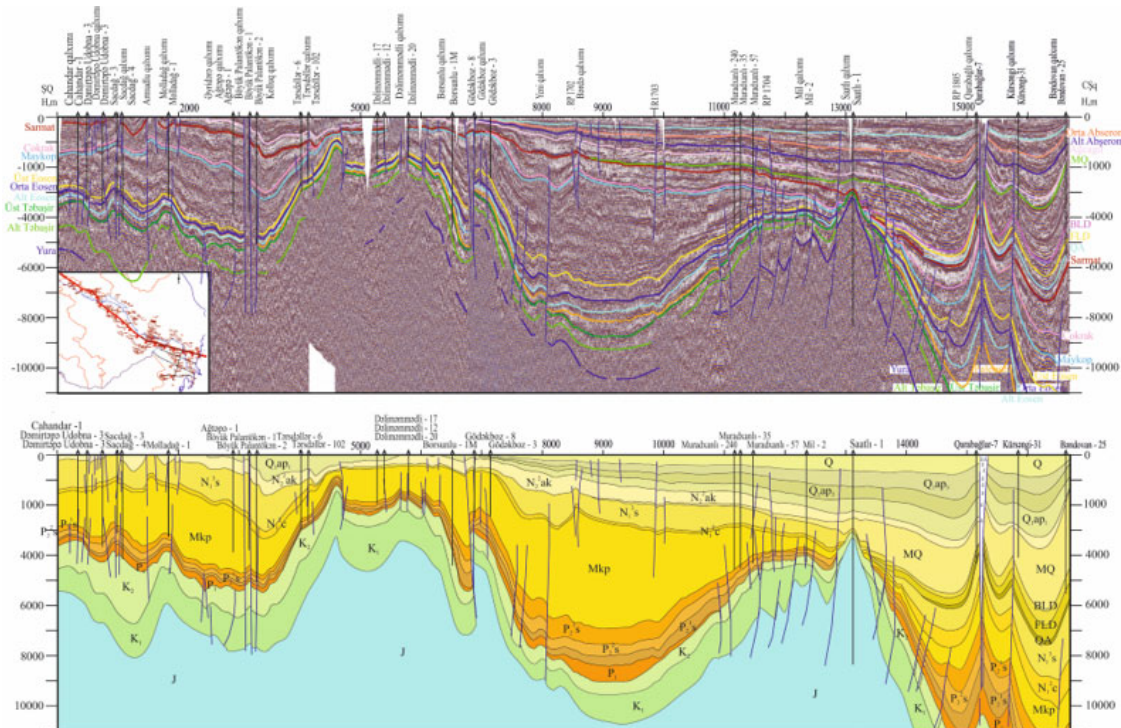


Fig. 3. Seismic time and geological section along the Kura-Gabyrri interfluvium to the Lower Kura depression

The Georgian part of the Mid-Kura Trough smoothly passes into the Azerbaijani territory of the depression of the same name, where terrigenous-carbonate (Naftalan, Gazanbulag, etc.) and volcanogenic (Muradkhanli, Jarli, etc.) Meso-Cenozoic deposits have been discovered.

The above-mentioned oil and gas bearing areas belong mainly to the Pre-Lesser Caucasian and Yevlakh-Agjabadi hollows. However, tectonically, the Middle Kura basin from north towards south is represented by the Alazany-Ayrichay superimposed synclinorium, Gakh-Dashyuz anticlinorium, Mirzaany-Arshy synclinorium, Chatma anticlinorium, Jeyranchel synclinorium (fig. 4). The strikes of the listed structures are Caucasian (Gadirov, 2002). The heterogeneity of this depression's structure, as well as the Riony and Upper Kura depressions, is explained by its location in the front of converging plates with active tectonics, including volcanism, folding, and faults.

The Mid-Kura and West Turkmenian depressions were formed on the blocks of Adjara-Trialeti, the Lesser Caucasus, the Pre-Balkhanian zone and the zone of southwestern Kopetdag virgations that continued

descending in the Cenozoic. The Kura depression is essentially a Molasse, but mostly a non-superimposed trough. Within its limits, the Gabyrri (Late Cretaceous), Alazani-Ayrichay (Pliocene) and Sabirabad (Quaternary) troughs are superimposed.

The territory of the Kura trough and the Samkhetti-Agdam zone were part of the unified Transcaucasian Island arc, or in a narrower sense, the Lesser Caucasus, after the collision in the Bathonian time of the Samkhetti-Agdam and Central Kura Island arcs (Pogorelova, & Serikova, 2010; Yusubov, & Guliyev, 2022) (fig. 5).

The age range of volcanism within the territory of the Kura Depression is wider than in the Samkhetti-Agdam zone. In addition to the Late Jurassic, Coniacian-Santonian volcanism, which is characteristic to the Samkhetti-Agdam zone, the Albian Cenomanian, characteristic to the Vandam zone and Adjara-Trialeti, as well as Campanian volcanism, characteristic to the Vandam zone, is also manifested here (Harutyunyan, 2010). Here, the island-arc volcanism of the first of these zones and the riftingly one for the second are added.

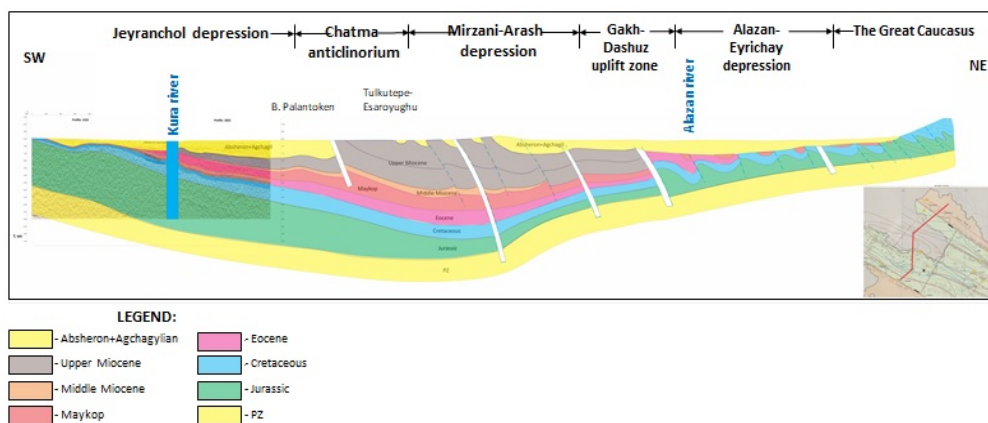


Fig. 4. Geological profile of the Middle Kura depression

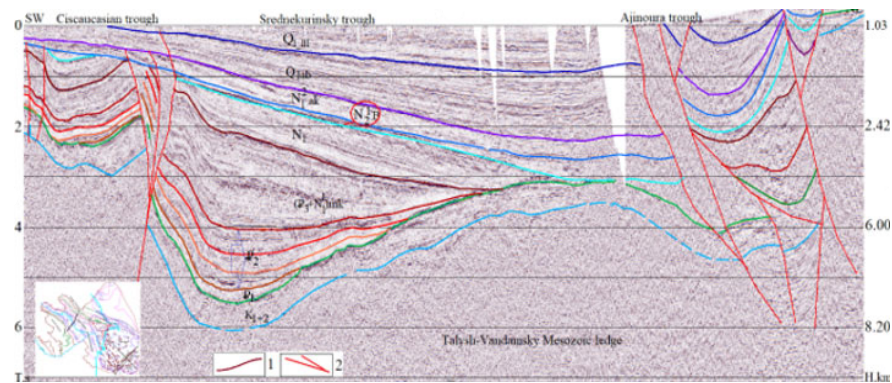


Fig. 5. Seismic time section of the central part of the Mid Kura depression along the line in the diagram in the corner from Southwest to Northeast

The zone of Mesozoic rise position extending from the Kurdamir-Saatli buried uplift area does not extend in the direction of the Vandam zone to the north by the revealed drilling data. This zone turns in a west-northwesterly direction, corresponding to the strike of the Mingachevir-Goychay gravitational maximum. The Mingachevir-Goychay-Kurdamir-Saatli-Mugan gravitational maximum system is emerged, which has a Caucasian strike on the Mingachevir-Goychay

segment, and acquires a submeridional stretch close the Kurdamir region. This whole system of maxima is blocked from the north (in the western part) and from the east (in the eastern part) Mingachevir-Goychay-Padar-Gizilagach (Mingachevir-Goychay-West Caspian) deep fault system, which is the boundary of blocks with developed and undeveloped granite layer, i.e. encialic and encymatic blocks (Pogorelova, & Serikova, 2010) (fig. 6).

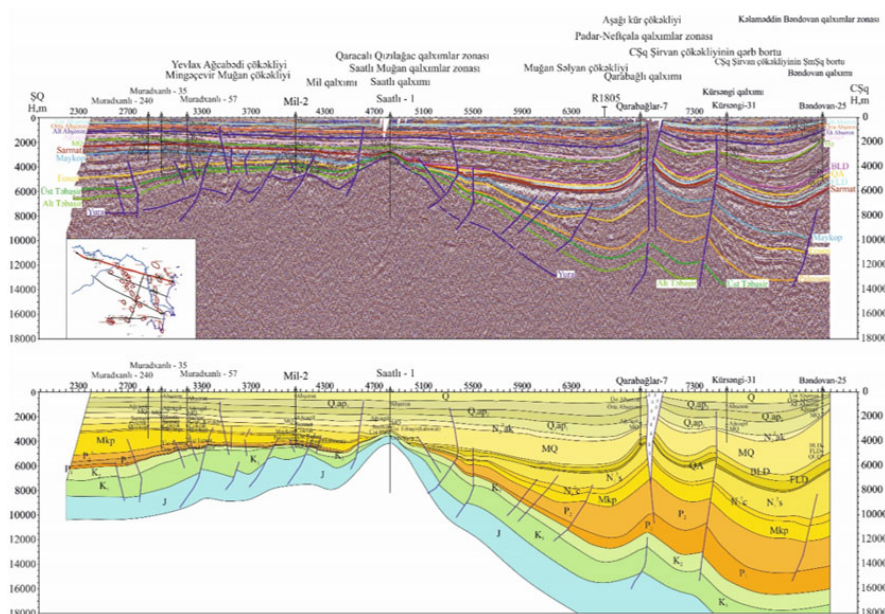


Fig. 6. Mingachevir-Geychay-Kurdamir-Saatli-Mugan gravitation maximum on the seismic-geological section

Since the Mesozoic, the above-mentioned maxima within the Kura basin form uplifts and troughs, which further develop throughout the Meso-Cenozoic. Thus, already in the early Jurassic time, Mingachevir-Goychay-Kurdamir-Saatli-Mugan, Alazani-Agrichai uplifts, Shiraki-Ajinour-Lower Kura, Yevlakh-Aghjabadi troughs appeared, which developed up to the Pliocene (Rakhmanov, 2007; Yusubov, & Guliyev, 2022) (fig. 7).

In the Pliocene, only the Shiraki-Ajinohur-Lower Kura trough remained (fig. 5). The Yevlakh-Aghjabadi trough is being disbanded, and structural noses of the anti-Caucasian strike are forming here at this time. But in the Quaternary, the Yevlakh-Aghjabadi trough reappears (Pogorelova, & Serikova, 2010) (fig. 8).

All structures that develop and eventually cease to exist are controlled by faults: long-lived – Lankaran, West Caspian, Mingachevir-Goychay-Padar-Gizilagach, Ajichai-

Alat, Telavi-Ismayilli, Kvareli-Gutkashen; Bilasuvar-Karadonli and Sheki-Yevlakh transverse faults.

The Bilasuvar-Karadonli transverse fault system (Lower Araz) restricts the Bilasuvar-Karadonli transverse uplift (West Caspian, according to E. Shikhalibeyli) from the north and south. This uplift is crucial in the formation of various historical and formational settings in the Eocene period within the Samkhethi-Agdam zone of the Lesser Caucasus and Talysh. This faults system connects to a deep fault running in the central part of the Kurdamir-Saatli-Mugan uplift, cutting off the Talysh from the Samkhethi-Agdam zone of the Lesser Caucasus.

The Middle Kura Depression expanding to the east, passes into the Lower Kura Depression, into which the Lower Araz trough enters, separating the Talysh fold system from the Lesser Caucasus.

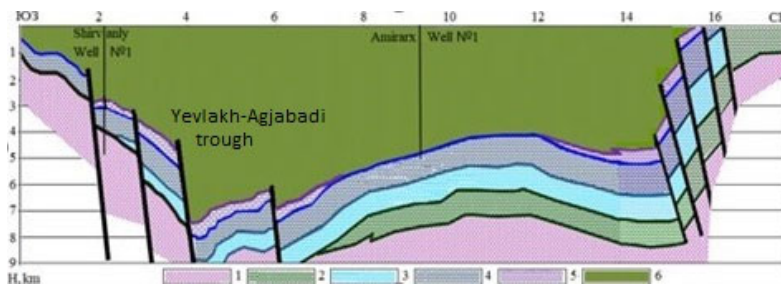


Fig. 7. In the Oligocene-Neogene the Kura depression flexed differently and created a modern intermountain zone – the Transcaucasian trough with a median massif in the basement:

- 1 – pre-Jurassic basement, 2 – Jurassic carbonates, 3 – Lower Cretaceous (volcanic sediments),
4 – Upper Cretaceous (carbonates), 5 – Paleocene (carbonates), 6 – not yet formed Cenozoic

S. 1:500000

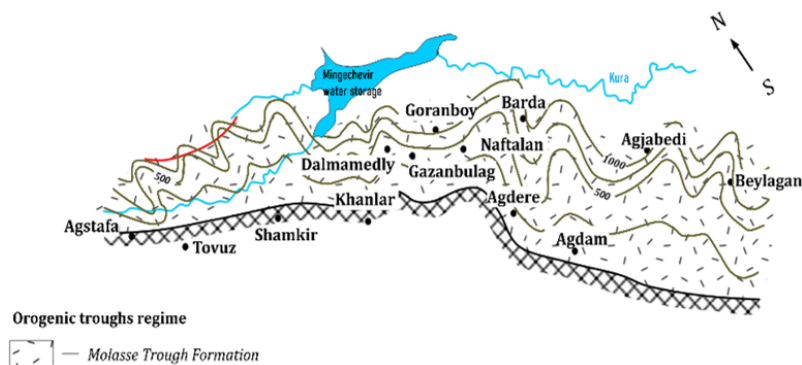


Fig. 8. Paleotectonic map of the Pliocene stage of the southern limb of the Middle Kura depression

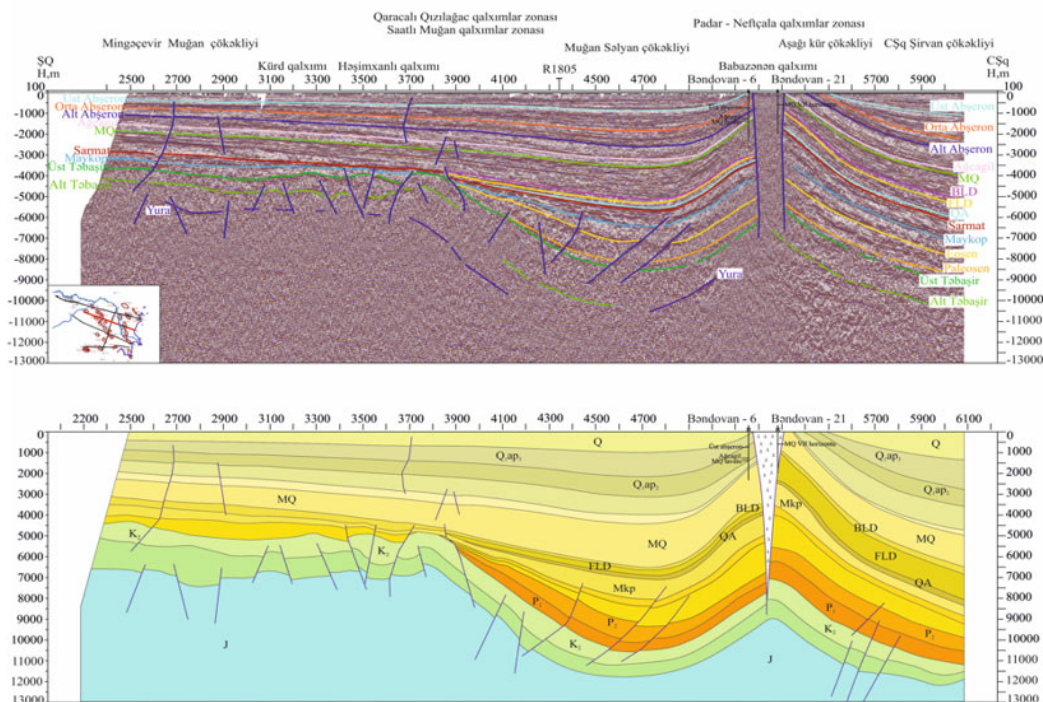


Fig. 9. Seismogeological cross-section along the Mingachevir-Shirvan line

The Lower Kura depression is the widest part of the intermountain Kura trough, composed of 10 km molasses mainly due to the appearance of Early Pliocene continental sediments in the section – an analogue of the "Productive strata". That entire complex of formations, including the Absheron layers (early Quaternary), forms lines of brachianticlinical folds (Kurovdag, Neftchala, Kursangi, etc.)

complicated by normal faults and mud volcanoes. In the modern structural plan of the Lower Kura depression, the Navahy local gravitational maximum of the submeridional strike is a reflection of the existing encialic island arc. These maxima are a reflection of the relatively shallow occurrence of dense rocks composing the island-arc series.

The border of the Lower Kura Basin with the Greater Caucasus is expressed in the same way as its entire southern side, by the latter's thrust onto the edge of the depression. In the west it is flattest, where Pliocene molasses are overturned on their heads in the recumbent limb of the thrust, in the east it is steeper.

Towards the east, the Lower Kura Hollow is opened into the South Caspian depression as an oil and gas bearing

area of the Baku archipelago, as well as the southeastern end of the Shamakhi-Gobustan depression, more precisely its southern ending, the Langabiz-Alat ridge. As mentioned above, almost all structures are brachianticlinal folds complicated by faults and mud volcanoes with a sedimentary thickness of more than 20 km (Yusubov, & Guliyev, 2022) (fig. 10).

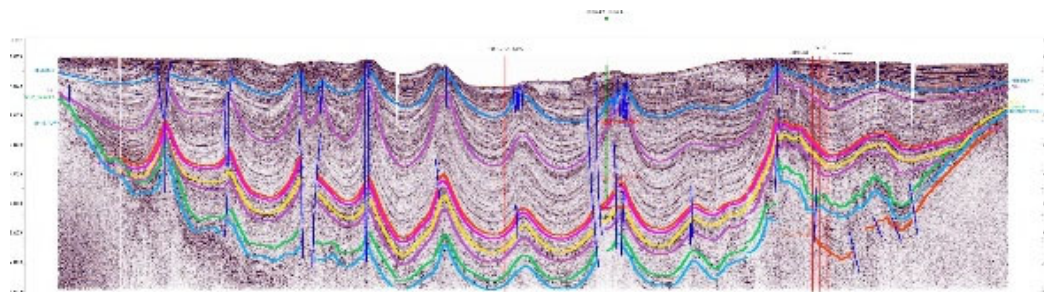


Fig. 10. Seismogeological section of the structures of the western part of the South Caspian Hollow

The island arc bounding the depression of the Southern Caspian Sea from the north is the eastern continuation of the Encialic Island Arc. The latter was founded as mentioned above within the Vandam zone. In modern structural plan its reflection is the Sangachal submeridional segment of the Yavanidag-Sangachal gravitational maximum and the local gravitational maximum of the Baku archipelago (Glumov et al., 2004).

The above mentioned reflects the strike change tendency of the eastern elements of the Kura Basin from the Caucasian to the submeridional. This trend is also evident for elements of the Vandam zone. It was also revealed by geophysics to the south of the Absheron Peninsula (Goberman, 1975; Menshov, 2021). These eastern elements of the Kura Hollow and the Vandam zone descend into the western part of the Southern Caspian basin, and elements of the West Turkmenian Depression descend into it from the east. These elements of both hollows are often connected to each other within the basin of the Southern Caspian Sea. Thus, in the north of the Southern Caspian Sea depression in the Meso-Cenozoic time the Absheron-Pre-Balkhanian trough develops. The Kurdamir-Saatli-Mugan uplift is connected to the Godin uplift through the depression of the Southern

Caspian Sea, and the trough is connected to the Keimir-Chikishlyar trough (Akhmedbeyli et al., 2010).

Although the structures of the Southern Caspian Sea are a continuation of land structures in the sea, it must still be repeated that at certain stages this active margin of the Tethys Ocean had a different history of development. Therefore, despite the relative youth of the Southern Caspian Hollow (SCH) and its riftogenic origin (Alizadeh, & Khain, 2005), dense Mesozoic rocks, possibly of an older age, were found under the layer of Cretaceous-Cenozoic sediments (Khaustov, 2011). All the main geophysical signs, such as increased heat flux, decompression of upper mantle rocks and high occurrence of the roof of the Mohorovichich boundary and the asthenosphere, testify to the riftogenic nature of the Southern Caspian Hollow (Neprochnov et al., 1968; Mammadov, 2002). The Absheron Archipelago is situated to the north of the above-mentioned Baku archipelago – a continuation into the sea of the southeastern end of the Greater Caucasus, namely the Absheron Peninsula, that is connected to the Balkhanian uplift zone in the eastern part of the Caspian Sea, forming a united tectonic structure – the Absheron-Pre-Balkhanian, separating the South Caspian and Middle Caspian basins (Figs. 11, 12).

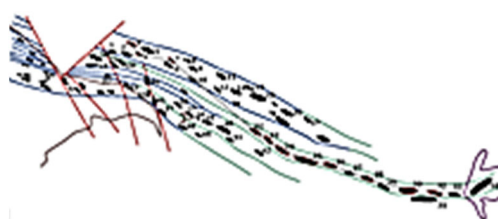


Fig. 11. Tectonic scheme of the Absheron-Pre-Balkhanian uplift zone

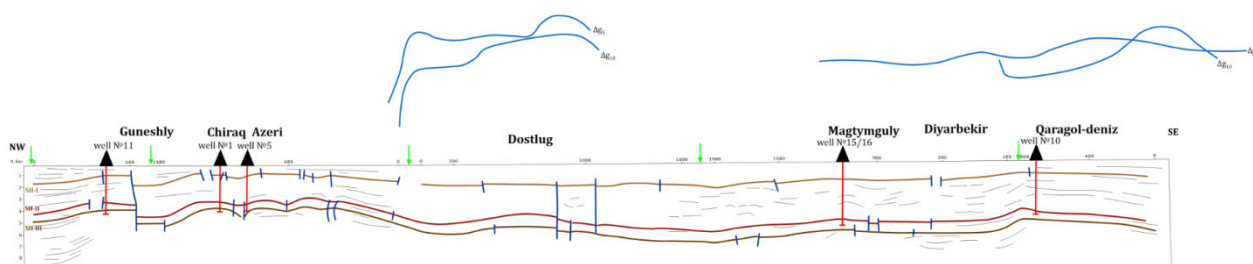


Fig. 12. Sublatitudinal geological and geophysical profile along the Absheron-Pre-Balkhanian uplift zone (Abdullazada, 2022; Pogorelova and Abdullazada, 2023)

All structures formed in the Southern Caspian depression were controlled by the geodynamic situation, which led to the accumulation of sediments with favorable reservoir properties, and the formation of hydrocarbons, and their migration into reservoirs.

The sandy-clay layers of the "Productive Strata" of the Lower Pliocene of the Absheron Peninsula in the depth range from 200 m up to almost 4 km contain hydrocarbon deposits. These layers, downwarping to the southeast, into the Caspian Sea aquatory to the depths of 5–6 km, are productive, and currently the largest deposits are discovered: Shah Deniz, Absheron block, Garabakh, Azeri, Chirag, Guneshli, etc. Figures 11 and 12 show how these "Productive Strata" pass into the Turkmenian part of the Caspian Sea and, according to Zalova (1982), local maxima correspond to Pliocene structures in areas where the presence of an uplifted block in the Paleogene-Mesozoic is assumed, i.e. in the areas of local maxima of Makhtumkuli and Diyarbakir, and Garagol-Denisz. Therefore, it is obvious that the reflection of Pliocene structures in the local fields are subordinated to the influence of the Mesozoic (Abdullazada, 2022; Pogorelova, & Abdullazada, 2023; Aliyeva, 2023).

The folds buried under the seabed, making up the folding of the West Turkmenian intermountain depression, are located between the Alpine folding mountain structures of the Greater Balkhan, Kopet Dag and Albours. Like the entire South Caspian megahollow, it is characterized by a large thickness of Mesozoic sediments (15–20 km in its central parts), the manifestation of plicative and disjunctive dislocations, linear folding, and the presence of mud volcanism (Rustamov, 2005). The main tectonic elements of the West Turkmenian Depression are the Pre-Balkhanian, Gograndag-Okarem uplift zones and, separating them, the deep Kyzylkum trough (fig. 1).

The Pre-Balkhanian uplift zone stretches in a sublatitudinal direction in the northern part of the depression and is represented by anticlinal structures (Cheleken, Kotur-Tepe, Barsagelmes, etc.) descending into the Caspian Sea (Zhdanov Bank, Gubkin Bank, LAM, etc.), and connects with the Absheron threshold stretching towards it. The Gograndag-Okarem's uplifts zone stretches in a submeridional direction parallel to the Caspian Sea coast. The folds of this zone, unlike those of the pre-Balkhanian zone, are flat with wide hinges, with a small amplitude and less complicated (Ibrahimov, 1998).

These folds morphology allows us to conclude about their genesis. Firstly, their orientation reveals their dependence on the submeridional (West Turkmenistan) fault, which forms folding processes (normal faults in Neogene deposits correspond to these fractures, which, in turn, are associated with numerous mud volcanoes). Secondly, the folds shapes and amplitudes confirm their origin, most likely from the vertical forces of the earth's crust, and not from the horizontal ones.

The Kyzylkum trough is situated between the Absheron-Pre-Balkhanian and Gograndag-Okaremian uplift zones and subjected to the horizontal and vertical forces of the Earth's crust in this segment of the West Turkmen Depression. This is explained by the fact that the hollow develops in the interaction of small plates zone of the earth's crust both along shear's boundaries and along deep crustal faults. This is reflected in the folding genesis and its orientation in space. Literally, the Absheron-Pre-Balkhanian zone of uplifts, that limits the hollow from the north, reflects the subduction zone of the SCH under the Eurasian plate in the sedimentary cover (Mammadov, 2002). The Gograndag-Okarem zone of uplifts limits the hollow from the southeast borders the

Kyzylkum downwarping along the shear, which ultimately controls its folding in Neogene-Quaternary layers. On the border with the shear, suture zone, the folds have a submeridional orientation; in the central and northern parts of the trough, the orientation of the folds is sub-latitude.

The farthest eastern tectonic unit of the SCH – Aladak-Messarian tectonic zone represents an area of buried Mesozoic folding descending to the west towards the Gograndag-Okaremian uplift zone along a system of large, stepped deep faults, to the west of which deposits of red-colored strata appear that are absent in the Aladak-Messarian zone (Guliyev, Fedorov, & Kulakov 2009).

In the West Turkmenian depression all identified fields (Pre-Balkhanian and Gograndag-Okaremian vicinity) belong to the Red-colored (Productive) strata where they are also multi-layered and to the Akchagyl and Absheron suites of the Upper Pliocene and the Quaternary (Babaev, & Hajiyev, 2006).

Speaking about oil and gas generating deposits, taking into account the history of formation and the lithological composition of the SCH, they can be attributed, referring to the results of modeling the processes of generation and accumulation of hydrocarbons in the sedimentary complex, to Mesozoic-Pliocene stratigraphic units (Kerimov et al., 2011).

Moreover, the main focus of gas phase generation is deposits located in the zones of apocatagenesis and metagenesis of the Mesozoic. The focus of the liquid phase here is Paleogene-Miocene sediments with the clearly subordinate participation of the lower part of the "Red-colored strata" section (grades MK1—MK2, partially MK3), that in the sedimentary cross-section corresponds to the current actual position of the oil formation zone – the depth range is up to 8–10 km. Condensate and fat gas generation zones are at depths up to 12–14 km, i.e. these processes are carried out mainly in the underlying "Red-colored strata" sediments, determining the clearly allochthonous nature of its HC saturation (Serikova, Allanazarova, & Idiatullina, 2022) (fig. 13).

Discussion and conclusions

Having examined the evolution of the South Caspian Mega Hollow, having traced the stage-by-stage development of each major element of the region, we come to the following conclusions:

- On the site of the modern Kura and Gabyrri interfluvium up to and including the Lower Cretaceous there was the Artvin-Bolnisi uplift;
- The Gabyrri (Late Cretaceous), Alazani-Ayrichai (Pliocene), Sabirabad (Quaternary) troughs and the Araz transverse trough within the Kura depression are superimposed troughs;
- The Bilasuvar-Karadonli transverse uplift developed in the Cretaceous-Oligocene time, and the Lower Araz transverse trough developed only in the Miocene;
- In the Kura and West Turkmenian hollows Mesozoic uplifts and troughs change their strikes from the Caucasian to the submeridional and go into the depression of the Southern Caspian;
- Due to the change of the structures strike it is wrong to talk about a single Talysh-Vandam submeridional uplift since the Mingachevir-Goychay gravitational maximum is separated from the Vandam maximum by the Ajinohur minimum, and the Mugan gravitational maximum goes into the Southern Caspian Sea reaching the Talysh mountains.

The main part of the Kura depression up to the Pliocene was a Molasse inherited trough, and the Lower Kura trough developed later, and only in the post-Baku time a modern relief was formed here.

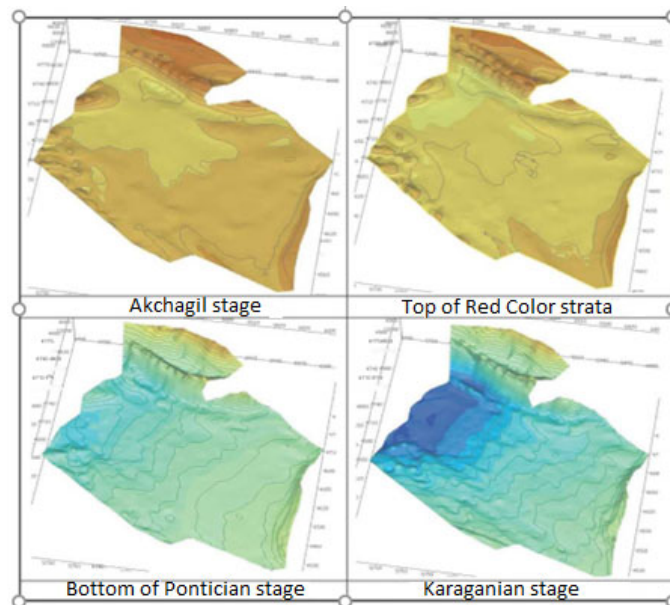


Fig. 13. Structural-tectonic models of the Turkmen sector of the South Caspian basin according to (Serikova, Allanazarova, & Idiatullina, 2022)

Based on the study of the structural plans ratios of the Kura depression folding, we come to the conclusion about the hydrocarbon prospects of the structural protrusions of the anti-Caucasian direction within the interfluvium of the Kura and Gabyrry. The structural promontories of the Anticaucasian direction and the anticlinal folds of the same direction indicate their ancient formation, which in turn indicates that they were already formed by the time of the migration of hydrocarbons and could be the place of their localization. In this regard, volcanogenic sedimentary formations of the Eocene and Upper Cretaceous with good reservoir properties may be promising in terms of oil and gas potential.

Zones of inherited deflection (as yet undetected) may be promising in terms of oil and gas potential, as they have developed a continuous section of sediments. Such zones are the Absheron Peninsula, the Lower Kura Depression, and the Shiraki-Ajinozhur zone.

In the West Turkmenian basin the structural plan changing in the Paleogene occurred. The modern structural plan within its boundaries has been formed since the Pliocene. The oil and gas potential both discovered and promising is associated with Paleogene (sub "red-colored") terrigenous and Neogene-Quaternary deposits.

Authors' contribution: Elena Pogorelova – conceptualization, methodology, writing (original draft); Murad Abdulla-Zada – data treatment, formal analysis, writing (revision and editing); Lala Abilhasanova – data validation; Telli Shikhmammadova – data validation.

References

- Abdullazada, M. Ch. (2022). Geological significance of seismic reflections in the sedimentary cover of the eastern part of the Absheron-Prebalkhan ridge. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(98), 59–65. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.07>
- Akhmedbeyli, F. S., Isaeva, M. I., Kadirov, F. A., & Korobanov, V. V. (2010). *Geodynamics of the neotectonic stage of the Caucasian segment of the Alpine-Himalayan orogenic belt*. Nafta-press.
- Aliyeva, S. A. (2023). Geodynamic evolution of the Caspian megadepression and adjacent territories. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(100), 15–22. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.100.03>.
- Alizadeh, A., & Khain, V. E. (2005). *Geology of Azerbaijan. Vol. 4. Tectonics*. Nafta-Press.
- Arutyunyan, A. V. (2010). The crust of the Lesser Caucasus, ophiolites, volcanism, oil and gas content, seismicity. *Bulletin of the ONZ RAS*, 2, NZ6006. [in Russian]. [Арутюнян, А. В. (2010). Земная кора Малого

Кавказа, офиолиты, вулканизм, нефтегазоносность, сейсмичность. *Вестник ОНЗ РАН*, 2, NZ6006]. <http://doi.org/10.2205/2010NZ000024>

Babaev, D. H., & Gajiev A. N. (2006). *The deep structure and prospects of the oil and gas potential of the Caspian Sea basin*. Nafta-Press.

Balavadze, B. K., Burakovsky, V. I., Garkalenko, I. A., Golovinsky, V. I., Goncharov, V. P., Gurevich, B. L., Korneev, V. I., Malovitsky, Y. A., Milashkina, P., Neprochnov, Yu. P., Pustilnikov, M. R., Sollogub, V. B., Tsereteli, L. I., Chekunov, A. V., Chernyak, N. I., Chirvinskaya, M. V., & Shardanov, A. N. (1968). Tectonics of the Black and Azov Seas region. *Geotectonics*, 4(18), 70–84.

Gadirov, V. G. (2002). Gravimagnetic studies of the distribution of buried volcanogenic rocks in the Mid Kura depression in connection with their oil and gas content. *Geologist of Azerbaijan*, 1(7), 130–141.

Glumov, I. F., Malovitsky, Ya. P., Novikov, A. A., & Senin, B. V. (2004). *Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea*. Nedra-Business Center [in Russian]. [Глумов, И. Ф., Маливицкий, Я. П., Новиков, А. А., & Сенин, Б. В. (2004). *Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря*. Недра-Бизнес Центр].

Golonka, J. (2007). Geodynamic evolution of the South Caspian Basin. *AAPG Bulletin*, 83(55), 17–41. <http://doi.org/10.1306/E4FD36E9-1732-11D7-8645000102C1865D>

Guliyev, I. S., Fedorov, D. L., & Kulakov, S. I. (2009). *Oil and gas potential of the Caspian region*. Nafta-Press [in Russian]. [Гулиев, И. С., Федоров, Д. Л., & Кулаков, С. И. (2009). *Нефтегазовый потенциал Каспийского региона*. Нафта-Пресс].

Ibrahimov, A. B. (1998). *Formation and placement of oil and gas deposits in the Neogene deposits of the West Turkmen depression* [Thesis ... Dr. Sci. Azerbaijan State Oil and Industry University].

Kekelia, S. A., Babazade, V. M., Kekelia M. A., Abdullayeva, S. F., Ismailova, A. M., Kerimli, U. I., Asatiani, G. L., Razmadze, A. N., & Mahatadze, I. N. (2011). Metallogeny of the Alpida of the Lesser Caucasus. *Geology*, 1(4), 103–137.

Kerimov, V. Yu., Rachinsky, M. Z., Shilov, G. Ya., & Mustaev, R. N. (2011). Geological exploration in the Turkmen water area of the Southern Caspian — failures, prospects and challenges. *Oil, gas and business*, 11, 17–24.

Khain, V. E. (2005). Lesser Caucasus ophiolite belt — formation model. *Reports of the Academy of Sciences*, 404(2), 225–228 [in Russian]. [Хайн, В. Е. (2005). Малокавказский офиолитовый пояс — модель формирования. *Доклады АН*, 404(2), 225–228].

Khaustov, V. V. (2011). On the deep waters of the South Caspian Depression. *Scientific notes: electronic scientific journal of Kursk State University*, 2(18), 1–8 [in Russian]. [Хаустов, В. В. (2011). В глубоких водах Южно-Каспийской впадины. *Научные записки: электронный научный журнал Курского государственного университета*, 2(18), 1–8].

Lebedev, V. A., Chernyshev, I. V., Arakelyants, M. M., Goltsman, Yu. V., Dudaui, O. Z., & Vashakidze, G. T. (2004). Geochronology of the Neogene-Quaternary Dacic Volcanism in the Northwestern Lesser Caucasus (Georgia). *Stratigraphy and Geological Correlation*, 1(12), 94–113.

Menshov, O. (2021). The role of magnetic methods in the exploration of the territories of impacted rocks-reservoirs of oil and gas: setting the task. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(92), 42–49 [in Ukrainian]. [Меньшов, О. (2021). Роль магнітних методів при дослідженні територій ушлієнених порід-колекторів нафти і газу: постаовка задачі. *Вісник Київського національного університету імені*

Тараса Шевченка. Геологія, 1(92), 42–49]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.06>

Mikhailov, V. (2017). Comparative characteristics of the Maikop series of the Caspian-Black Sea region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 77(2), 59–71 [in Ukrainian]. [Михайлов, В. (2017). Порівняльна характеристика майкопської серії Каспійсько-Чорноморського регіону. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 77(2), 59–71]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.07>

Narimanov, N. R. (2003). Geodynamic aspects of the formation of the sedimentary cover of the South Caspian depression. *Geology of Oil and Gas*, 6, 26–31.

Pogorelova, E. Yu., & Serikova, U. S. (2010). Paleotectonic reconstruction of the development of the Pre-Lesser Caucasus Trough in order to identify promising oil and gas objects. *Oil, Gas and Business*, 2, 37–41.

Pogorelova, Ye. Yu., & Abdullazada, M. Ch. (2023). *Geodynamic prerequisites of the oil and gas potential of the marginal-eastern segment of the Black Sea-Caspian region*. In I. Habibbayli, M. Kok, F. Gadirov, (Eds.), Heydar Aliyev and Azerbaijan's oil strategy: advances in oil and gas geology and geotechnologies (pp. 389–392). Elm Publishing House.

Rakhmanov, R. R. (2007). *Patterns of formation and placement of oil and gas deposits in Mesozoic sediments of the Yevlakh-Agjabedi trough*. Nafta-Press [in Russian]. [Рахманов, Р. Р. (2007). Закономерности формирования и размещения залежей нефти и газа в мезокайнозойских отложениях Евлах-Агджабединского прогиба. Текнур].

Rustamov, M. I. (2005). The South Caspian basin – geodynamic events and processes. Nafta-Press.

Serikova, U. S., Allanazarova, M. A., & Idiatullina, E. Z. (2022). Hydrocarbon systems of the Turkmenian sector of the South Caspian basin. *Proceedings of Higher Educational Institutions of Geology and Exploration*, 64(5), 24–40. <http://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-5-24-40>

Yusubov, N. P., & Guliyev, I. S. (2022). *Mud volcanism and hydrocarbon systems of the South Caspian depression (according to the latest data of geophysical and geochemical studies)*. Elm Publishing House. https://www.researchgate.net/publication/362015693_MUD_VOLCANISM_AND_HYDROCARBON_SYSTEMS_SOUTH_CASPIAN_DEPRESSION

Отримано редакцією журналу / Received: 13.06.23

Прорецензовано / Revised: 09.04.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Єлена ПОГОРЕЛОВА¹, канд. геол. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0002-2412-4441

e-mail: yy_pgrlova@mail.ru

Мурад АБДУЛЛА-ЗАДЕ¹, д-р філософії (науки про Землю)

ORCID ID: 0009-0001-4150-8340

e-mail: murad.abdullazade@asoiu.edu.az

Лала АБІЛГАСАНОВА², заст. начальника відділу геології

e-mail: lala.abilhasanova@socar.az

Теллі ШІХМАММАДОВА², керівник групи

e-mail: telli.shixmammadova@socar.az

¹Азербайджанський державний університет нафти та промисловості, Баку, Азербайджан

²СОКАР, відділ розвідувальної геофізики, Баку, Азербайджан

СЕЙСМОГЕОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕВОЛЮЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПІВДЕННОКАСПІЙСЬКОЇ МЕГАПРОГІНУ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ СКУПЧЕНЬ ВУГЛЕВОДІВ

Вступ. Південнокаспійський мегапрогиб (ПКМП) – це територія, обмежена на заході масивом Дзірулі, на сході Західнотуркменською западиною (включно), на півночі гірськими структурами Великого Кавказу, Великого Балхану, а на півдні – Малим Кавказом, Талишем і Албуром (включаючи акваторію Південного Каспію), яка, у свою чергу, пов'язана з Південнокаспійським нафтогазоносним мегабасейном. У геодинамічній моделі ПКМП являє собою кавказький сегмент Альпійсько-Гімалайського складчастого поясу (його міжгірську частину) з елементами активної стадії розвитку, притаманними цій території, а саме – землетрусами, змінами рівня моря, грязьовим вулканізмом тощо.

Методи. У статті розглянуто історію розвитку ДДЗ на основі даних геофізики, буріння, вулканології, геодинаміки з метою виявлення скупчень вуглеводнів.

Сейсмогеологічні розрізи, представлені по всій досліджуваній території, пояснюють складну геологічну будову та геодинаміку, починаючи з байкальського тектонічного генезису і до сьогодення. Чіткі межі осадових басейнів та острівних дуг, що їх оточують, які контролювали літологію та стратиграфію, дають змогу прогнозувати ймовірні нафтогазоносні та нафтогазопродуктивні породи.

Результати. Побудова структурних різночасових поверхонь відкладів у програмі Petrel дозволила простежити геологічний розвиток певного сегмента (Південнокаспійської западини) досліджуваної території, з'ясувати вплив як довготривалих глибинних, так і короткочасних локальних розломів на петрологічний склад відкладів та їх потужність, визначити контури можливих об'єктів нафтогазоутворення.

Висновки. Наближення виділених (за моделюванням PetroMod) стратиграфічних одиниць нафтогазоносних порід на території Західного Туркменістану до західної частини ДДЗ передбачає виділення джерел вуглеводнів у глибокозанурених породах на решті території.

Поєднання даних сейсмометрії та вулканології дає змогу не тільки окреслити геологічні тіла на сейсмічних профілях, але й визначити їхній густинний і хімічний склад за швидкістю поширення сейсмічних хвиль.

Ключові слова: Південнокаспійський мегапрогиб, Великий Кавказ, Малий Кавказ, Талиш, Албурс, геодинамічна модель, джерела вуглеводнів.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 548/549.6

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.08>

Ірина КВАСНИЦЯ, канд. геол. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0003-0738-4599

e-mail: irynakvasnytsia@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

АСПЕКТИ МІКРОТОПОГРАФІЇ ПОВЕРХОНЬ ГРАНЕЙ КРИСТАЛІВ
У МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ МІНЕРАЛОУТВОРЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ГРАНАТІВ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.В. Митрохином)

Вступ. Мікротопографічні дослідження граней кристала дають великий обсяг інформації щодо походження кристала, про механізми кристалізації, деталі процесу росту, навколишнє середовище, подальше існування і поступову руйнацію мінералу, дозволяють передбачити можливу поведінку кристалів у збагачувальному процесі тощо. Грані реальних кристалів негладкі, шорсткі, мають нерівну поверхню і часто вкриті великою кількістю плоских і вигнутих мікроформ-мікрограней. Мікрорельєф грані віддзеркалює взаємодію кристалічної структури мінералу і середовища утворення мінералів, а симетрія простих мікрорельєфних форм певного походження є результатом взаємодії симетрії кристалічної структури і симетрії середовища мінералоутворення. До елементів мікротопографії (мікрорельєфу) поверхні кристалу традиційно включають фігури росту і розчинення, а також більш складні комплексні скульптури, що складаються з більшої кількості мікрограней.

Методи. При дослідженні морфології і мікротопографії поверхонь кристалів гранатів (спесартин (родовище Наніхіл, Лоліондо, Танзанія), андрадит (Смереків Камінь Вигорлат-Гутинської гряди Закарпаття, Україна)) було використано гоніометрію та растрову електронну мікроскопію (електронний мікроскоп REMMA-202M, електронний мікроскоп JSM-6700 F).

Результати. Досліджені кристали гранатів характеризуються розмаїтістю форм рельєфу поверхні граней, притаманних як процесу росту (сходинки росту, штрихи-виступи, меандри), так і розчинення (ямки розчинення, смуги з ямками розчинення, черепитчастий візерунок розчинення, трихитичні канали).

Висновки. Досліджені кристали спесартину вочевидь у процесі росту змінювали форму, оскільки грані мають грубу скульптуру (штриховака виродження, численні грубі горби росту тощо). На користь даного твердження свідчить також і наявність на окремих гранях спесартину грубої штриховки. Присутність меандрового рельєфу говорить про формування кристалів у твердому середовищі шляхом заміщення. Поверхні ж кристалів андрадиту, що входять до складу скарнової мінералізації прожилкового типу, здебільшого демонструють численні ознаки розчинення, зокрема і зубчасто-сходинковий рельєф, та заміщення гранату по тріщинках вторинними мінералами (кальцитом, рідше хлоритом), що свідчить про тривалий і багатостадійний процес метасоматичних змін.

Ключові слова: мікротопографія, мікрорельєф, скульптури росту і розчинення, гранати, андрадит, спесартин.

Вступ

Мікротопографічні дослідження граней кристала дають великий обсяг генетичної інформації про окремі етапи формування мінералів. Результати міроморфологічного аналізу в поєднанні з іншими методами вивчення мінералів дає змогу створювати більш досконалі моделі процесів мінералоутворення.

Загалом термін "мікротопографія поверхні" застосовується не тільки для означення рельєфу поверхні грані масштабом від нанометрів до сантиметрів, а і для локальної атомної структури на поверхні кристалу (Rakovan, Becker, & Hochella, 1999). Форму кристалів мінералів можна розглядати як власне форму поверхонь, що виокремлюють кристал з довкілля. Вивчаючи поверхні кристалів, можна отримати інформацію про походження кристала, механізми кристалізації, деталі процесу росту, навколишнє середовище, подальше існування і поступову руйнацію мінералу, передбачити можливу поведінку кристалів у збагачувальному процесі тощо.

Грані реальних кристалів негладкі, шорсткі, мають нерівну поверхню й часто вкриті великою кількістю плоских і вигнутих мікроформ-мікрограней. На думку (Фекличев, 1970) – як кожна існуюча на кристалі проста форма та дійсні плоскі мікрограні, що її відображають, віддзеркалюють певні умови їхнього формування, так і кожна дійсна криволінійна мікрогрань певної кривизни та орієнтування центрального радіусу також віддзеркалює певні умови її формування. У процесі росту кристалів мінералотвірне середовище постійно змінюється, кристал же реагує на зміни динамічною поведінкою своєї поверхні, що відбивається у змінах поверхневої скульптури.

Метою даної роботи є представити результати дослідження мікротопографії граней кристалів гранатів –

спесартину (родовище Наніхіл, Танзанія) та андрадиту (Смереків Камінь Вигорлат-Гутинської гряди Закарпаття, Україна) і продемонструвати можливість використання окремих аспектів мікротопографії у моделюванні процесів мінералоутворення даних мінералів.

Методи

Для дослідження морфології і мікротопографії кристалів гранатів було використано гоніометрію та растрову електронну мікроскопію (електронний мікроскоп REMMA-202M, електронний мікроскоп JSM-6700 F).

Результати

Реальна поверхня мінералів у процесі росту часто буває "не кристалографічною", що спричинено, наприклад, розщепленим ростом, округлими поверхнями, меандруваннями шарами росту, різноманітними формами розчинення. Мікрорельєф грані віддзеркалює взаємодію кристалічної структури мінералу і середовища утворення мінералів, а симетрія простих мікрорельєфних форм певного походження є результатом взаємодії симетрії кристалічної структури та симетрії середовища мінералоутворення (Фекличев, 1970). Загалом різноманітний характер розподілу і взаємовідносин гранних мікроскульптур з одними й тими ж простими формами призводить до формування різних типів гранного мікрорельєфу та індивідуальних мікроскульптур, що не схожі до обрисів кристалу в цілому. Часто поява і своєрідне поєднання мікроскульптур на різних гранях пов'язане з тими мінімальними морфологічними властивостями кристалів, що залежать від неоднорідностей середовища кристалізації (неоднорідності у пересиченні, викликані концентраційними потоками; зустріч з перешкодами при рості в гетерогенному середовищі; фазова і текстурна неоднорідність при рості у твердому середовищі тощо).

© Квасниця Ірина, 2024

Динамічна зміна морфологічних, у тому числі мікро-морфологічних, особливостей одного й того ж мінералу залежно від генезису здавна використовується як типоморфна ознака. Проте слід зауважити, що мікрорельєф поверхні мінералу відображає умови останньої стадії утворення кристалів (Фекличев, 1970), то ж при моделюванні всієї історії утворення кристалів необхідно також враховувати особливості анатомії кристалів – оптичну, хімічну і структурну неоднорідності (секторіальність, зональність), розподіл включень, морфологію зон з різним складом і структурою, розподіл в об'ємі кристалу різноманітних дефектів (тріщини, блоки, дислокації тощо).

До елементів мікротопографії (мікрорельєфу) поверхні кристалу традиційно включають фігури росту і розчинення, а також більш складні комплексні скульптури, що складаються з більшої кількості мікрограней (Фекличев, 1970; Sunagawa, 2007). Серед елементів мікротопографії за масштабом розвитку можна виділити кілька порядків. Зокрема, на великих за площею габітусних гранях спостерігається ряд гранних мікроскульптур, що мають схожу форму, симетрію, розмір і розподіл на грані. Сукупність таких мікроскульптур можна розглядати як мікротопографію першого порядку. Водночас фіксуються і більш тонкі елементи, що утворюють мікротопографію другого порядку. Подальша деталізація досліджуваної грані дає змогу виділити додатково ще 2–4 порядки. Тут важливим аспектом дослідження мікротопографії є також встановлення просторових і часових співвідношень

між різними типами мікрорельєфу та визначення генезису кожного типу.

Розмаїтість скульптур на гранях однієї простої форми демонструє різноманітність як механізмів росту кристалів, так і наявність різних видів будівельних частинок кристалів. Скульптурні ускладнення можуть або повторювати контури габітусних граней, відповідати їм частково або сильно вирізнятися від огранювання кристалу. З великого переліку мікроскульптур найчастіше зустрічаються віциналі, елементарні фігури росту і розчинення, трансляційні реберні і вершинні форми.

Для даного дослідження було використано результати вивчення мікротопографії поверхонь граней мінералів групи гранатів, зокрема кристалів спесартину з родовища Наніхіл (Танзанія) та андрадиту (Смереків Камінь Вигорлат-Гутинської гряди Закарпаття, Україна).

Спесартин, представлений крупними, добре оформленими ізометричними кристалами розміром 0,5–5 см, знайдено у шахті, яка розташована у ~14 км на південний схід від Лоліондо (Chadwick et al., 2008; Kvasnytsia et al., 2019). Геологія даного родовища детально не з'ясована. Кристали неоднорідного від світло- до темно-помаранчевого кольору вирізняються сильною тріщинуватістю і наявністю численних включень червонувато-фіолетового мусковіту (рис. 1). Гоніометричними дослідженнями встановлено, що кристали представлені комбінацією тетрагонтриоктаедр {211} і ромбоедр {110}.



Рис. 1. Кристали спесартину з родовища Наніхіл (Танзанія) (Kvasnytsia et al., 2019)

Андрадит, що має вигляд дрібних добре оформлених ізометричних кристалів і ксеноморфних коронованих зерен, знайдено у складі скарнової прожилкової мінералізації у змінених породах на ділянці Смереків камінь (Вигорлат-Гутинська гряда, Українські Карпати) (Квасниця, & Шем'якіна, 2009). Породи пронизані системою розгалужених метасоматичних прожилків сфен-клінопіроксен-карбонат-калішпатового складу, іноді з хлоритом і магнетитом. Останні перетинаються більш пізніми хлорит-гранат-карбонатними прожилками, найбільш ранніми виділеннями у яких є гранати, що утворюють ідіоморфні кристали в зальбандах прожилок, а також спостерігаються у вигляді

агрегатних скупчень. Досліджений андрадит представлений ідіоморфними кристалами ромбододекадричного габітусу кольором від темно-медового до бурого розміром 0,2–0,5 мм (рис. 2). За даними гоніометричних досліджень кристалам притаманні такі прості форми, як ромбододекадр {110} і тетрагонтриоктаедр {211}.

Поверхням габітусних форм досліджених кристалів гранатів притаманні різноманітні скульптурні ускладнення як гіпсометрично вищі, так і гіпсометрично нижчі за поверхню грані. Так, на частині кристалів спесартину видно відмінну мікротопографію поверхні притаманну різним простим формам одного кристалу (рис. 3).

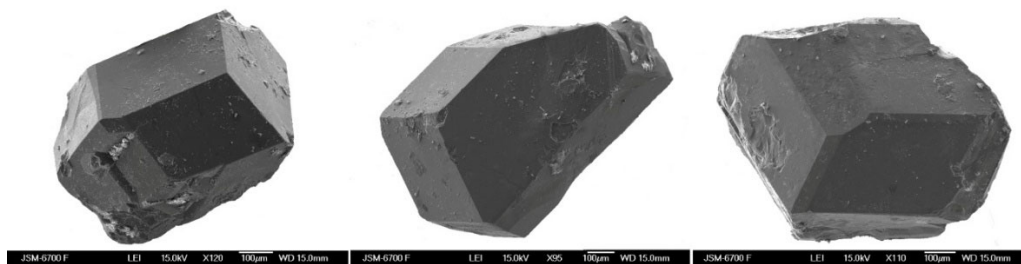


Рис. 2. Кристали андрадиту (ділянка Смереків камінь, Вигорлат-Гутинська гряда, Українські Карпати) (растровий електронний мікроскоп JSM-6700 F)

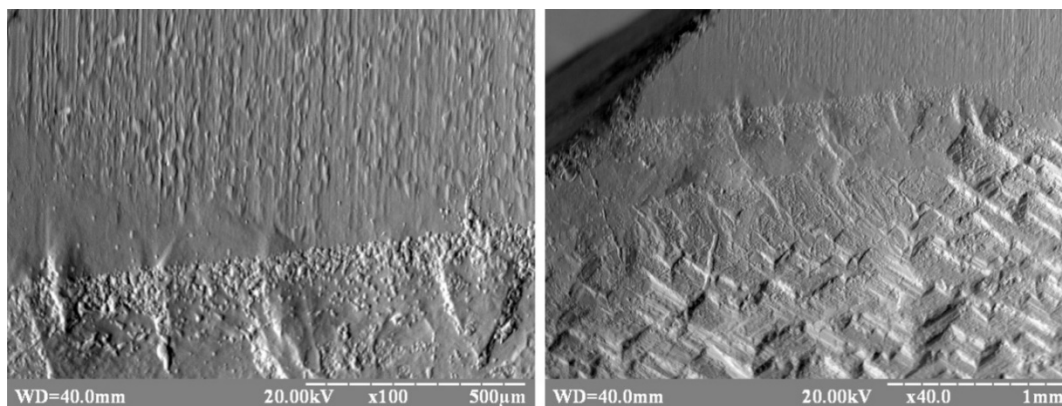


Рис. 3. Мікротопографія різних граней кристалів спесартину (Наніхіл, Танзанія)
(растровий електронний мікроскоп REMMA-202M)

До скульптур росту на поверхні граней можна віднести: сходишки росту, які спостерігаються на окремих гранях андрадиту і спесартину (рис. 4,а), взаємопаралельні вузькі штрихи-виступи, які утворюють штриховку і значно поширюються по поверхні грані в одному напрямку (рис. 4,б), та меандри – асиметричні виступи змінної висоти і ширини, що довільно змінюють напрям свого поширення на гранях спесартину (рис. 4,в).

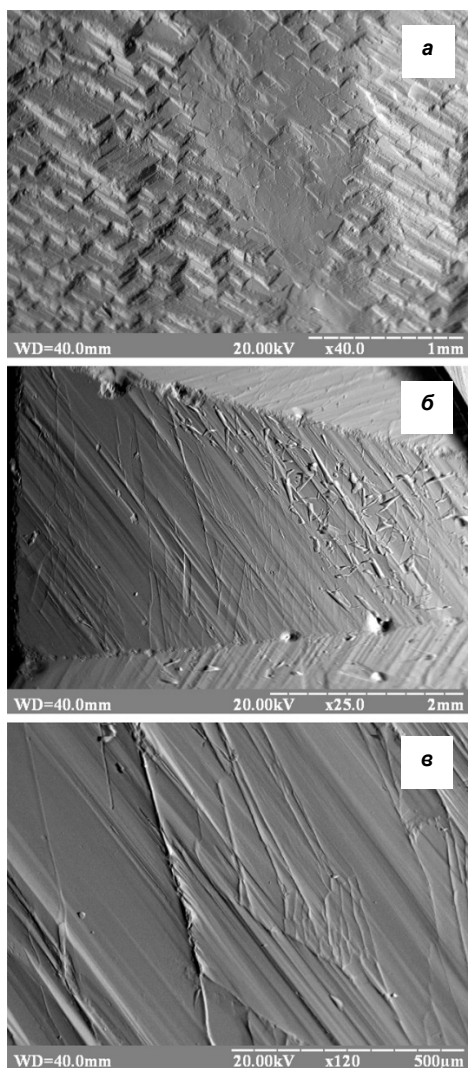


Рис. 4. Акцесорії росту на гранях кристалів спесартину
(растровий електронний мікроскоп REMMA-202M):
а – сходишки росту, б – штрихи-виступи, в – меандри

Гіпсометрично від'ємними утвореннями на гранях є різноманітні форми розчинення. Загальною особливістю поверхонь розчинення є своєрідне зрізання ростової анатомічної картини, формування конусної макроскульптури поверхні, утворення каналів і щілин розчинення вздовж дислокацій та меж блоків тощо. За (Фекличев, 1970), всі поверхневі дефекти (включення, домішкові центри, вакансії, дислокації, тріщини, шви зростання блоків і двійників) є генераторами шарів розчинення. Загалом явища слабого розчинення присутні на поверхні мінералів майже завжди. Так, на гранях {110} кристалів досліджуваного андрадиту спостерігається різний ступінь їх розчинення: від скупчення дрібних ямок розчинення – поля корозії (рис. 5,а), смуг з ямками розчинення (рис. 5,б), зубчато-сходишкового (черепитчатого) візерунку (рис. 5,в) до прояву трихитичних каналів у місцях виходу дислокацій (рис. 5,г) (Квасниця, & Шем'якіна, 2009).

Дрібні пірамідальної форми ямки розчинення фіксуються і безпосередньо на сходишках росту на гранях спесартину (рис. 6,а). Окремим граням притаманні різної форми невеликі каверни і ланцюжки пірамідальних ямок (рис. 6,б).

До гіпсометрично нижчих від рівня грані утворень також належать заглибини – відбитки інших мінералів, наприклад циркону на гранях спесартину (рис. 7).

Дискусія і висновки

Отже, досліджені кристали гранатів характеризуються розмаїтістю форм рельєфу поверхні граней, притаманних як процесу росту, так і розчинення. Так, кристали спесартину вочевидь у процесі росту змінювали форму, оскільки грані мають грубу скульптуру (штриховка виродження, численні грубі горби росту тощо). Відомо, що велика кількість грубих горбів росту або віциналей на гранях одних простих форм і відносно гладка поверхня на гранях інших простих форм кристала свідчить про зміну форми кристалів за зміни зовнішніх умов росту, оскільки груба скульптура властива граням з більшою відносною швидкістю росту (Попов, 2011). На користь даного твердження свідчить також і наявність на окремих гранях спесартину грубої штриховки. Присутність меандрового рельєфу говорить про формування кристалів у твердому середовищі шляхом заміщення.

Поверхні ж кристалів андрадиту, що входять до складу скарнової мінералізації прожилкового типу, здебільшого демонструють численні ознаки розчинення, зокрема й зубчато-сходишковий рельєф, та заміщення гранату по тріщинках вторинними мінералами (кальцитом, рідше хлоритом), що свідчить про тривалий і багатостадійний процес метасоматичних змін.

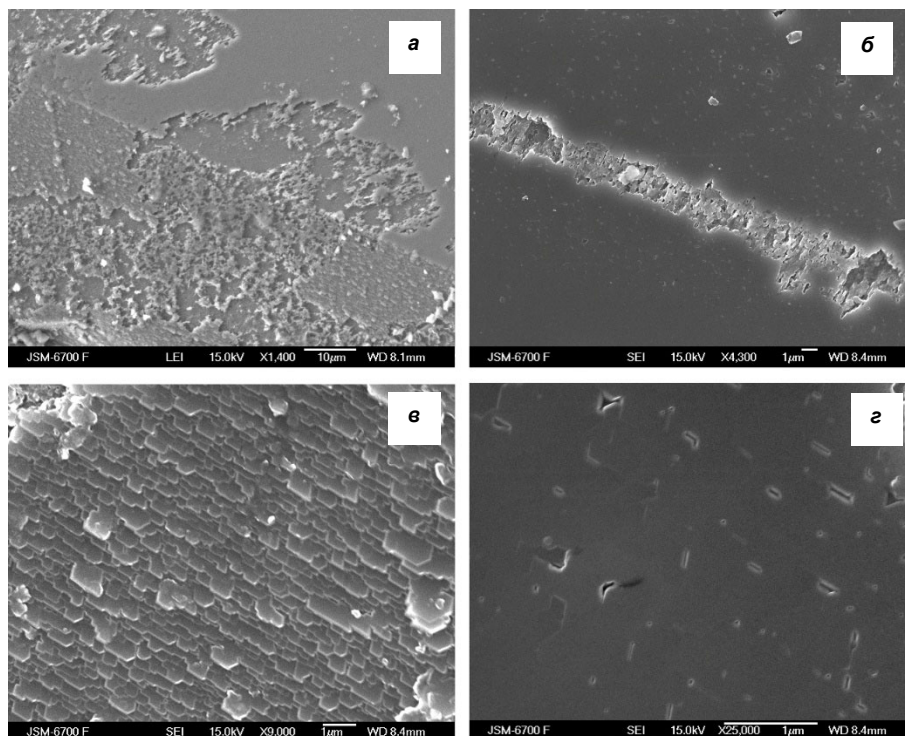


Рис. 5. Мікроморфологія граней {110} кристалів андрадиту, різні скульптури розчинення (електронний мікроскоп JSM-6700 F фірми Jeol):

а – поля корозії; б – смуги з ямками розчинення; в – черепитчатий візерунок; г – трихітичних каналів у місцях виходу дислокацій

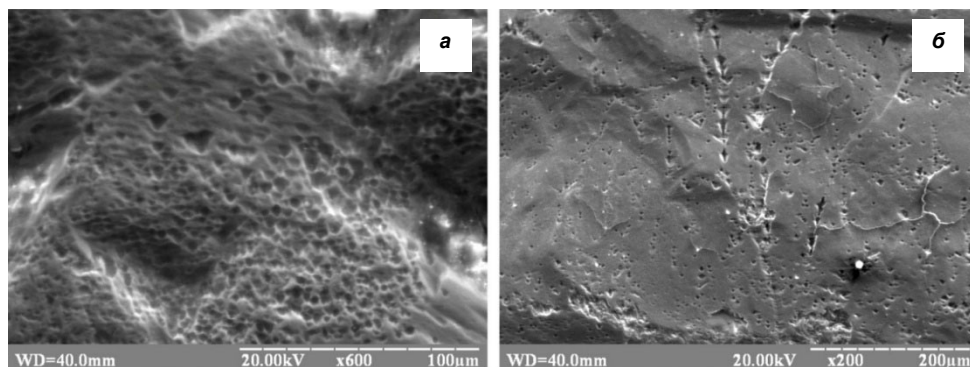


Рис. 6. Скульптури розчинення на гранях кристалів спесартину (растровий електронний мікроскоп REMMA-202M):

а – пірамідальні ямки розчинення на сходинках росту; б – окремі каверни та ланцюжки пірамідальних ямок

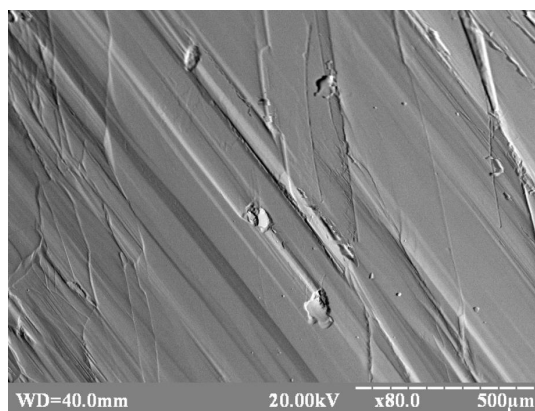


Рис. 7. Відбитки кристалів циркону на гранях кристалів спесартину (растровий електронний мікроскоп REMMA-202M)

Представлені тут результати дослідження демонструють можливість використання особливостей мікротопографії поверхні при моделюванні процесів мінерало-

утворення. У подальших дослідженнях цікавим би було зіставити мікротопографію поверхонь граней кристалів гранатів, утворених у різних мінералогенічних системах.

Список використаних джерел

Квасниця, І., & Шем'якіна, Т. (2009). Андрадит з неогенових метасоматитів Вигорлат-Гутинської гряди (Закарпаття). *Мінералогічний збірник*, 59 (1), 169–173.

Попов, В. (2011). *Практическая генетическая минералогия*. УрО РАН. Фекличев, В. (1970). *Микроморфологические исследования*. Недра. Chadwick, K., Koivula, J., & Laurs, B. et al. (2008). Spessartine from Loliondo, Tanzania. *Gems and Gemology*, 44 (1), 76–78.

Kvasnytsia, I., Andreev, A., Skrylnikova, Yu., & Naumenko, I. (2019). The features of spessartine from Nani Hill (Loliondo, Tanzania). *Proceedings of the XVIIIth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, Kyiv. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902080>

Rakovan, J., Becker, U., & Hochella, M. (1999). Aspects of goethite surface microtopography, structure, chemistry, and reactivity. *American Mineralogist*, 84(5–6), 884–894. <https://doi.org/10.2138/am-1999-5-624>

Sunagawa, I. (2007). *Crystals: Growth, Morphology, & Perfection*. Cambridge University Press.

References

Chadwick, K., Koivula, J., & Laurs, B. et al. (2008). Spessartine from Loliondo, Tanzania. *Gems and Gemology*, 44 (1), 76–78.

Iryna KVASNYTSIA, PhD (Geol.), Assoc. Prof.

ORCID ID: 0000-0003-0738-4599

e-mail: ikvasnytsia@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Feklichev, V. (1970). *Mikromorfologicheskiye issledovaniya*. Nedra [in Russian]. Kvasnytsia, I., & Shemyakina, T. (2009). Andradite from neogene metaso-

matite of the Vygorlat-Gutyn hills (the Transcarpathian). *Mineralogical Collection*, 59 (1), 169–173 [in Ukrainian]. Kvasnytsia, I., Andreev, A., Skrylnikova, Yu., & Naumenko, I. (2019). The features of spessartine from Nani Hill (Loliondo, Tanzania). *Proceedings of the XVIIIth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, Kyiv. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902080>

Popov, V. (2011). *Prakticheskaya geneticheskaya mineralogiya*. UrO RAN [in Russian].

Rakovan, J., Becker, U., & Hochella, M. (1999). Aspects of goethite surface microtopography, structure, chemistry, and reactivity. *American Mineralogist*, 84(5–6), 884–894. <https://doi.org/10.2138/am-1999-5-624>

Sunagawa, I. (2007). *Crystals: Growth, Morphology, & Perfection*. Cambridge University Press.

Отримано редакцією журналу / Received: 08.01.24

Прорецензовано / Revised: 05.04.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

ASPECTS OF MICROTOPOGRAPHY OF MINERAL SURFACES IN MODELING OF MINERAL FORMATION PROCESSES ON THE EXAMPLE OF GARNETS

Background. Microtopographic studies of the crystal faces provide a large amount of information about the origin of the crystal, the mechanisms of crystallization, the details of the growth process, the environment, the further existence and gradual destruction of the mineral, allow predicting the possible behavior of crystals in the enrichment process, etc. The faces of real crystals are non-smooth, rough, have an uneven surface and are often covered with a large number of flat and curved microform-microfaces. The face microrelief reflects the interaction of the crystal structure of the mineral and the mineral formation environment; the symmetry of simple microrelief forms of a certain origin is the result of the interaction of the symmetry of the crystal structure and the symmetry of the mineral formation environment. The elements of the crystal surface microtopography (microrelief) traditionally include growth and dissolution figures, as well as more complex sculptures consisting of more microfaces.

Methods. Goniometry and scanning electron microscopy (REMMA-202M electron microscope, JSM-6700 F electron microscope) were used to study the morphology and microtopography of the garnet crystals surface (spessartine (the Nani hill deposit, Loliondo, Tanzania), andradite (Smerekiv Kamin', Vygorlat-Gutyn hills, Transcarpathian, Ukraine).

Results. The studied garnet crystals are characterized by a variety of surface relief forms inherent in both the growth process (growth steps, protrusion strokes, meanders) and dissolution (dissolution pits, strips with dissolution pits, tiled dissolution pattern, trichitic channels).

Conclusions. The studied crystals of spessartine obviously changed their shape in the process of growth, since the faces have a rough sculpture (striations, numerous rough growth hillocks, etc.). This statement is also supported by the presence of coarse striation on individual faces of spessartine. The presence of a meander relief indicates the formation of crystals in a solid environment by substitution.

The surfaces of andradite crystals, which are part of the vein-type skarn mineralization, mostly show numerous signs of dissolution, including a dentate-stepped relief, and the replacement of garnet by fissures with secondary minerals (calcite, less often chlorite), which indicates a long and multi-stage process of metasomatic changes.

Keywords: microtopography, microrelief, growth and dissolution sculptures, garnet, andradite, spessartine.

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The author declares no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.04:553.43.071

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.09>

Володимир МИХАЙЛОВ, д-р геол. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-1837-9739

e-mail: vladvam@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Олена АНДРЕЄВА, канд. геол. наук

ORCID ID: 0000-0001-6849-5749

e-mail: andreeva_ea@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Віталій СИДОРЧУК, канд. геол. наук

ORCID ID: 0000-0003-2787-6195

e-mail: sydvit@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ОЦІНКА ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ
САМОРОДНОМІДНОЇ ФОРМАЦІЇ ВОЛИНСЬКОГО РУДНОГО РАЙОНУ*(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.М. Загнітком)*

Вступ. Мідь є одним із критичних металів для промисловості України. На території України відомо понад 150 проявів міді різних генетичних та геолого-промислових типів, найбільший інтерес з яких становлять прояви самородномідної формації в рифейських трапах Волинського міднорудного району. Для визначення ступеня інвестиційної привабливості проявів міді необхідна об'єктивна оцінка ресурсної бази міднорудного району.

Методи. Проведено аналіз результатів пошукових та пошуково-оцінювальних робіт у межах рудопроявів Волинського міднорудного району: переглянуто дані по свердловинах, виділені перспективні інтервали, уточнено площі та перераховано ресурси мідних руд.

Результати. Здійснено перерахунок ресурсного потенціалу Волинського міднорудного району для трьох металогенічних площ: Волинська, Кухотсько-Вольська і Маневицька, показано, що їх попередня оцінка під час проведення пошуково-оцінювальних робіт завищена на порядок.

Висновки. Встановлено, що самородномідне зруденіння Волинського міднорудного району має незначну інвестиційну привабливість і подальше освоєння його потенціалу потенційними інвесторами пов'язане зі значними ризиками. Певний інтерес становить група проявів західного облямування Гірницького горсту (Жиричі, Заліси-Шменьки), але незначні параметри рудних тіл, їх розпорошеність по площі і по розрізу, невеликий вміст міді, необхідність підземного способу видобутку ставлять під питання економічну доцільність їх розробки.

Ключові слова: мідь, самородномідна мінералізація, Волинський міднорудний район, трапи, рудопрояви, ресурси.

Вступ

Мідь є одним із кольорових металів, який широко використовується в електротехніці, машинобудівному комплексі, будівництві, військовій справі, для виготовлення різноманітних приладів і обладнання, художніх виробів, монет тощо. Значна частина міді застосовується в електротехнічній промисловості та зв'язку, зокрема для виготовлення електроаккумуляторів, завдяки її значній електропровідності. Висока теплопровідність і опір корозії зумовлюють можливість виготовлення з міді деталей теплообмінників, холодильників, вакуумних приладів тощо. Отже, сучасний промисловий комплекс будь якої розвинутої країни не може обійтись без використання міді та її сплавів. Як наслідок останніми роками спостерігається постійне зростання ціни на мідь, зокрема, за даними Лондонської біржі металів, тільки за 2020 р. спотові ціни на мідь збільшилися майже вдвічі – з 5 тис. доларів за тонну на початку року до 9 тис. доларів наприкінці року, що сприяє ентузіазму інвесторів міднодобувної промисловості. На початку 2024 р. ціна міді коливається від 8 до 9 тис. доларів за тонну.

Світові ресурси міді оцінюються в 1600 млн т, запаси – близько 900 млн т, підтверджені запаси – понад 600 млн т, які зосереджені переважно в Чилі, США, Перу, Китаї, Замбії, Росії та інших країнах (Corper, 2015; The World Copper..., 2019). На жаль, Україна не входить до їхнього числа, тут відсутня власна мінерально-сировинна база (МСБ) міді, яку ми вимушені імпортувати в кількості близько 90–100 тис. т щорічно (до початку військових дій). Тому питання створення власної МСБ міді є актуальним і

своєчасним (Загальнодержавна програма..., 2011; Михайлов та ін., 2007; Мінеральні ресурси..., 2018).

Постановка проблеми. В Україні відомо понад 150 проявів міді різних геолого-промислових типів: самородномідного в осадово-вулканогенних товщах (Волино-Подільська плита); стратиформного в мідистих пісковиках і сланцях (Дніпровсько-Донецька западина, Південний Донбас, Волино-Подільська плита, Складчасті Карпати, Передкарпатський прогин); сульфідного мідно-нікелевого, мідно-колчеданного і залізо-мідного та скарнового (Український щит, Рахівський масив) (Металічні та неметалічні..., 2006). Найбільший інтерес з них становлять прояви самородномідної формації в рифейських трапах Волинського міднорудного району. Проблема полягає у відсутності об'єктивної геолого-економічної оцінки цих проявів, що ускладнює залучення інвестицій для їх можливого промислового використання.

У той же час є значний інтерес потенційних інвесторів до освоєння міднорудного потенціалу цього району. Зокрема, 25 лютого 2021 р. Державна служба геології та надр України (Держгеонадра) провела аукціон з продажу спеціального дозволу на користування надрами з метою геологічного вивчення, у тому числі дослідно-промислової розробки родовищ мідних руд ділянки "Рудоносне поле Заліси-Шменьки", яка розташована в Ратнівському районі Волинської області. Учасники аукціону продемонстрували неабиякий ажіотаж щодо цієї ділянки, зокрема, як повідомив офіційний сайт Держгеонадра, її ціна у ході електронних торгів зросла у 483 рази і сягнула 20 566 тис. грн (Ціна ділянки..., 2021).

© Михайлов Володимир, Андрєєва Олена, Сидорчук Віталій, 2024

Аналіз попередніх досліджень. Пошуки та оцінка самородномідної мінералізації у волинських трапах мають довгу історію. Вперше прояви міді тут були описані у 1929 р., в довоєнний період проводилися фрагментарні роботи, в результаті яких були виявлені численні точки мінералізації, а в післявоєнний – систематичні геологознімальні і пошукові роботи, які привели до виділення перспективних ділянок і рудопроявів (Ратнівський, Велико-Мідський, Видертинський, Жиричі та ін.). У геологічній літературі достатньо широко описані особливості геологічної будови і стратиграфії Волинського рудного району, мінералого-геохімічні особливості проявів самородномідної мінералізації, розбираються питання її генезису тощо (Бацевич, Наумко, & Білик, 2016; Ємець, 2008; Квасниця, Павлишин, & Косовський, 2009; Мельничук, 2010; Мельничук, Поліщук, & Мельничук, 2011; Наумко та ін., 2013; Приходько, 2005; Приходько та ін., 2010; Emetz, Zagnitko, & Prykhod'ko, 2005; Sazonets, & Malanchuk, 2015).

З часу набуття Україною незалежності активізувалися роботи з оцінки рудопроявів Волинського рудного району. Зокрема, з 1991 по 2008 р. Рівненська геологічна експедиція ПДРГП "Північгеологія" проводила цілеспрямовані роботи з оцінки рудного потенціалу Волинського рудного району на ділянках: Жиричі, Заліси-Шменьки, Північноратнівська, Ратнівська, Текля, Рафалівська, Тельча, Велико-Мідська (Пошуки родовищ міді..., 2008).

За ці роки було проведено великий комплекс геологорозвідувальних робіт (ГРР), у тому числі проходження каналів і шурфів, буріння свердловин (пробурено 600 свердловин загальним об'ємом 91 123,8 пог. м), вивчення та опробування керну свердловин, обстеження кар'єрів, відбір проб (на визначення міді хімічним аналізом відібрано 16 814 проб), лабораторні роботи, наземні геофізичні дослідження (ВП-заряд, ВЕЗ-ВП, сейсміка) і геофізичні дослідження у свердловинах (метод ГК, КС, ПС, МК, НАК) тощо. Загальна кошторисна вартість робіт становила понад 42 млн грн. у цінах 2008 р.

Для Волинського міднорудного району встановлено прогнозні фактори і критерії, головними з яких є стратиграфічні, петролого-літологічні, мінералогічні, тектонічні, палеовулканічні та ін., встановлено попередні кондиції для підрахунку ресурсів, а саме: бортовий вміст міді – 0,2 %, мінімальна потужність рудного тіла – 1,0 м, максимальна потужність прошарків пустих порід і некондиційних руд – 1,0 м, на основі яких підраховано запаси міді категорії С₂ у кількості 161,17 тис. т, перспективні і прогнозні ресурси міді категорій: Р₁ – 1 371,72 тис. т; Р₂ – 2 109,09 тис. т; Р₃ – 12 193,9 тис. т, всього 15 835,88 тис. т міді.

Виділення невивчених частин загальної проблеми. Основною проблемою є відсутність об'єктивної геолого-економічної оцінки та оцінки інвестиційної привабливості рудопроявів самородномідної мінералізації Волинського рудного району. Раніше на прикладі прояву Жиричі показано, що під час ГРР відбулося завищення ресурсних показників цього прояву, що ставить під сумнів загальну оцінку ресурсів міді Волинського рудного району і перспектив його промислової розробки (Михайлов, Андреева, & Андреев, 2020).

Формулювання цілей статті. Тому основною метою статті є об'єктивна оцінка ресурсної бази Волинського рудного району і ступеня інвестиційної привабливості об'єктів самородномідної мінералізації заради оцінки ризику інвестиційних вкладень у пошуково-розвідувальні роботи на мідь.

Методи

Методика оцінки рудного потенціалу району і окремих його об'єктів включає визначення геолого-промислового типу зруденіння, встановлення просторових і речовинних параметрів рудних тіл, масштабу зруденіння, запасів, перспективних і прогнозних ресурсів рудних об'єктів, оцінку економічної ефективності їхньої розробки. Що стосується геолого-промислового типу зруденіння Волинського рудного району, то всі дослідники відносять його до самородномідної формації, доволі рідкісного типу, найяскравішим представником якого є родовища Озера Верхнього у США, широко описані в геологічній літературі (Bornhorst, & Barron, 2011; Laurel et al., 2020 та ін.).

Особливе значення має встановлення кондицій рудних тіл для підрахунку ресурсів. Попередниками були встановлені такі кондиції: бортовий вміст міді – 0,2 %, мінімальна потужність рудного тіла – 1,0 м, максимальна потужність прошарків пустих порід і некондиційних руд – 1,0 м (Пошуки родовищ міді..., 2008). З ними можна погодитися, хоча бортовий вміст міді для цього типу зруденіння виглядає заниженим. Так, у рудах самородномідних родовищ Озера Верхнього середній вміст міді коливається від 1,2 до 2,5 %, срібла – від 4 до 7 г/т (Bornhorst, & Barron, 2011), так що для самородномідного типу зруденіння більш логічним був би бортовий вміст на рівні 0,5 % міді. Згідно з (Методические рекомендации..., 2007) мідні руди поділяються на дуже багаті – з вмістом міді понад 3–5 %; багаті – понад 2 % (для руд міднопорфірових родовищ – понад 1 %); середньої якості (рядові) – понад 1 % (для міднопорфірових родовищ – понад 0,4 %); бідні – 0,7–1,0 % (для міднопорфірових родовищ – менше 0,4 %). Але, вслід за попередниками, приймемо бортовий вміст міді на рівні 0,2 %. За запасами родовища поділяють на унікальні (>10 млн т Cu), великі (3–10), середні (0,5–3), дрібні (<0,5 млн т).

Отже, у подальшому "рудними" будуть вважатися інтервали завтовшки не менш як 1 м із вмістом міді, не меншим 0,2 %, з можливими прошарками пустих порід і некондиційних руд завтовшки не більш як 1 м. Під "умовно рудними" маються на увазі інтервали, штучно нарощені за рахунок включення до їх складу проб із вмістом міді, меншим 0,2 % (які не є прошарками пустих порід і некондиційних руд у рудному тілі), або такі, що не повністю відповідають за параметрами встановленим кондиціям. Водночас не треба забувати, що кларк міді в основних породах дорівнює 0,01 %, тому вміст міді в сотій частці відсотка є наближеними до кларкових. Саме з цих позицій і проаналізовані матеріали по самородномідній мінералізації Волинського рудного району, які включають дані по 600 свердловинах із загальною довжиною понад 91 тис. м і аналізу понад 16 тис. проб (табл. 1).

Як видно з табл. 1, ступінь вивченості всіх об'єктів достатньо високий, тому для них можна підрахувати не тільки прогнозні, але й перспективні ресурси – за умов наявності кондиційних перерізів рудних тіл. Для проявів Жиричі, Південнорафалівського, а також для Комарівського рудоносного поля, які характеризуються найвищим ступенем вивченості, підраховано перспективні ресурси категорій Р₁ і Р₂, для інших об'єктів, де ступінь вивчення набагато нижчий – перспективні ресурси категорії Р₂ і прогнозні ресурси категорії Р₃.

З аналізу табл. 1 зразу випливає питання щодо результативності ГРР. Мається на увазі дуже низький відсоток проб з кондиційним вмістом міді, який загалом по рудному району дорівнює 1,9 % (325 проб з відібраних 16 814 проб), а для окремих ділянок (Рафалівська,

Велико-Мідська) знижується до 0,5–0,6 %. Тобто левову частку проб (до 98–99 %, чи 16 489 проб) було відібрано по безрудних чи некондиційних інтервалах. Для рудних районів така ситуація є, м'яко кажучи, незвичною, що ставить під сумнів загальний рудний потенціал Волинського міднорудного району і/чи рівень кваліфікації

виконавців. З власного досвіду авторів цієї статті можемо стверджувати, що для дійсно рудних районів ендегенного зруденіння (мідь, поліметали, молібден, золото тощо) частка "рудних" проб під час пошуково-оцінювальних робіт не може сягати менше 30–50 %.

Таблиця 1

Фактичний матеріал по об'єктах Волинського міднорудного району за даними ГРР 1991–2008 рр.

Прояв (рудоне поле, ділянка)	Кількість свердловин	Довжина свердловин, м	Кількість проб	Кількість проб з вмістом міді 0,2 % і більше, проб (%)	Кількість кондиційних інтервалів
Волинська металогенічна площа					
Прояв Жиричі	53	23 368,8	2200	152 (6,9 %)	39
Прояв Заліси-Шменьки	9	4 677,0	296	19 (6,4 %)	6
Північноратнівська ділянка	26	8 071,9	787	36 (4,6 %)	8
Ратнівська ділянка	6	2 449,0	250	8 (3,2 %)	3
Ділянка Текля	5	1 985,0	242	5 (2,1 %)	–
Всього по площі	99	40 551,7	3 775	220 (5,8 %)	56
Кухотсько-Вольська металогенічна площа					
Любешівське рудоносне поле	21	3 679,0	761	6 (0,8 %)	1
Маневицька металогенічна площа					
Рафалівська ділянка	436	42 121,2	10 842	70 (0,6 %)	18
Кар'єри Рафалівської ділянки	–	–	561	21 (3,7 %)	3
Ділянка Тельча	6	2 467,0	502	6 (1,2 %)	–
Ділянка Велико-Мідська	38	2 304,9	373	2 (0,5 %)	1
Всього по площі	480	46 893,1	12 278	99 (0,8 %)	22
Всього по району	600	91 123,8	16 814	325 (1,9 %)	79

Результати

На території Волинського рудного району виділено три металогенічних площі, де локалізовані прояви, ділянки і рудні поля з мідною мінералізацією: Волинська на заході, Кухотсько-Вольська на північному сході і Маневицька на південному сході. Самородномідна мінералізація тут пов'язана з ефузивно-пірокластичними і осадовими породами волинської серії венду, де виділяється ряд міденосних горизонтів, основними з яких є: 1А в заболотівській світі; 2А, 2Б, 2В – у бабинській світі; 3А, 3А/3Б, 3Б – у ратнівській світі. Самородномідна мінералізація зустрічається переважно в базальтах (1А, 2Б, 3А), їх туфах (2А, 2В, 3А/3Б) і конгломератах (3А/3Б), перешаруванні базальтів і лавобрекчій (3Б).

Волинська металогенічна площа об'єднує Турсько-Лугівське рудоносне поле (прояви Жиричі, Заліси-Шменьки), Північногірницьке рудоносне поле (Північно-ратнівська ділянка), Ратнівське рудоносне поле (Ратнівська ділянка), Теклінське рудоносне поле (ділянка Текля). Вони формують компакту групу рудоносних об'єктів у районі селищ Ратне, Жиричі, Броди Волинської області, за винятком ділянки Текля, яка локалізована південніше, в районі селища Текля (рис. 1).

Детальний аналіз матеріалів ГРР по **рудопрояву Жиричі** проведено в попередній статті авторів (Михайлов та ін., 2022). На рудопрояві пробурено 53 свердловини (23 368,8 пог. м), щільність мережі становила 1600 × 600–800 м, на окремих профілях до 800 × 800 м. Глибина рудоносних горизонтів сягає 164–537 м. Згідно з техніко-економічним міркуванням (ТЕМ) майбутня розробка прояву самородної міді Жиричі щодо всіх розглянутих варіантів бортового вмісту міді в пробах, номенклатури і цін на товарну продукцію була визнана рентабельною (Пошуки родовищ міді..., 2008).

Однак аналіз фактичних матеріалів ГРР переконує в неоднозначності висновків. Зокрема, поставлено під сумнів уявлення попередників щодо значної горизонтальної протяжності (до 4–5 км) рудних тіл, що не обґрунтовано наявним фактичним матеріалом з урахуванням

їх невеликої товщини (до 1–3 м); на розрізах за матеріалами бурових робіт видно, що рудні тіла мають лінійно-дільну форму і простежуються за простяганням максимум на перші сотні метрів. Це призвело до суттєвого штучного завищення параметрів рудних тіл у матеріалах ГРР.

Під час підрахунку ресурсів родовища, крім штучного завищення параметрів рудних тіл, відбувалося систематичне порушення кондицій підрахунку, а саме бортового вмісту міді (0,2 %), мінімальної потужності рудного тіла (1,0 м) і максимальної потужності прошарків пустих порід і некондиційних руд (1,0 м). Все це призвело до суттєвого перебільшення ресурсів рудопрояву, які в матеріалах ГРР за категорією Р₁ оцінено в 858,93 тис. т (горизонти 2А, 2Б, 2В, 3А, 3Б), а за категорією Р₂ – 133,39 тис. т міді (горизонт 1А), всього 992,32 тис. т міді (Пошуки родовищ..., 2008). За нашими підрахунками перспективні ресурси міді категорії Р₁ рудопрояву Жиричі становлять 220,4 тис. т, що в 4,5 раза менше, ніж наведено у відповідних матеріалах ГРР. Порівняно з попередньою статтею (Михайлов та ін., 2022) уточнені перспективні ресурси категорії Р₂, які, враховуючи значний ступінь геологічного вивчення прояву, можна оцінити як зіставні з ресурсами категорії Р₁, тобто у 220,4 тис. т міді. Отже, загальні ресурси рудопрояву Жиричі становлять 440,8 тис. т міді, що в 2,25 раза менше, ніж оцінено попередньо. Що стосується ресурсів благородних металів (Au – 8,14 т, Ag – 700,58 т, Pt – 7,85 т, Pd – 2,62 т), то вони мають бути виключені з підрахунку як необґрунтовані і недостовірні.

Прояв Заліси-Шменьки площею 31,19 км² є безпосереднім продовженням прояву Жиричі на південний схід. За особливостями геологічної будови, структурного положення, стратиграфії тощо він аналогічний рудопрояву Жиричі, але якщо останній розташований на західному облямуванні Гірницького горсту, то прояв Заліси-Шменьки приурочений до його південного облямування. Вперше міденосність тут було встановлено під час геологознімальних і пошукових робіт 1961–1964 рр., потім підтверджено під час геологознімальних робіт 1983–1988 рр. і 1988–

1992 рр. На той час на площі прояву було пробурено 22 свердловини, у 8 з яких встановлено підвищений (понад 0,4 %) вміст міді. Під час пошуково-розвідувальних робіт 1991–2008 рр. на площі прояву було пробурено 9 свердловин загальною довжиною 4 677,0 м, відібрано і проаналізовано 296 проб, з яких тільки 19 проб (6,4 %) показали підвищений (понад 0,2 %) вміст міді. Загальна

кількість проб, відібраних на ділянці Заліси-Шменьки, сягає 504, але тільки в 47 пробах (9,3 %) встановлено вміст міді 0,2 % і більше. За результатами досліджень виявлено 12 кондиційних і один умовно кондиційний перерізи рудних тіл, за якими ми розрахували перспективні ресурси міді категорії P_2 (табл. 2).

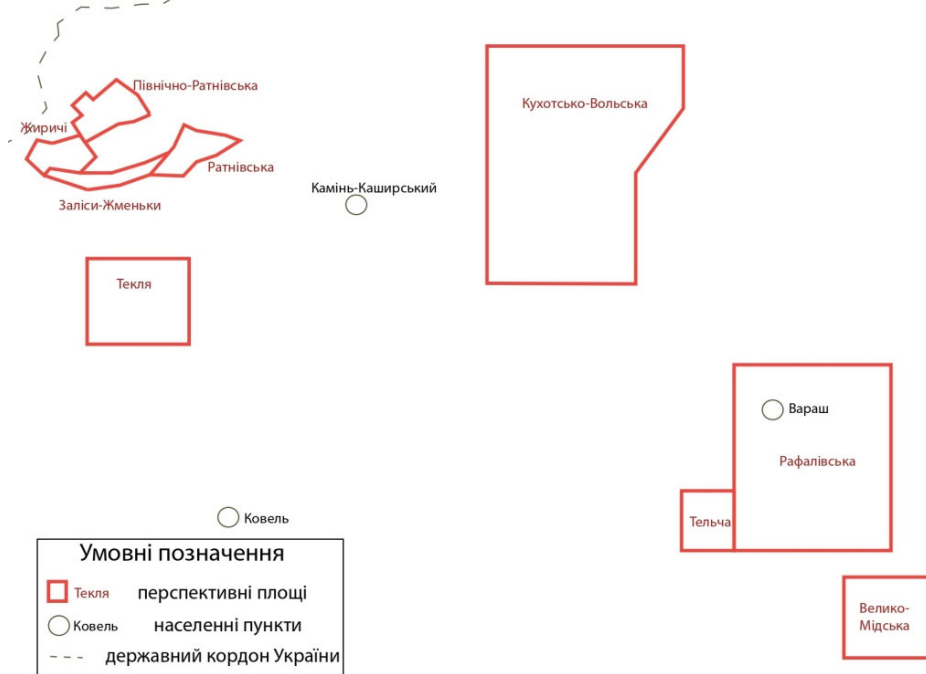


Рис. 1. Схема розташування об'єктів Волинського рудного району північноратнівська

Таблиця 2

Розрахунок перспективних ресурсів категорії P_2 прояву Заліси-Шменьки

№ св.	Інтервал, м	Товщина, м	Вміст міді, %	Площа, м ²	Середні		Перспективні ресурси категорії Р ₂ , тис. т	
					товщина, м	вміст міді, %	руди	міді
3А								
17-А	461,2–463,3	2,1	0,47	135 000	1,6	0,765	604,80	4,63
17-А	468,8–469,9	1,1	1,06					
2Б								
5808	524,2–525,2	1,0	0,564	290 000	1,0	0,564	638,00	5,56
5805	328,0–329,0	1,0	0,211	450 000	1,0	2,260	257,90	4,46
5809	453,0–454,0	1,0	0,310					
2А								
5808	564,0–565,5	1,5	0,286	290 000	1,6	0,378	1 011,52	3,82
5808	568,0–570,2	1,7	0,470					
5843	259,8–260,7**	0,9	0,542	850 000	2,2	0,585	4 076,60	23,85
5591-К*	262,1–265,6	3,5	0,628					
5712-К*	?	1,8	0,23	350 000	1,8	0,23	1 373,40	3,16
1А								
17-А*	727,6–730,0	2,4	0,32	135 000	2,4	0,32	874,80	2,80
5572-К*	231,0–233,0	2,0	1,410	230 000	2,0	1,41	1 242,00	17,51
5804	711,4–712,4	1,0	4,500	13 500	1,0	4,500	364,50	16,40
Всього							10 443,52	82,19

Примітки: * свердловини попередників, ** умовно кондиційні інтервали.

У будові прояву беруть участь рудоносні горизонти 1А, 2А, 2Б, 3А, 3Б.

Горизонт 1А розкритий 20 свердловинами, але тільки у 8 з них було встановлено мідне зруденіння, причому з 32 відібраних з горизонту проб тільки в 6 пробах вміст міді перевищує 0,2 %. Ще менше виділяється інтервалів, кондиційних за товщиною. По суті справи для горизонту 1А виділено тільки три таких інтервалів у свердловинах: 17-А – інтервал 727,6–730,0 (2,4 м) із вмістом міді 0,32 %

(тут і далі – середньозважений вміст); 5572-К – інтервал 231,0–233,0 (2,0 м) із вмістом міді 1,41 %; 5804 – інтервал 711,4–712,4 (1,0 м) із вмістом міді 4,5 %. Свердловини розпорошені по площі, що свідчить про невитриманість горизонту, який вірогідно представлений окремими невеликими лінзами чи гніздами. Практичного інтересу він не становить, перспективні ресурси категорії P_2 горизонту можуть бути оцінені в 36,71 тис. т.

Горизонт 2А розкритий 23 свердловинами, в 11 з яких зафіксовано ознаки мідного зруденіння. З відібраних по горизонту 66 проб тільки в 14 встановлено вміст міді 0,2 % і більше. Кондиційні інтервали виділяються в таких свердловинах: 5712-К – 0,23 % міді на інтервалі 1,8 м; 5591-К – 0,628 % міді на інтервалі 3,5 м (глибина 262,1–265,6 м); 5808 – 0,286 % міді на інтервалі 1,5 м (564,0–565,5 м) і 0,47 % міді на інтервалі 2,2 м (569,0–570,2 м). До умовно кондиційного можна віднести інтервал 259,8–260,7 свердловини 5843, де вміст міді сягає 0,542 %, але за товщиною (0,9 м) інтервал трошки не "дотягує" до кондицій. Як і для горизонту 1А, вони розпорошені по площі, не простежуються на більш-менш значну відстань і представлені дрібними лінзоподібними тілами з обмеженими просторовими параметрами, перспективні ресурси категорії Р₂ яких можуть бути оцінені в 30,83 тис. т. Всі інші перерізи цього горизонту є некондиційними.

Горизонт 2Б розкритий 25 свердловинами, з яких відібрано 172 проби, але тільки у 18 пробах встановлено вміст міді 0,2 % і більше. Вони розпорошені по площі і по розрізу, кондиційні за показниками перетини зустрічаються тільки в трьох свердловинах: 5805 – вміст міді 0,211 % на товщину 1,0 м (інтервал 328,0–329,0 м); 5808 – 0,564 % міді на товщину 1,0 м (544,2–525,2 м); 5809 – 0,31 % міді на товщину 1,0 м (453,0–454,0 м). Таким чином, у горизонті витриманих рудних тіл не виявлено, перспективні ресурси категорії Р₂ невеликих лінзоподібних тіл не перевищують 10,02 тис. т.

У горизонті 2В, розкритий 23 свердловинами кондиційних вміст міді (0,2 % і більше) не встановлено.

Горизонт 3А розкритий 21 свердловиною, опробування яких показало низьку продуктивність зруденіння – зі 134 відібраних проб лише в чотирьох було встановлено вміст міді 0,2 % і більше. Кондиційні інтервали розкриті єдиною свердловиною – 17-А в західній частині площі, де вміст міді сягають 1,06 % на товщину 1,1 м (інтервал 468,8–469,9 м) і 0,47 % на товщину 2,1 м (461,2–463,3 м). Мідне зруденіння встановлено також у сусідній

свердловині 15-СП, де вміст міді сягає 0,37 %, але товщина інтервалу становить всього 0,6 м (418,5–419,1 м). У безпосередній близькості від цих свердловин є свердловини 5804, 18-Б і 5541-К, де зруденіння на цьому рівні не зафіксовано. Отже, перспективні ресурси категорії Р₂ рудних тіл горизонту 3А не перевищують 4,63 тис. т.

Горизонт 3Б, розкритий 16 свердловинами, з відібраних 59 проб лише 5 показали значення міді 0,2 % і більше, максимальне значення сягає 0,62 % у свердловині 1902-П на товщину 0,2 м. Всі інші інтервали також не є кондиційними.

Таким чином, у складі всіх "рудноносних" горизонтів витриманих рудних тіл не зафіксовано, зруденіння представлене "розпорошеними" по латералі і розрізу невеликими рудними скупченнями у вигляді лінз і гнізд з дуже обмеженими перспективними ресурсами категорії Р₂, які сумарно дорівнюють 82,19 тис. т міді і навряд чи можуть становити промисловий інтерес. Прогнозні ресурси категорії Р₃ приймаються в тому ж обсязі, тобто загальні ресурси прояву Заліси-Шменьки оцінюються нами у 164,38 тис. т міді, що в 4 рази нижче, ніж попередньо оцінено.

Північноратнівська ділянка (Північногірницьке рудне поле) площею 88,4 км² розташована на північний схід від рудопрояву Жиричі і є його безпосереднім продовженням на північно-західному облямуванні Гірницького горсту, тому основні риси геологічної будови відповідають прояву Жиричі. У будові ділянки беруть участь рудоносні горизонти 1А, 2А, 2Б, 2В, 3А, 3Б. Всього на ділянці відібрано 835 проб, з яких вміст міді 0,2 % і більше зафіксовано у 41 пробі (4,9 %). Під час пошуково-розвідувальних робіт 1991–2008 рр. на площі прояву було пробурено 26 свердловин загальною довжиною 8071,9 м, відібрано і проаналізовано 787 проб, з яких тільки 36 проб (4,6 %) показали підвищений (понад 0,2 %) вміст міді. Але більша частина цих інтервалів не відповідає кондиціям за товщиною (менше 1 м), тому за результатами ГРП 1991–2008 рр. можна виділити 5 кондиційних і 4 умовно кондиційних інтервалів (табл. 3).

Таблиця 3

Розрахунок перспективних ресурсів категорії Р₂ Північноратнівської ділянки

№ св.	Інтервал, м	Товщина, м	Вміст міді, %	Площа, м ²	Середні		Перспективні ресурси категорії Р ₂ , тис. т	
					товщина, м	вміст міді, %	руди	міді
2А								
4492	393,0–394,1	1,1	0,270	400 000	1,1	0,27	959,20	2,59
4501	215,5–218,2	2,7	0,211	1 500 000	1,69	0,325	5 518,12	17,92
4558	208,45–209,5**	1,05	0,440					
4558	228,7–230,0	1,3	0,417					
4570	176,5–177,9**	1,7	0,231					
4578	399,5–401,5	2,0	0,314	2 000 000	1,9	0,343	8 284,00	28,43
4580	220,9–222,2**	1,3	0,341					
4587	238,5–239,4**	0,9	0,410					
4587	247,6–251,0	3,4	0,308					
Всього							14 761,32	48,94

Примітка: **умовно кондиційні інтервали.

Горизонт 1А розкритий 3 свердловинами, рудних інтервалів не встановлено.

Горизонт 2А розкритий 28 свердловинами, з нього відібрано 348 проб, з них 30 проб із вмістом міді 0,2 % і більше. Всі 9 кондиційних і умовно кондиційних інтервалів приурочені саме до цього горизонту. Що стосується кондиційних інтервалів, то вони виділяються у свердловинах: № 4492 – із вмістом міді 0,27 % на товщину 1,1 м (інтервал 393,0–394,1 м); № 4501 – з вмістом міді 0,211 % на товщину 2,7 м (інтервал 215,5–218,2 м); № 4558 – із вмістом міді 0,417 % на товщину 1,3 м (228,7–230,0);

№ 4578 – із вмістом міді 0,314 % на товщину 2,0 м (399,5–401,8 м); № 4587 – із вмістом міді 0,308 % на товщину 3,4 м (247,6–251,0 м). Ще чотири інтервали можна віднести до умовно кондиційних по свердловинах № 4558 – із вмістом міді 0,440 % на товщину 1,05 м (208,45–209,5 м); № 4570 – із вмістом міді 0,231 % на товщину 1,7 м (176,5–177,9 м); № 4580 – із вмістом міді 0,341 % на товщину 1,3 м (220,9–222,2 м) і № 4587 – із вмістом міді 0,410 % на товщину 0,9 м (238,5–239,4 м). До умовно кондиційних їх віднесено тому, що ці інтервали штучно нарощені за рахунок включення інтервалів

з низькими вмістами міді (менше 0,2 %) чи трошки не "дотягують" до необхідної товщини.

Горизонт 2Б розкритий 28 свердловинами, з нього відібрано 160 проб, з них 13 проб із вмістом міді 0,2 % і більше, але товщина цих інтервалів на перевищує 0,1–0,5 м. Рудних тіл, які б могли становити промисловий інтерес, у горизонті не виявлено.

Горизонт 2В розкритий 26 свердловинами, з нього відібрано 84 проби, але проб із вмістом міді 0,2 % і більше не зафіксовано.

Горизонт 3А розкритий 18 свердловинами, з нього відібрано 197 проб, з них тільки 3 проб із вмістом міді 0,2 % і більше в інтервалах до 0,5 м.

Горизонт 3Б розкритий 9 свердловинами, з нього відібрано 45 проб, але тільки в одній пробі зафіксовано вміст міді 0,2 % і більше на потужність 0,7 м.

Отже, на Північноратнівській ділянці інтерес становить тільки горизонт 2А. Свердловини з кондиційними інтервалами, розкритими в межах цього горизонту, формують дві компактні групи по три свердловини в кожній (рис. 2). Компактне розміщення свердловин з рудними інтервалами свідчить про наявність більш-менш витриманих рудних тіл і дає змогу поррахувати для цих ділянок перспективні ресурси категорії Р₂.

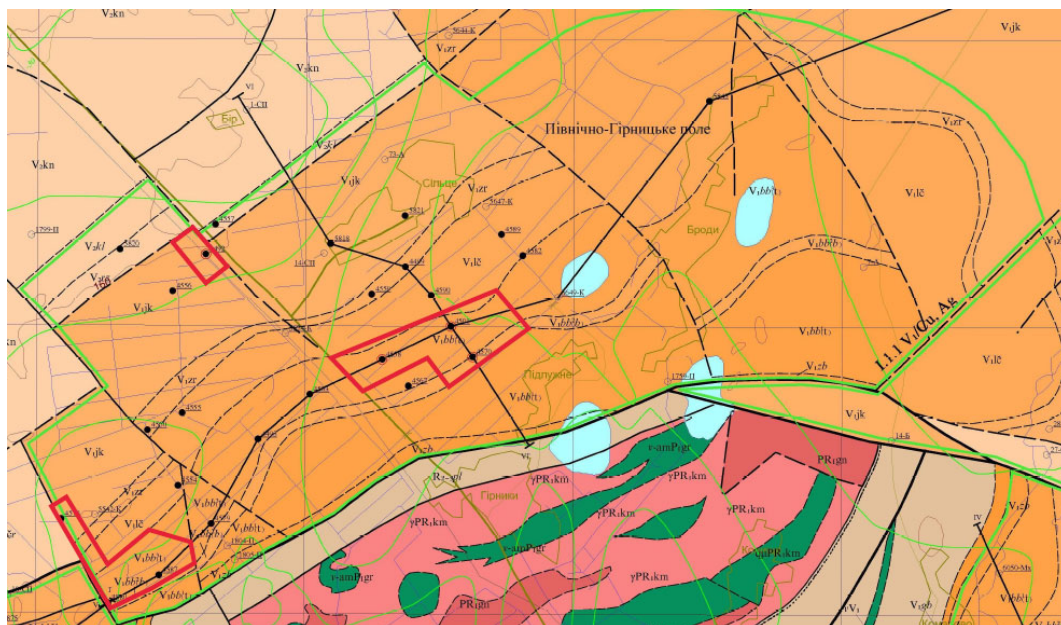


Рис. 2. Схема розміщення свердловин. Північноратнівська ділянка (Північогірницьке рудне поле)

Перша група включає свердловини № 4578, 4587, 4580 у південно-західній частині ділянки, на межі з ділянкою Жиричі. Зрозуміло, що вона є безпосереднім продовженням рудного поля Жиричі. Для підрахунку перспективних ресурсів категорії Р₁ взято такі параметри: площа рудного тіла – 2 км²; середня товщина рудного тіла 1,9 м; середній вміст міді – 0,343 %; питома вага – 2,18 г/см³ (далі питома вага для підрахунків вибиралась залежно від питомої ваги вмісних порід). Перспективні ресурси категорії Р₂ по блоку будуть сягати: 8 284,0 тис. т руди, 28,43 тис. т міді.

Друга група включає свердловини № 4501, 4558, 4570 у центральній частині ділянки. Для підрахунку перспективних ресурсів категорії Р₁ взято такі параметри: площа рудного тіла – 1,5 км²; середня товщина рудного тіла – 1,69 м; середній вміст міді – 0,325 %; питома вага – 2,18 г/см³. Перспективні ресурси категорії Р₂ по блоку будуть становити: 5 518,13 тис. т руди, 17,92 тис. т міді.

Що стосується свердловини № 4492, де вміст міді сягає 0,27 % у межах горизонту 2А на товщину 1,1 м (інтервал 393,0–394,1 м), то вона розміщена на північному заході площі, осторонь від інших свердловин з кондиційними інтервалами і оточена "безрудними" свердловинами. Перспективні ресурси категорії Р₂ цієї ділянки не перевищуватимуть 959,2 тис. т руди і 2,59 тис. т міді.

Загальні перспективні ресурси категорії Р₂ Північноратнівської ділянки будуть сягати 14 761,32 тис. т руди і 48,94 тис. т міді. Враховуючи можливість знаходження

нових рудних тіл у проміжках між розбуреними ділянками, параметри яких відповідатимуть вже встановленим рудним тілам, можна передбачати прогнозні ресурси категорії Р₃ у кількості 48,94 тис. т міді. Отже, загальні ресурси Північноратнівської ділянки можуть бути оцінені в 97,88 тис. т міді. Цими ресурсами обмежується прогнозний потенціал ділянки.

Ратнівська ділянка розташована на північний схід від праву Заліси-Шменьки, є його безпосереднім продовженням, має аналогічну структуру і також зосереджена на південному облямуванні Гірницького горсту. У різні роки тут було пробурено 15 свердловин, у семи з яких встановлено проби із вмістом міді 0,2 % і більше (всього 15 проб), але кондиційні інтервали було виявлено тільки в двох свердловинах (табл. 4): № 4585 – горизонт 3Б із вмістом міді 0,220 % на товщину 1,1 м (165,5–166,6 м) і горизонт 2Б із вмістом міді 0,311 % на товщину 1,7 м (318,0–319,7 м); № 4583 – горизонт 2А із вмістом міді 0,371 % на товщину 1,2 м (160,6–161,8 м). Крім того, ще дві свердловини розкрили умовно кондиційні інтервали: М-11 – горизонт 3А₂ із вмістом міді 0,36 % на товщину 1,7 м (інтервал 303,4–305,1 м); 8265-Гз – горизонт 2А із вмістом міді 0,313 % на товщину 1,1 м (209,7–210,8 м).

Таким чином, як і на прояві Заліси-Шменьки (природним продовженням якого є Ратнівська ділянка), прояви мідної мінералізації не утворюють тут більш-менш суцільних рудних тіл, вони представлені невеликими лінзами, розосередженими по латералі і по розрізу і не

становлять практичного інтересу. Вочевидь, ці дві ділянки складають єдину геологічну структуру в південному облямуванні Гірницького горсту, тому тут слід очікувати і подібний тип і розмах мінералізації. На цій підставі прогнозна оцінка ділянки в 662,0 тис. т міді виглядає необґрунтованою. Перспективні ресурси категорії Р₂ тут сягають 28,36 тис. т міді, можна припустити наявність

прогнозних ресурсів категорії Р₃ в такому ж об'ємі, загальні ресурси міді на ділянці оцінюються в 56,72 тис. т міді. Тому, незважаючи на низький ступінь геологічної вивченості ділянки, рідкісну мережу свердловин і порівняно обмежений об'єм опробування, площа ділянки на мідне зруденіння оцінюється негативно.

Таблиця 4

Розрахунок перспективних ресурсів категорії Р₂ Ратнівської ділянки

№ св.	Інтервал, м	Товщина, м	Вміст міді, %	Площа, м²	Перспективні ресурси категорії Р ₂ , тис. т	
					руди	міді
3Б						
4585	165,5–166,6	1,1	0,220	670 000	2 048,86	4,51
3А						
М-11*	303,4–305,1**	1,7	0,36	270 000	1 285,20	4,63
2Б						
4585	318,0–319,7	1,7	0,311	670 000	3 018,35	9,39
2А						
4583	160,6–161,8	1,2	0,371	650 000	1 700,40	6,31
8265-Гз*	209,7–210,8**	1.1	0,313	470 000	1 127,06	3,53
Всього					9 179,87	28,36

Примітки. * свердловини попередників, ** умовно кондиційні інтервали.

Ділянка Текля розташована південніше від попередніх об'єктів у районі однойменного селища Волинської області, у межах Теклінського підняття на перетині Мінсько-Вижівської і Заболотівсько-Бузької зон розломів. У геологічній будові ділянки беруть участь породи канилівської, ратнівської, бабинської, заболотівської, горбашівської світ поліської серії та відклади юрської, крейдової та четвертинної систем. Відомі прояви мідної мінералізації пов'язані з рудними горизонтами 3А і 3Б, приуроченими до відкладів ратнівської світи.

Прояви міді на ділянці вперше було встановлено під час геологознімальних робіт м-бу 1 : 200 000 (Приходько та ін., 1988), коли у штуфних пробах було зафіксовано вміст міді до 0,27 %. Пізніше, під час проведення геологічної зйомки м-бу 1 : 50 000 (Косовський та ін., 1992) свердловиною № 5659 було зафіксовано два рудних інтервали в горизонті 3А із вмістом міді 0,27 % на товщину 3,0 м (інтервал 323,0–326,0 м) і 0,25 % на товщину 2,4 м (349,0–351,4 м). Під час пошукових робіт 1991–2008 рр. було пробурено п'ять свердловин загальною довжиною 1 985,0 м, з керну яких відібрано 242 проби, з яких тільки у 5 пробах (2,1 %) вміст міді перевищував 0,2 % (табл. 5). На жаль, жодного кондиційного рудного

інтервалу під час досліджень не було встановлено, хоча можна виділити два умовно кондиційних інтервали в межах горизонту 3Б у свердловинах № 4529 із вмістом міді 0,327 % на товщину 0,7 м (299,3–300,0 м) і № 4548 із вмістом міді 0,270 % на товщину 1,4 м (266,5–267,7 м). Перспективні ресурси категорії Р₂ виявлених рудних тіл сягають 137,19 тис. т міді (табл. 5). У такому ж об'ємі можна передбачати прогнозні ресурси категорії Р₃, загальний ресурсний потенціал ділянки оцінюється в 274,38 тис. т міді.

Отже, на сьогодні перспективи промислової мідноносності ділянки ґрунтуються лише на матеріалах свердловини № 5659, де вони розкриті на глибині 323,0–351,4 м. Ця свердловина розміщена на крайньому заході ділянки, де із заходу потенційно мідноносні горизонти ратнівської світи перекриті чохлом палеозойських відкладів, що суттєво збільшує глибину розташування потенційних рудних тіл (навіть якщо вони там є) і унеможливорює економічну доцільність їх розробки. У сусідніх свердловинах (№ 5568, 4540, 5519, 4511) кондиційних інтервалів не виявлено. Враховуючи ці факти, перспективи ділянки Текля на мідне зруденіння оцінюються негативно.

Таблиця 5

Розрахунок перспективних ресурси категорії Р₂ ділянки Текля

№ св.	Інтервал, м	Товщина, м	Вміст міді, %	Площа, м²	Перспективні ресурси категорії Р ₂ , тис. т	
					руди	міді
3Б						
4529	299,3–300,0**	0,7	0,327	1 400 000	2 724,40	8,91
4548	266,5–267,7**	1,4	0,270	150 000	5 838,00	15,76
3А						
5659*	323,0–326,0	3,0	0,27	2 850 000	23 940,00	64,64
5659*	349,0–351,4	2,4	0,25	2 850 000	19 152,00	47,88
Всього					51 654,40	137,19

Примітки: * свердловини попередників, ** умовно кондиційні інтервали.

Що стосується перспектив рудоносності Катушського, Бронницького і Оваднівського "рудноносних полів", то вони нічим не обґрунтовані і мають бути виключені з оцінки прогнозних ресурсів.

Кухотсько-Вольська металогенічна площа відповідає **Любешівському і Видертинському рудоносним полям**. Любешівське рудоносне поле площею 340 км² було вивчено за допомогою 21 свердловини загальною

довжиною 3679,0 м, з яких відібрано 761 пробу, але тільки в шести пробах (0,8 %) було встановлено вміст міді 0,2 % і більше. З усіх численних перерізів передбачуваних рудоносних горизонтів виявлено тільки один кондиційний інтервал горизонту 3А у свердловині № 4518 із вмістом міді 0,31 % на товщину 1,0 м (інтервал 68,0–69,0 м). Цих матеріалів достатньо для негативної оцінки "рудноносного" поля. Порівняння Любешівського

рудноносного поля з Південнорафалівським проявом, на чому базується його прогнозна оцінка попередників, виглядає некоректним. Що стосується Видертинського "рудноносного" поля, то будь які дані про його рудоносність відсутні. Тому прогнозні ресурси по об'єктах Кухотсько-Вольської металогенічної площі необґрунтовані і мають бути виключені з її прогнозової оцінки.

Маневицька металогенічна площа об'єднує Рафалівську ділянку (Південнорафалівський прояв, Комарівське, Чудлинське і Лишнівське рудоносні поля), ділянки Тельча і Велико-Мідська.

У межах **Рафалівської ділянки** найбільший інтерес становить **Південнорафалівський прояв** площею 31,4 км², розташований у Володимирецькому районі Рівненської області, в центральній частині Рафалівської ділянки, загальна площа якої сягає 206,3 км². У геологічній будові прояву беруть участь відклади бабинської і ратнівської світ волинської серії нижнього венду, чорторийської світи могиливі-подільської серії верхнього венду, частково перекриті відкладами верхньої крейди, палеогену і четвертинної системи. В будові ділянки беруть участь рудоносні горизонти 3A₁, 3A₂, 3A₃, 2B, V₂Cr₂, V₁br. За даними ГРП запаси категорії С₂ Південнорафалівського прояву сягають 161,17 тис. т міді, перспективні ресурси категорії Р₁ – 512,79 тис. т міді (Пошуки родовищ міді..., 2008). Розглянемо, наскільки обґрунтовані ці підрахунки.

Під час ГРП 1991–2008 рр. у межах Південнорафалівського прояву було пробурено 286 свердловин загальною довжиною 23 012 м. Крім того, вивчалися і опробувалися ряд кар'єрів у межах прояву.

Всього у межах Рафалівської ділянки було пробурено 436 свердловин загальною довжиною 42 121,2 м), звідки відібрано 10 842 проби, але тільки в 70 пробах (0,6 %) було встановлено вміст міді 0,2 % і більше. Додатково 561 пробу відібрано з кар'єрів Рафалівської площі, вміст міді 0,2 % і більше було виявлено тільки у 21 пробі (3,7 %). Проблема полягає в тому, що значущі вмісти міді лише спорадично зустрічаються в різних свердловинах, розпорошених по площі, які не утворюють суцільних ареалів, і зазвичай оточені "безрудними" свердловинами. Звідки ж взяли ці запаси і ресурси, до речі, затверджені ДКЗ?

Справа в тім, що підрахунок ресурсної бази прояву здійснювався виключно на основі даних нейтронно-активаційного каротажу (НАК), які здебільшого не збігаються з результатами опробування. Приклади порівняння реальних результатів аналізу проб і гіпотетичних розрахунків авторів звіту (Пошуки родовищ міді..., 2008) наведено в табл. 6. На основі недостовірних даних автори звіту побудували діаграму розподілу середньозважених вмістів міді за результатами різних методів і запропонували формулу перерахунків вмістів міді, визначених хімічним аналізом, у гіпотетичні вмісти, якими автори і користувалися для виділення рудних тіл і підрахунку їх запасів. Ця формула має вигляд

$$y = 2,1623x + 0,1465,$$

де x – вміст міді за даними хімічного аналізу, y – гіпотетичний перерахований вміст міді з урахуванням аномалій НАК. Неважко помітити, що, користуючись цією формулою, будь-які дані, отримані аналітичним шляхом, навіть кларкові значення, легко можна перетворити на кондиційні вмісти міді, що у переважній більшості випадків і зробили автори звіту. Отже, автори звіту відкинули величезний об'єм аналітичних даних, який перевищує 10 тис. хімічних аналізів на мідь, і підмінили ці дані гіпотетичними розрахунками, з чим аж ніяк не можна погодитися. Безсумнівно, матеріали геофізичних

досліджень, зокрема НАК, треба використовувати для оцінки рудних об'єктів, але підміняти ними дані аналітичних досліджень є неприпустимим. Тому оцінка ресурсної бази Південнорафалівського прояву під час ГРП 1991–2008 рр. є абсолютно недостовірною.

Для достовірної оцінки ресурсної бази Рафалівської ділянки ми проаналізували всі результати аналізів і виділили справжні рудні інтервали, за якими здійснений перерахунок ресурсів ділянки (табл. 7). Як встановлено в результаті аналізу матеріалів ГРП, рудні тіла представлені невеликими лінзами і скупченнями міді в різних частинах площі і на різних рівнях стратиграфічного розрізу. Не встановлено жодного куща свердловин, які б розкривали більш-менш протяжні рудні тіла: всі свердловини зі значущими показниками (вміст міді 0,2 % і більше, товщина рудного тіла 1,0 м і більше) оточені "безрудними" свердловинами (рис. 3). За нашими підрахунками перспективні ресурси категорії Р₁ Південнорафалівського прояву можна оцінити в 30,2 тис. т міді. Враховуючи значний ступінь геологічної вивченості ділянки, підстави для виділення і перспективних ресурсів категорії Р₂, прогнозних ресурсів категорії Р₃ відсутні. Зрозуміло, що такі невеликі і розпорошені по значній площі рудні тіла не становлять промислового інтересу.

Комарівське рудоносне поле включає площу одного поля поза межами Південнорафалівського прояву. Як видно з табл. 7, у чотирьох свердловинах було розкрито шість рудних інтервалів, перспективні ресурси яких категорії Р₁ оцінюються в 23,74 тис. т міді. На жаль, цим і обмежується рудний потенціал рудоносного поля.

Чудлинське рудоносне поле площею 368,2 км² охоплює площу поширення відкладів бродівської світи у Володимирецькому районі Рівненської області і Маневицькому районі Волинської області. На цій території було пробурено 42 свердловини, з яких відібрано 182 проби, але тільки в двох пробах (1,1 %) зафіксовано вміст міді 0,2 % і більше і виділено єдиний кондиційний інтервал у свердловині № 4373 із вмістом міді 0,282 % на товщину 1,4 м (інтервал 81,4–82,8 м). Що стосується ратнівської світи, то з 325 проб, відібраних з її розрізів, у жодній не було зафіксовано вмісту міді 0,2 % і більше. Це надає підстави для негативної оцінки "рудноносного" поля щодо промислової мінералізації.

Лишнівське рудоносне поле площею 208 км² розташоване в межах колишнього Любешівського району Волинської області, де під час проведення геологознімальних робіт м-бу 1 : 50 000 (1981 р.) було виявлено ряд геохімічних аномалій міді, а в одній із трьох пробурених свердловин виявлено інтервал завтовшки 1,0 м із вмістом міді 0,14 %. Під час пошуково-оцінювальних робіт 1991–2008 рр. тут було пробурено сім свердловин у північно-західній частині рудоносного поля, з яких відібрано 246 проб, але в жодній пробі вміст міді не досягав 0,2 %, відповідно, кондиційних інтервалів виявлено не було. Це є підставою для негативної оцінки "рудноносного" поля щодо мінералізації.

Ділянка Тельча площею 72 км² розташована в межах Маневицького району Волинської області поблизу південно-західної межі Рафалівської ділянки, де під час проведення геологознімальних робіт м-бу 1 : 50 000 (1988 р.) було виявлено численні аномалії ВП, які можуть бути пов'язані з проявами мідної мінералізації. Під час пошуково-оцінювальних робіт 1991–2008 рр. тут було пробурено шість свердловин загальною довжиною 2 467 м, з яких відібрано 502 проби, з них лише у шести пробах (1,2 %) було зафіксовано вміст міді 0,2 % і більше. Тільки в одній свердловині № 4592 було виявлено інтервали, які наближуються

до умовно кондиційних (включають "зовнішні" інтервали із вмістом міді менш як 0,2 %): 3A₂ із вмістом міді 0,195 % на товщину 1,0 м (інтервал 321,5–322,5 м); 3A₁ із вмістом міді 0,178 % на товщину 1,6 м (363,9–365,5 м); 2B з вмістом міді

0,160 % на товщину 1,2 м (368,8–370,0 м). Ці результати свідчать про безперспективність ділянки щодо промислової міднорудної мінералізації.

Таблиця 6

Порівняння "рудних" інтервалів на розрізах і за результатами аналізу проб Південнорафалівського прояву міді по свердловинах № 4337, 4400 за результатами ГРП 1991–2008 рр. (Пошуки родовищ ..., 2008)

№ св.	"Рудні" інтервали на розрізах на основі НАК			Реальні результати аналізу проб		
	Інтервал, м	Товщина, м	Вміст міді, %	Інтервал, м	Товщина, м	Вміст міді, %
4337	50,8–55,3	4,5	0,214	50,5–51,0	0,5	0,012
				53,5–54,0	0,5	0,007
				54,0–54,2	0,2	0,042
				54,2–55,0	0,8	0,014
				55,0–55,3	0,3	0,030
	65,2–66,3	1,1	0,287	64,8–65,4	0,6	0,005
				65,4–66,0	0,6	0,006
				66,0–67,0	1,0	0,004
	78,7–82,0	3,3	0,216	81,0–82,0	1,0	0,009
	87,9–90,0	1,1	0,211	88,0–89,0	1,0	0,013
				89,0–90,0	1,0	0,012
	112,25–115,25	3,0	0,207	115,0–115,9	0,9	0,015
4400	116,75–117,75	1,0	0,250	115,9–117,0	1,1	0,031
				117,0–117,5	0,5	0,021
	124,25–126,75	2,5	0,240	117,5–118,1	0,6	0,025
				124,7–125,1	0,4	0,012
				125,1–125,5	0,4	0,021
				125,5–126,0	0,5	0,012
	43,0–44,3	1,3	0,235	43,0–43,5	0,5	0,034
				43,5–44,3	0,8	0,045
	46,3–48,5	2,2	0,311	46,3–47,3	1,0	0,047
				47,3–48,5	1,2	0,100
	50,0–51,5	1,5	0,253	50,0–50,7	0,7	0,054
				50,7–51,5	0,8	0,047
	78,4–79,5	1,1	0,200	78,4–78,9	0,5	0,028
				78,9–79,5	0,6	0,022
	92,3–95,8	3,5	0,218	92,3–92,9	0,6	0,027
				92,9–93,5	0,6	0,040
				93,5–94,0	0,5	0,033
				94,0–94,6	0,6	0,018
				94,6–95,2	0,6	0,046
				95,2–95,8	0,6	0,035
	98,4–101,3	2,9	0,239	98,4–98,7	0,3	0,015
				98,7–99,0	0,3	0,038
				99,0–99,8	0,8	0,057
				99,8–100,3	0,5	0,036
				100,3–100,8	0,5	0,030
				100,8–101,3	0,5	0,043

Таблиця 7

Розрахунок перспективних ресурсів категорії Р₁ Рафалівської ділянки

№ св.	Інтервал, м	Товщина, м	Вміст міді, %	Площа, м²	Перспективні ресурси категорії Р ₁ , тис. т	
					руди	міді
Південнорафалівський прояв						
3A ₃						
4458	56,4–58,0	1,6	0,217	55 000	246,40	0,53
3A ₂						
5910	46,8–49,4	2,6	0,228	40 000	291,20	0,66
5922	31,5–35,5	4,0	0,232	28 000	313,60	0,73
4439	79,0–81,0	2,0	0,216	720 000	4032,00	8,71
4454	35,8–39,0	3,2	0,226	60 000	537,60	1,21
4573	48,6–56,0	7,4	0,245	120 000	2486,40	6,09
3A ₁						
5907	31,9–32,9	1,0	0,258	43 000	120,40	0,31
5995	63,0–64,0	1,0	0,290	75 000	210,00	0,61
5995	71,2–74,0	2,8	0,568	75 000	588,00	3,34
4188	76,2–78,0	1,8	0,320	50 000	252,00	0,81
4439	117,0–118,2	1,2	0,280	720 000	2419,20	6,77
2B						
4474	79,8–80,8	1,0	0,242	45 000	99,00	0,24
Всього					11 595,80	30,02

Закінчення табл. 7

№ св.	Інтервал, м	Товщина, м	Вміст міді, %	Площа, м ²	Перспективні ресурси категорії Р ₁ , тис. т	
					руди	міді
Комарівське рудоносне поле						
3А ₃						
4425	43,7–45,0	1,3	1,005	330 000	1 201,20	12,07
3А ₂						
4372	210,0–211,0	1,0	0,227	28 000	78,40	0,18
V ₂ cr ₂						
4372	45,0–49,5	4,5	0,396	28 000	327,60	1,30
4372	68,8–70,0	1,2	0,643	28 000	87,36	0,56
4417	114,0–115,9	1,9	0,446	240 000	1 185,60	5,29
V ₁ br						
4373	81,4–82,8	1,4	0,282	440 000	1 540,00	4,34
Всього					4 420,16	23,74

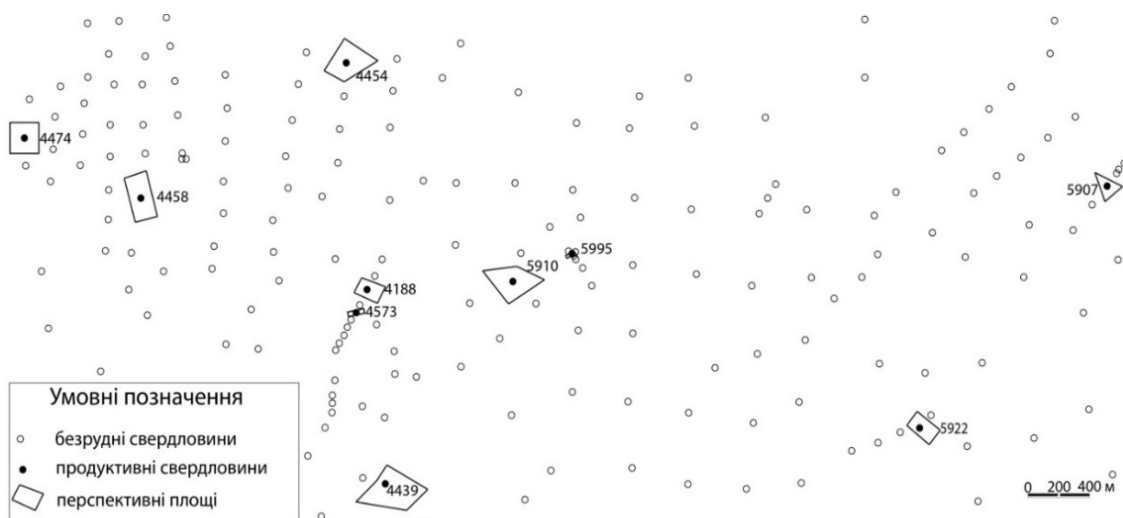


Рис. 3. Схема розміщення продуктивних свердловин Рафалівської ділянки

Ділянка Велико-Мідська площею 153 км² розташована в межах Костопільського району Рівненської області в 10–15 км на південний схід від Південнорафалівського прояву. На ділянці під час пошуково-оцінювальних робіт 1991–2008 рр. було пробурено 38 свердловин загальною довжиною 2 304,9 м, звідки було відібрано 373 проби, але тільки у двох з них встановлено вміст міді 0,2 % і більше (0,5 %), виявлено єдиний кондиційний інтервал у свердловині № 5863 на глибині 36,8–38,6 м, де вміст міді сягає 0,296 % на товщину 1,8 м. Цих матеріалів достатньо для негативної оцінки ділянки.

Для оцінки прогнозних ресурсів категорії Р₃ так званих рудоносних полів (Любешівське, Видертинське, Комарівське, Лишнівське) і ділянок (Тельча) Кухотсько-Вольської і Маневицької металогенічних площ під час пошуково-оцінювальних робіт 1991–2008 рр. було застосовано метод аналогій, де за еталон прийнято Південнорафалівський рудопояс із введенням знижувального коефіцієнта подібності, який становив для "рудоносних полів" і ділянок: Любешівське – 0,76, Видертинське – 0,78, Комарівське – 0,6, Лишнівське – 0,72, Тельча – 0,84. В результаті було нараховано значні прогнозні ресурси категорії Р₃ (табл. 8). Але, по-перше, вони не підтверджуються наявним фактичним матеріалом, а по друге, як було показано вище, прогнозні ресурси і запаси самого Південнорафалівського прояву також нічим не обґрунтовані. Тому прогнозні ресурси цих ділянок підлягають виключенню з оцінки прогнозних ресурсів Волинського рудного району.

На основі аналізу гігантського фактичного матеріалу, зібраного під час проведення ГРП на території Волинського

рудного району, було здійснено перерахунок його ресурсів (табл. 8). В результаті відбулося значне (на порядок) зменшення ресурсного потенціалу району. З усіх численних об'єктів рудного району певний інтерес можуть становити лише деякі прояви Волинської металогенічної площі (Жиричі, Заліси-Шменьки та ін.), де, на відміну від інших об'єктів, встановлено більш-менш протяжні рудні тіла. Але вони мають невеликі масштаби, контури окремих рудних горизонтів часто не збігаються, вони розміщені на значній глибині (164,0–537,2 м), що унеможливує відкритий спосіб видобутку. Як показано раніше (Михайлов та ін., 2022), освоєння цього об'єкта може супроводжуватись значними інвестиційними ризиками.

Дискусія і висновки

В основу даного дослідження покладено критичний аналіз результатів геологорозвідувальних робіт, проведених на території Волинського міднорудного району. Досліджено особливості геологічної будови проявів району, просторового поширення, форми і розмірів рудних тіл. Переглянуто результати хімічних досліджень за всіма свердловинами, що були пробурені під час пошукових і пошуково-оцінювальних роботах. Проведено переоцінку ресурсів у межах ділянок, де було виокремлено перспективні площі, що підтверджені наявністю продуктивних інтервалів з кондиційними показниками в розрізі певних свердловин.

Для Волинського міднорудного району було перераховано перспективні і прогнозні ресурси. В результаті перерахунку ресурсний потенціал району зменшився більше ніж на порядок. Зокрема, Кухотсько-Вольська металогенічна площа, за нашими оцінками, не перспективна на

відкриття промислових запасів міді. Незначні перспективи і у Маневицької металогенічної площі. Найбільшим ресурсним потенціалом характеризується Волинська металогенічна площа. Тут найбільші перспективи для освоєння може мати лише родовище Жиричі, але в разі інвестування в цей об'єкт варто враховувати ризики та переглядати параметри його оцінки.

Отже, самородномідне зруденіння Волинського міднорудного району має незначну інвестиційну

привабливість і подальше освоєння його потенціалу потенційними інвесторами пов'язане зі значними ризиками. Певний інтерес становить група проявів західного облямування Гірницького горсту (Жиричі, Заліси-Шменьки), але незначні параметри рудних тіл, їх розпорошеність по площі і по розрізу, невеликий вміст міді, необхідність підземного способу видобутку ставлять під сумнів економічну доцільність їхньої розробки.

Таблиця 8

Ресурси міді рудопоявів Волинського рудного району (тис. т міді)

Прояв (рудоносне поле, ділянка)	За матеріалами ГРП 1991–2008 рр.				Перерахунок		
	C ₂	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
Волинська металогенічна площа							
Прояв Жиричі	-	858,93	133,39	-	220,4	220,4	-
Прояв Заліси-Шменьки	-	-	659,8	-	-	82,19	82,19
Північноратнівська ділянка	-	-	1 315,9	-	-	48,94	48,94
Ратнівська ділянка	-	-	-	662,0	-	28,36	28,36
Ділянка Текля	-	-	-	465,2	-	137,19	137,19
Катушське рудоносне поле	-	-	-	899,8	-	-	-
Бронницьке рудоносне поле	-	-	-	639,6	-	-	-
Оваднівське рудоносне поле	-	-	-	251,1	-	-	-
Всього по площі	-	858,93	2 109,09	2 917,7	220,4	517,08	296,68
Кухотсько-Вольська металогенічна площа							
Любешівське рудоносне поле	-	-	-	2 799,4	-	-	-
Видертинське рудоносне поле	-	-	-	1 598,6	-	-	-
Всього по площі	-	-	-	4 398,0	-	-	-
Маневицька металогенічна площа							
Південнорафалівський прояв	161,17	512,79	-	-	30,02	-	-
Комарівське рудоносне поле	-	-	-	2 202,0	23,74	-	-
Чудлинське рудоносне поле	-	-	-	МП 460,0	-	-	-
Лишнівське рудоносне поле	-	-	-	962,4	-	-	-
Ділянка Тельча	-	-	-	1 713,8	-	-	-
Ділянка Велико-Міська	-	-	-	28,95	-	-	-
Всього по площі	161,17	512,79	-	4 878,2	53,76	-	-
Всього по району	161,17	1 371,72	2 109,09	12 193,9	274,16	517,08	296,68
		15 835,88				1 087,92	

Внесок авторів: Володимир Михайлов – концептуалізація, методологія, написання; Олена Андреева – формальний аналіз, валідація даних, написання; Віталій Сидорчук – написання.

Список використаних джерел

- Бацевич, Н. В., Наушко, І. М., & Білик, Л. К. (2016). Петрохімічні особливості вулканітів трапової формації зони зчленування Волинського палеозойського відняття і Волино-Подільської монокліналі. *Геодинаміка*, 1(20), 75–94.
- ВолиньUA (2021, Лютий 25) Ціна ділянки надр зросла в 483 рази! <https://volynua.com/posts/na-elektponnih-topgah-tsina-dilyanki-midnih-rud-na-volini-zrosla-v-483-razi>
- Смець, О. В. (2008). *Геохімія та мінералогія мідного і золото-поліметалічного зруденіння в геологічних структурах Передсудеття та обрамлення Українського щита* [Дис. д-ра наук. Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАНУ].
- Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року. (н.д.). http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JF5OG00V.html
- Квасниця, І. В., Павлішин, В. І., & Косовський, О. Я. (2009). *Самородна мідь Волині: геологічна позиція, мінералогія і кристалогенезис*. Логос.
- Мельничук, В. Г. (2010). *Геологія та міденосність нижньовендських трапових комплексів південно-західної частини Східноєвропейської платформи* [Автореф. дис. д-ра геол. наук. Київ, ІГН НАНУ].
- Мельничук, В. Г., Поліщук, А. М., & Мельничук, Г. В. (2011). Мінералогічні особливості та зруденіння нижньовендських трапових комплексів південно-західної частини Східноєвропейської платформи. *Мінерал. журн.*, 33, 4, 91–100.
- Металічні та неметалічні корисні копалини України. (2006). Том 1. Металічні корисні копалини. Гурський Д. С., Есипчук К. Ю., Калінін В. І. (Ред.). Центр Європи.
- Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Медные руды. (2007). ГКЗ.
- Михайлов, В. А., Андреева, О. О., & Андреев, Д. І. (2020). Перспективи промислової рудності Південно-Рафалівського прояву міді. *Матеріали конференції: Від мінералогії і геогеології до геохімії, петрології та*

геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття, 23–25 вересня 2020 р., Київ.

Михайлов, В., Курило, М., Шнюков, С., & Андреева, О. (2022). Перспективи промислової рудності прояву міді Жиричі. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(97), 66–73. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.97.09>

Михайлов, В. А., Шевченко, В. І., & Огар, В. В. та ін. (2007). *Металічні корисні копалини України*. ВПЦ "Київський університет".

Мінеральні ресурси України. (2018). Геоінформ України. http://geoinf.kiev.ua/M_R_2018_1.pdf

Наушко, І., Павлюк, М., Нестерович, Н., Федоршин, Ю., & Тріска, Н. (2013). Еволюційний характер процесів флюїдопереносу і локалізації міді в основних вулканітах трапової формації Західної Волині (на прикладі Лучицької товщі). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2 (162–163), 42–58.

Пошуки родовищ міді в межах рудопоявів Волинського рудного району і пошуково-оцінювальні роботи на Рафалівській площі. (2008). *Звіт про НДР*. ПДРГП "Північгеологія". Кн. 1–5, 15.

Приходько, В. Л. (2005). *Перебудова структурного плану та етапи трапового вулканізму Волино-Поділля в пізньому протерозої* [Автореф. дис. канд. геол. наук. Київ, ІГН НАНУ].

Приходько, В. Л., Мельничук, В. Г., & Матеюк, В. В. та ін. (2010). Перспективність нижньовендської трапової формації Волинського рудного району на промислові концентрації самородної міді. *Мін. ресурси України*, 1, 4–11.

Bornhorst, T. J., & Barron, R. J. (2011). Copper deposits of the western Upper Peninsula of Michigan. *Geological Society of America Field Guide*, 24, 83–99. <https://pages.mtu.edu/~raman/papers2/BornhorstBarronFT.pdf>

Copper. Minerals Yearbook. (2015). U.S. Geological Survey. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wrvt/assets/palladium/production/mineral-pubs/copper/myb1-2015-coppe.pdf>

Emetz, A. V., Zagnitko, V. M., & Prykhod'ko, V. L. (2005). Mineral compositions and genesis of the ore bodies of the Zhyrychi Cu deposit (North-Western Ukraine). *Mineralogical Journal*, 27, 1(143), 77–91. http://mineraljournal.org.ua/sites/default/files/sites/default/files/1_2005%20108%20s.pdf

Laurel, G., Klaus, J., Suzanne, W., & Connie, L. (2020). Mineral deposits of the Mesoproterozoic Midcontinent Rift system in the Lake Superior region – A space and time classification. *Ore Geology Reviews*, 126. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136820301761?dgcid=rss_sd_all

Sazonets, I., & Malanchuk, L. (2015). A substantiation of economic feasibility of the development of copper deposits in Rivne-Volyn Regions. *International Journal of New Economics and Social Sciences*, 2, 116–120.

The World Copper Factbook. (2019). International Copper Study Group. <https://www.icsg.org/index.php/component/jdownloads/finish/170/2965>

References

Batsevyich, N. V., Naumko, I. M., & Bilyk, L. K. (2016). Petrochemical features of the volcanic trap formation of areas of junction of the Volyn Paleozoic uplift with the Volyn-Podillya monocline. *Geodynamics*, 1 (20), 75–94 [in Ukrainian].

Bornhorst, T. J., & Barron, R. J. (2011). Copper deposits of the western Upper Peninsula of Michigan. *Geological Society of America Field Guide*, 24, 83–99. <https://pages.mtu.edu/~raman/papers2/BornhorstBarronFT.pdf>

Copper. Minerals Yearbook. (2015). U.S. Geological Survey. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/copper/myb1-2015-coppe.pdf>

Emetz, O. V. (2008). *Geochemistry and mineralogy of copper and gold-polymetallic mineralization in the geological structures of the Fore-Sudetic area and the framing of the Ukrainian Shield* [Thesis Dr. Sci. M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation NASU] [in Ukrainian].

Emetz, A. V., Zagnitko, V. M., & Prykhodko, V. L. (2005). Mineral compositions and genesis of the ore bodies of the Zhyrychi Cu deposit (North-Western Ukraine). *Mineralogical Journal (Ukrainian)*, 27, 1 (143), 77–91. http://mineraljournal.org.ua/sites/default/files/sites/default/files/1_2005%20108%20s.pdf

Kvasnytsia, I. V., Pavlyshyn, V. I., & Kosovsky, Ya. O. (2009). *Native copper of Ukraine: geological position, mineralogy and crystallogeneses*. Logos [in Ukrainian]

Laurel, G., Klaus, J., Suzanne, W., & Connie, L. (2020). Mineral deposits of the Mesoproterozoic Midcontinent Rift system in the Lake Superior region – A space and time classification. *Ore Geology Reviews*, 126. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136820301761?dgcid=rss_sd_all

Melnichuk, V. G. (2010). *Geology and copper occurrence of the Lower Vendian trappean complexes of the southwestern part of the East European Platform* [Extended abstract of Doctor's thesis. Kyiv, IGS NASU] [in Ukrainian].

Melnichuk, V. G., Polishchuk, A. M., & Melnychuk, G. V. (2011). Mineralogical features and mineralization of the Lower Vendian trappean complexes of the southwestern part of the East European Platform. *Mineralogical Journal*, 33 (4), 91–100 [in Ukrainian].

Metallic and nonmetallic minerals of Ukraine. (2006). Vol. 1. Metallic minerals. Center of Europe [in Ukrainian].

Volodymyr MYKHAILOV, DSc (Geol.), Prof.

ORCID ID: 0000-0002-1837-9739

e-mail: vladvam@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Olena ANDREEVA, PhD (Geol.)

ORCID ID: 0000-0001-6849-5749

e-mail: andreeva_ea@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Vitalii SYDORCHUK, PhD (Geol.)

ORCID ID: 0000-0003-2787-6195

e-mail: sydvit@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF NATIVE COPPER FORMATION OF THE VOLYN ORE REGION

Background. Copper is one of the critical metals for the industry of Ukraine. More than 150 copper ore occurrences of various genetic types on the territory of Ukraine are known. One of the most interesting is the occurrences of native copper formation in the Riphean trappean formations of the Volyn copper ore district. To determine the degree of investment attractiveness of copper ore occurrences, an objective assessment of the resource base of the copper ore district is necessary.

Methods. The analysis of the results of prospecting and economic assessment within the ore occurrences of the Volyn copper ore region were conducted: data on wells were reviewed, promising intervals were selected, areas were specified and copper ore resources were recalculated.

Results. A recalculation of the resource potential of the Volyn copper ore region for three metallogenic areas: Volynsk, Kuhotsk-Volsk and Manevitsk was carried out. It was shown that their previous economic assessment during the exploration and assessment studies was overestimated by an order of magnitude.

Conclusions. It has been established that native copper mineralization of the Volyn copper ore region has not significant investment attractiveness and further development of its potential by future investors is associated with significant risks. The group of occurrences of the western border of the Hirnytsk horst (Zhyrychi, Zalsy-Shmenky) is of some interest, but the insignificant parameters of the ore bodies, their wide scattering over the area and across the section, the low copper content and the need for an underground method of mining call into question the economic feasibility of their development.

Keywords: copper, native copper mineralization, Volyn copper ore region, trappean formation, ore occurrences, resources.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

Methodological recommendations for the application of the Classification of deposit reserves and predicted resources of solid minerals. Copper ores. (2007). GKZ [in Russian].

Mineral resources of Ukraine. (2018). Geoinform of Ukraine. http://geoinf.kiev.ua/M_R_2018_1.pdf [in Ukrainian].

Mykhailov, V. A., Shevchenko, V. I., & Ogar, V. V. et al. (2007). *Metallic Minerals of Ukraine*. PPC "Kyiv University" [in Ukrainian].

Mykhailov, V. A., Andreeva, O. O., & Andreev, D. I. (2020). Prospects of industrial ore content of South Rafalivka copper occurrence. *Materials of Scientific Conference: From mineralogy and geognosis to geochemistry, petrology and geophysics: fundamental and applied trends of the XXI century*, September 23–25, 2020, Kyiv [in Ukrainian].

Mykhailov, V., Kurylo, M., Shnyukov, S., & Andreeva, O. (2022). Prospects of industrial ore-bearing of Zhyrychi copper ore occurrence. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(97), 66–73. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.17721/1728-2713.97.09>

National program for the development of the mineral resource base of Ukraine for the period until 2030. (n.d.). http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JF5OG00V.html [in Ukrainian]

Naumko, I., Pavlyuk, M., Nesterovych, N., Fedoryshyn, Yu., & Triska, N. (2013). The evolution nature of the processes of fluid transfer and localization of copper in the basic volcanites of trappean formation of the Western Volyn (on the example of the Luchychi stratum). *Geology and geochemistry of combustible minerals*, 1–2 (162–163), 42–59 [in Ukrainian].

Prykhodko, V. L. (2005). *Plan restructuring and stages of trappean volcanism of Volyn-Podillya in the Late Proterozoic*. [Extended abstract of Candidate's thesis. Kyiv, IGS NASU] [in Ukrainian].

Prykhodko, V. L., Melnychuk, V. G., & Mateyuk, V. V. et al. (2010). Prospects of the Lower Vendian trappean formation of Volyn ore district for industrial concentration of native copper. *Mineral Resources of Ukraine*, 1, 4–11 [in Ukrainian].

Searches for copper deposits within the ore occurrences of the Volyn ore district and prospecting and economic assessment on Rafalivka area. (2008). *Report of NSRGE "Pivnichgeologiya"*. Books 1–5, 15 [in Ukrainian].

Sazonets, I., & Malanchuk, L. (2015). A substantiation of economic feasibility of the development of copper deposits in Rivne-Volyn Regions. *International Journal of New Economics and Social Sciences*, 2, 116–120.

The World Copper Factbook. (2019). International Copper Study Group. <https://www.icsg.org/index.php/component/jdownloads/finish/170/2965>

VolynUA (2021, February 25). The price of a subsoil plot increased by 483 times! <https://volynua.com/posts/na-elektponnih-topgah-tsina-dilyanki-midnih-rud-na-volini-zrosla-v-483-razi> [in Ukrainian].

Отримано редакцію журналу / Received: 02.11.23

Прорецензовано / Revised: 29.02.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

УДК 681.121

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.10>

Богдан ДАНИЛИШИН¹, акад. НАН України, д-р екон. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-4058-1191
e-mail: kaf_re@ukr.net

Адам БОДЮК², канд. екон. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-6200-1784
e-mail: g2030@ukr.net

Лариса ГРОМОЗДОВА¹, канд. екон. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-4077-9229
e-mail: gromozdovag@gmail.com

Юрій МАХОРТОВ³, д-р екон. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-5120-296X
e-mail: y_mahortov@ukr.net

Сергій ЛЕОНТОВИЧ⁴, канд. екон. наук, провід. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-0393-1869
e-mail: gymr2020@i.ua

Яна ДЕРБЕНЬОВА⁵, канд. екон. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-1369-9888
e-mail: yanaderbenova@ukr.net

Андрій РВАЧ¹, асп.
ORCID ID: 0000-0002-7617-5734
e-mail: Rvach2012@gmail.com

¹Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Київ, Україна

²Науково-дослідний заклад "Ресурси", Київ, Україна

³ДВНЗ Луганський національний університет імені Т. Шевченка, Полтава, Україна

⁴Центр воєнно-стратегічних досліджень, Національний університет оборони України, Київ, Україна

⁵Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ОЦІНКА ВАРТОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЯК АСПЕКТ ПАРАМЕТРИЧНОГО ВИМІРУ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ІНДУСТРІАЛЬНОЮ ВІДБУДОВОЮ УКРАЇНИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Присвячено висвітленню ряду пропозицій і методичних розробок, що є частиною практичної реалізації запропонованого Кабміном України та Національною радою параметричного виміру відновлення економіки після воєнних дій, що передбачає напрацювання параметрів "відбудови та трансформації кожного сектору". Сфокусовано увагу на необхідності вдосконалення існуючої методики оцінки вартості мінеральних ресурсів, зокрема запропоновано систему публічного управління використання параметричного ціноутворення мінеральних ресурсів на теоретичній основі товарознавства та маркетингу. Наголошено на важливості теоретичних досліджень у сфері надрокористування в частині вартісної оцінки мінеральних ресурсів у процесі їх переміщення по усіх стадіях технологічного циклу: від первинного видобутку до кінцевого продукту, що підлягає реалізації. Доведено, що дослідження характеристик корисних копалин слід проводити в комплексі: геологічні, ціноутвірні та товарознавчо-ринкові, тоді ці дослідження матимуть не абстрактну цінність, а практичну економічну значущість, у тому числі для обчислень маркетингових економічних і фінансових показників родовищ, що будуть експлуатуватися, їх майбутньої економічної ефективності. Вказано на необхідність вдосконалення теорії публічного управління в частині використання параметричного виміру відбудови індустрії України, насамперед – параметричних методів ціноутворення. Ці методи відповідають виклику часу та концепції параметричного публічного управління відбудовою індустрії України на науковій смарт-основі. Цей процес автори назвали "смарт-неоіндустріалізацією". Уточнено поняття геологічного товару, його споживних властивостей, споживної вартості і вартості, із врахуванням специфіки товарного виробництва добувної промисловості. Надано уточнення ряду товарознавчих визначень понятійного апарату з теорії досліджень мінеральних корисних копалин у процесі їх переміщення по усіх фазах суспільного виробництва. Наголошено, що корисні копалини можна умовно розглядати як майбутні товари, рух їх трансформації від природного стану до стану готового продукту вивчають фахівці з економічної геології, товарознавства, маркетингу, публічного управління. Наукова новизна статті полягає в запропонованому математичному формалізованому описі розрахунку ціни для параметричного ряду геологічних суб'єктів, що різняться здатністю задовольнити потреби споживача у зв'язку з тим, що не є ідентичними за фізико-хімічним складом.

Ключові слова: публічне управління, смарт-неоіндустріалізація, мінеральні ресурси, економічна геологія, геологічний продукт, параметричний метод ціноутворення.

Вступ

Постановка проблеми. Публічне управління стає домінантною формою управління системою державних інституцій. Не винятком є й наукові установи, де нині формується методологічний базис індустріальної відбудови економіки України в післявоєнний час. Форматом запропонованого в 2021 р. Кабміном України параметричного виміру відновлення економіки після війни

передбачається, що Національна рада з метою забезпечення післявоєнного відновлення "напрацьовує параметри відбудови та трансформації кожного сектору економіки" (Національна економічна..., 2021; Мельничук, 2022). А провідні науковці України стверджують, що починати слід з індустріального сектору, відновлення потребує смарт-неоіндустріалізації економіки країни

© Данилишин Богдан, Бодюк Адам, Громоздова Лариса, Махортів Юрій, Леонтович Сергій, Дербеньова Яна, Рвач Андрій, 2024

(Hromozdova, Dubrovsk-Rokhova, & Pravorskyi, 2021; Данилишин, 2022a, 2022b; Оболенський та ін., 2023).

Тому актуальними є подальші наукові дослідження у сфері публічного управління індустріальною відбудовою України та розробка рекомендації щодо розвитку та ефективного використання мінерально-сировинного комплексу країни, а також розв'язання проблем його міжнародної економічної значущості. Це потрібно для зростання політичного авторитету України, для розвитку галузевої підприємницької діяльності, а також для зростання надходжень фіскальних зобов'язань надрокористувачів до бюджету.

Що стосується публічного управління системою надкористування, то держава контролює видобуток залізних руд, природного газу, нафти, урану, що вважаються стратегічними національними ресурсами. Дослідження стратегічного ресурсного потенціалу є завданням економічної геології. Саме економічна геологія забезпечує систему параметричного публічного управління інформацією щодо оцінки вартості мінеральних ресурсів, їх кількісних цінотвірних параметрів.

Для розробки ефективної дорожньої карти взаємодії державних управлінь і геологів значущим є дефініційний аспект. Так, дуже важливим для досягнення маркетингової прозорості і публічності формування ціни на мінеральні ресурси є чітке смислове визначення геологічної речовини в різних формах її використання: або це сировина, або напівфабрикат, або кінцевий товар, що містить у собі велику додану вартість. Особливо цьому приділяється увага при виході на зовнішній ринок, адже експортувати доцільно товар, що має високу додану вартість, тоді віддача від використання надроресурсу є найефективнішою. Ретроспективний аналіз показує, що продаж на експорт сировини збагачує інші країни. Вже з цього контексту стає зрозумілим доцільність уточнення понятійного апарату, яким оперує теорія публічного управління в частині вартісної оцінки мінеральних ресурсів у процесі їх переміщення по всіх стадіях технологічного циклу.

На дефініційному рівні економічної геології потребують уточнення опубліковані в класичних посібниках поняття споживної вартості. Серед існуючих визначень найважливішим з погляду параметричного виміру слід вважати таке: споживча вартість – "...це здатність товару задовольняти певну потребу людини. Споживча вартість прямо залежить від споживчих властивостей, тобто визначається корисністю товару" (Семенчук, 2010).

Вартість вимірюється грошовим еквівалентом або споживчою оцінкою корисності. В економічній геології термін "вартість" може означати цінність, ціну, величину затрат на щось, виражену у грошових одиницях (Добічинський, 2006; Іванишин, 2016). Найважливішою категорією економічної геології в умовах ринкової економіки є поняття "собівартість", що закладається в основу розрахунку цін.

Корисні копалини як природні речовини залежно від фази суспільного виробництва можуть належати і до товару, і до сировини, і до матеріалу.

В економічній геології товаром є корисна копалина, зокрема природний газ, мінерали, гірські породи, природні речовини, – якщо вони потрапили у сферу товарно-грошового обміну. За бухгалтерським обліком поняття сировини і матеріалу вживають для характеристики фізичного тіла – речовини, з якої виготовляється продукція (Добічинський, 2006; Іванишин, 2016).

Усі перелічені категорії розглядаються як об'єкти дослідження параметричного товарознавства у сфері

економічної геології. До об'єктів товарознавства у пошуково-розвідувальному надрокористуванні належать: мінеральні речовини, природний газ як корисна копалина, газові компоненти (супутні речовини), підземне середовище. Ці об'єкти у процесі геологічного вивчення надр з дотриманням параметричного підходу отримують певні характеристики, оцінки, зокрема вартісні.

Предметом геологічного товарознавства є вартість корисних копалин, що видобуваються для товарно-грошового обміну. Тому геологічні багатопараметричні дослідження корисних копалин мають здійснюватися за їх товарознавчими оцінками.

Що стосується теорії публічного управління сферою надкористування, то слід зауважити про наявність великої кількості "білих плям" саме на дефініційному рівні.

Публічне управління – це краща форма державного управління. В умовах демократизації суспільства державне управління дедалі більше набуває статусу публічного управління, тобто управління прозорого, такого, що підлягає оприлюдненню, обговоренню, критиці. Це потребує змін у теорії державного менеджменту, відмови від нерациональних, негосподарських, неринкових принципів управління. Ринкові відносини вимагають перегляду теоретичних основ, що були притаманні старій пострадянській системі управління.

Отже, для успішного розв'язання прикладних проблем, у тому числі для якісного ціноутворення геологічного продукту, необхідно створити науковий теоретико-методологічний базис, інтелектуальний продукт, що містить у собі міждисциплінарний дефініційний апарат, зрозумілий для всіх стейкхолдерів (геологів, економістів, публічних управлінь, споживачів), збагачений економіко-математичним інструментарієм, здатним інтегруватися в сучасні інтелектуальні системи (Семенчук, 2010). Такий інтелектуальний продукт буде дуже корисним для Національної ради, що напрацьовує "параметри відбудови та трансформації кожного сектору економіки" (Мельничук, 2022). Це дасть змогу вирішити завдання, поставлені Урядом України у програмі з відновлення країни, зокрема з напрацювання системи локальних параметрів відбудови галузей і підприємств для багатовекторної трансформації усіх секторів зруйнованого народного господарства. Цей підхід має назву параметричний. Він трактується Кабінетом Міністрів як нова політекономія, що потребує нового революційного бачення концепції публічного управління. Великий фронт робіт покладається на науковців, а у сфері надкористування – на економічну геологію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням теоретичних положень економічної геології, основам організації системи публічного управління надкористуванням присвячені праці таких науковців: Б.М. Данилишина (2019, 2022a, 2022b), О.Ю. Оболенського, Л.В. Громоздової, М.І. Маркіна, А.М. Рвача, К.М. Юрченко (2023), О.Г. Михайленко та Н.А. Краснікової (2021), І.Д. Андрієвського, М.М. Коржнева, П.І. Пономаренко (2005), Г.І. Рудька, О.В. Плотнікова, М.М. Курило, С.В. Радованова (2010).

Появі в економічній теорії терміна "публічне управління" наука зобов'язана англійському державному службовцю Десмонду Кілінгу (Keeling, 1972), який у роки формування теоретичних основ кібернетики запропонував таке його тлумачення: "Публічне управління – це пошук у найкращий спосіб використання ресурсів задля досягнення пріоритетних цілей державної публічної політики".

У час воєнного стану наука стає стратегічною продуктивною силою, що створює теоретичний базис відродження економіки.

Насамперед останні наукові публікації національних провідних науковців (Данилишин, 2021; Данилишин та ін., 2022; Оболенський та ін., 2023) фокусують увагу на необхідності досліджень з пошуку домінантних аспектів публічного управління післявоєнної неоіндустріалізацією.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В існуючих сучасних наукових публікаціях не приділяється належної уваги висвітленню теоретичних положень з питань розрізнення визначень геологічних речовин на різних стадіях технологічного циклу, а саме: коли цей ресурс слід тлумачити як корисні копалини, коли – як сировину у виробничому процесі, коли – як товар. Тому актуальною для теорії публічного управління та економічної геології є параметрична оцінка вартості мінеральних ресурсів, розгляд їх категоріями параметричного ряду, що демонструє динаміку зростання доданої вартості, що є грошовою оцінкою цих категорій мінеральних ресурсів.

Формулювання цілей статті. Сьогодні для розв'язання проблем зі створення оптимальної системи надрокористування потрібен науковий підхід, що базується на інноваційних технологіях світового інтелекту. Між іншим, для підвищення ефективності публічного управління економічною геологією потребує актуалізації теорія вартісної оцінки мінеральних ресурсів, що базується на класичних основах економіко-математичного інструментарію та використанні сучасних інтелектуальних технологій з моделювання багатопараметричних оцінок геологічного продукту. Серед існуючих методів дуже корисним для економічної геології може стати метод параметричного ціноутворення.

Метою даної статті є надання пропозицій щодо параметрів оцінки вартості та формування ринкової ціни мінеральних ресурсів у процесі їх руху по всіх стадіях технологічного циклу, відповідно до параметричного підходу в публічному управлінні індустріальною відбудовою України, в частині трансформації видобувного сектору.

У теорії ціноутворення для створення диференційованої шкали цін пропонується метод параметричного ціноутворення.

Наукова новизна статті полягає в тому, що автори запропонували математичний формалізований опис розрахунку ціни для параметричного ряду геологічних суб'єктів, що різняться фізико-хімічним складом і, відповідно, здатністю задовольнити потреби споживача.

Відповідно до теорії параметричного ціноутворення, цей метод ефективно використовується, коли основні споживчі параметри аналогічної продукції підлягають чіткому кількісному визначенню. У випадку мінерального

ресурсу це стадії, коли геологічний об'єкт є корисною копальною, сировиною, матеріалом, напівфабрикатом, готовою продукцією. Водночас геологічний об'єкт може бути членом параметричного ряду залежно від якогось основного параметру. Таких основних параметрів, що характеризують даний ряд, може бути кілька.

У випадку параметричного ціноутворення ціна на кожний новий геологічний об'єкт у параметричному ряду розраховується шляхом корегування ціни базового геологічного об'єкта цього ряду.

Результати

Надрові ресурси за Конституцією України є власністю народу. Тому для держави, що уособлює народ, має значущість оцінка вартості геологічного потенціалу родовищ і видобутого конкретного виду корисних копалин. Вартість корисних копалин визначається їх якісними параметрами, що вивчаються прикладними геологічними науками, насамперед економічною геологією.

За даними економічної геології, у світі налічується до 200 видів корисних копалин. Природно-ресурсна база нашої країни включає 117 видів розвіданих корисних копалин, тому Україна має статус провідної мінерально-сировинної країни світу. Щодо окремих видів корисних копалин, то Україна займає перші в Європі позиції за запасами марганцевих та залізних руд, титану, цирконію, урану, графіту.

З метою визначення перспектив надрокористування Кабінет Міністрів України оприлюднив такі документи, як "Економічний аудит країни", "Вектори економічного розвитку до 2030 року". Положення цих документів лежать в основі "Національної економічної стратегії України до 2030 року". У названих урядових документах і плані дій Національної ради з післявоєнного відродження економіки країни аналізується сучасний стан економіки країни, презентуються загальні напрями діяльності уряду для покращення післявоєнної ситуації в різних її галузях, всебічного багатопараметричного розвитку суспільства.

При тому, як стверджує сучасна національна наука (Данилишин, 2022, 2023), післявоєнне відродження економіки слід починати з індустріального сектору, з підвищення виробітку мінеральних товарів як сировинної бази неоіндустріалізації.

Динаміку показників торгівлі мінеральною продукцією України протягом 2014–2020 рр., у млн дол США, наведено в табл. 1. Як видно з неї, у цей період частка мінеральних товарів у загальному експорті товарів України не перевищувала 11,3 %. Хоча запаси мінеральних корисних копалин у надрах є значними, питома вага експорту в імпорту цієї продукції, в млн дол США, до 2019 р. не перевищувала 38 %. І тільки у 2020 р. цей показник суттєво зріс – до 63,2 % (Михайленко, & Краснікова, 2021).

Таблиця 1

Динаміка показників експорту й імпорту мінеральних товарів в Україні
(Державна служба статистики, 2020)

Показник	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Експорт товарів України, млн дол США	53913,3	38127,0	36361,0	34428,4	47334,7	49853,1	49388,1
Частка мінеральної продукції у загальному експорті товарів України, %	11,3	8,1	7,5	8,9	9,2	9,8	10,8
Експорт мінеральної продукції, млн дол США	6104,2	3099,5	2728,8	3848,6	4339,6	4866,5	5307,0
Імпорт мінеральної продукції, млн дол США	16066,4	11690,0	8495,0	12363,2	14191,9	12984,6	8402,7
Частка експорту в імпорті, %	38,0	26,5	32,1	31,1	30,6	37,5	63,2

Як показує аналіз даних за 2014–2020 рр., за наявності потужного мінерально-сировинного багатства в Україні, імпорт значно перевищує експорт. Водночас в експорті в 2020 р. 82,9 % становили руди, шлак і зола – товари з низькою доданою вартістю. У той же час в імпорті 92,4 % – це палива мінеральні, нафта і продукти її перегонки (Державна служба ..., 2020).

Таке співвідношення показників торгівлі з показниками запасів у надрах свідчить не на позитив системі публічного управління і потребує аналізу й наукових рекомендацій, у тому числі на методологічному і теоретичному рівнях.

Безумовно, що у розв'язанні проблем значного підвищення показників міжнародної торгівлі мінеральними товарами значущу роль мають відіграти й геологічні науки, що перебувають на службі у системи публічного управління надроресурсами.

Серед нових галузей геологічних наук розвивається економічна геологія (Андрієвський, Коржнев, & Пономаренко, 2005; Малюк, Бобров, & Красножон, 2003; Коржнев, Михайлов, & Міщенко 2006; Рудько та ін., 2010). Оскільки видобуток корисна копалина після певних процесів (переробки, підготовки до продажу тощо) надходить на ринок як товар, перспективним напрямом економічної геології є дослідження товарознавчих властивостей корисних копалин і відповідно визначення їх вартостей і споживчих вартостей. Це необхідно для формування науково-обґрунтованої ціни, що в умовах ринку контролюється системою публічного державного управління.

При формуванні ціни слід враховувати затрати на процеси підготовки до пошуку, затрати на процеси геологорозвідування, затрати на працю фахівців з обслуговування технічних засобів та ін.

Наукова теорія вказує на те, що корисну копалину, зокрема руди, природний газ, що містяться у надрах, недоречно називати товаром. Їх слід розглядати як потенційний товар і умовно оцінювати (тобто визначати їхню ціну, обсяг продажів тощо), передбачаючи майбутній продаж видобувними підприємствами після вилучення з надр, коли газ набуває здатності передаватися по трубах, закачуватися в балони, а руди можуть підлягати збагаченню, переробці тощо.

Для визначення ціни мінеральних ресурсів у ринкових умовах автори даної статті пропонують параметричний підхід. Значна кількість цінотвірних параметрів визначається фахівцями з економічної геології. Наприклад, при видобуванні природного газу як майбутнього товару, з метою визначення прогнозованої ціни, у процесі геологічного вивчення газових родовищ слід досліджувати:

- вартості експлуатації родовищ та передачі видобутого газу;
- вид родовища: одно- або багатопластове (точніше багатопокладові й однопокладові), що за товарними ознаками оцінюється геолого-вартісними показниками;
- наявність у розрізі багатопластового родовища на одній площі кількох газових покладів, розташованих один під одним на різній глибині;
- наявність у деяких газових покладах самостійного газоводяного контакту;
- види колекторів, які можуть бути різними: кавернозними, міжгранулярними або тріщинними;
- надрові особливості газових родовищ (більшість з них – у зонах газонакопичення, де є склепінні підняття, внутрішньоплатформні западини, міжгірські западини, передгірські прогини і западини) (Ільшов та ін., 2008).

Параметричне ціноутворення передбачає формування цін для всього параметричного ряду аналогів. У випадку мінеральних ресурсів членами параметричного ряду є геологічні суб'єкти, що мають різні категорійні характеристики-параметри, що для ринку (для продавця і покупця) означає товар різної ціни.

Автори даної статті пропонують відобразити формалізований опис параметричної ціни для ряду геологічних аналогів таким чином:

$$C_n = C_b \times \{KP\}, \quad (1)$$

де C_n – ціна нового геологічного продукту в параметричному ряду; C_b – ціна базового геологічного продукту; KP – сукупність змін параметрів (P) нового геологічного продукту порівняно з параметрами базового геологічного продукту; K – коефіцієнт корегування, значення якого залежить від того, як кількісні характеристики (їх зниження або збільшення порівняно з базовими параметрами) вказують на покращення споживчих характеристик геологічного продукту в параметричному ряду.

Якщо нова ціна розраховується з урахуванням нормативних затрат на одиницю продукції параметричного ряду, то рекомендовано використовувати нормативно-параметричний метод, що буде мати такий формалізований опис:

$$C_n = C_b + H_z \times \{KP\}, \quad (2)$$

де C_n – ціна нового геологічного продукту в параметричному ряду; C_b – ціна базового геологічного продукту; H_z – нормативні витрати на одиницю продукції в параметричному ряду; KP – нові споживчі параметри, що скореговані на підвищення або зниження коефіцієнтами (K) залежно від характеру цих параметрів.

Автори звертають увагу на таку особливість: на практиці формули можуть доповнюватися сумами зніжок і надбавок за додаткові допоміжні параметри.

До параметричних методів ціноутворення в науковому ціноутворенні відносять метод питомої ціни, метод балів, метод регресії. Розглянемо, як це може бути використано для геологічного продукту у випадку його багатопараметричної диференціації.

Метод питомої ціни базується на формуванні цін по одному з головних параметрів якості геологічного продукту. У даному випадку питома ціна розраховується як частка від ділення ціни на основний параметр якості геологічного товару. Як наслідок – ціна зростає пропорційно покращенню якості геологічного продукту (за інших рівних умов).

Метод балів у параметричному ціноутворенні базується на використанні експертних бальних оцінок параметрів геологічного продукту. Водночас експерти проводять відбір основних параметрів, нараховують бали по кожному параметру, сумують бали по базовому еталонному та новому геологічному продукту і, зрештою, розраховують ціни на нові геологічні продукти, виходячи зі співвідношення підсумкових балів по такій формулі:

$$C_n = C_b \times (\sum_{i=1}^n B_{ni} / \sum_{i=1}^n B_{bi}), \quad (3)$$

де C_n – ціна нового геологічного продукту; C_b – ціна базового геологічного продукту (еталону); B_{ni} – бальна оцінка i -го параметра нового геологічного продукту; B_{bi} – бальна оцінка i -го параметра базового геологічного продукту (еталону).

Для запобігання суб'єктивізму при нарахуванні балів слід використовувати не індивідуальні, а колективні експертні оцінки.

При використанні параметричного методу регресії формується емпірична формула – регресійне рівняння, що формалізовано відображає залежність ціни від

значень кількох основних параметрів якості в рамках параметричного ряду геологічного продукту. Тобто ціна геологічного продукту (C) трактується як функція від основних параметрів якості геологічного продукту:

$$C = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (4)$$

де $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ — основні параметри якості геологічного продукту.

Цей метод дає змогу побудувати аналітичне регресійне рівняння, тобто змодельовати зміну цін залежно від сукупності параметрів якості геологічного продукту $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, та розрахувати всю необхідну систему цін для геологічного продукту всього параметричного ряду.

Уся сукупність видобувних підприємств, де відбувається технологічний цикл "Від А до Я" є об'єктами публічного управління в країні.

Підсумовуючи сказане, слід зазначити, що корисні копалини можна умовно розглядати як майбутні товари, їх рух трансформації вивчає економічна геологія з метою параметричного ціноутворення на теоретичній основі товарознавства, маркетингу та публічного управління.

Для визначення майбутньої ціни поряд з економічними характеристиками в економічній геології досліджуються й технологічні властивості корисних копалин, оскільки від них залежать параметричні цінові характеристики.

За ознакою товару до товарознавчих параметрів, що впливають на формування ціни корисної копалини як природної речовини, на наш погляд, слід віднести такі:

- фізичні характеристики корисної копалини (наприклад, колір, компоненти, розмір шматків руди, природно багаті або бідні руди, масова частка урану, інших речовин у рудах та ін.);
- фізичні властивості корисної копалини (густина, теплопровідність, пластичність та ін.);
- хімічний склад корисної копалини (корисні компоненти, хімічна чистота рудного мінералу тощо);
- кількісні показники наявності у природі (обсяг, маса, розподілення корисної копалини по територіях і за обсягами);
- якісні характеристики (наприклад, структурний склад хімічних елементів або їх сполук, вміст корисного компоненту, склад і кількість домішок, фізико-механічні параметри), мінливість мінерального складу, у тому числі масової частки хімічних компонентів, мінливість істинної пружності.

При видобуванні мінерального ресурсу задля отримання інформації для якісного параметричного ціноутворення, слід досліджувати:

- особливості рудовмісних порід, перекривних і підстильних відкладів, що визначають характеристику їхньої міцності у природному й водонасиченому стані;
- інженерно-геологічні особливості масивів порід родовища та їхню анізотропію;
- склад порід, їхню тріщинуватість, тектонічну порушеність, текстурні особливості, закарстованість у зоні вивітрювання;
- стан сучасних геологічних процесів, що можуть ускладнити розроблення родовища.

Як показує аналіз, в Україні отримали широке господарське застосування, але не охоплені аналітичним параметричним дослідженням економічної геології, такі корисні копалини :

- мінеральні: залізні, марганцеві, хромові, алюмінієві (боксити) і нікелеві;
- калійні і магнієві солі;

- борні, слюди-мусковіту і слюди флогопіту, азбесту, сірки самородної, графіту, тальку, гіпсу, кам'яної солі;
- неметалічна сировина для металургії та виробництва вогнетривів;
- неметалічна сировина для будіндустрії та інші корисні копалини;
- алмази і коштовні камені.

Отже, на наш погляд, необхідні теоретичні розробки щодо товарознавчих ціновісних оцінок корисних копалин, що є предметом досліджень економічної геології.

Дискусія і висновки

Сучасна національна система публічного управління домінуючим визначає розвиток промисловості і насамперед індустріального сектору України, що основою свого зростання та розвитку має мінерально-сировинний і мінерально-енергетичний ресурс. Через масштабні руйнування, що отримала економіка у воєнний час, слід казати не про індустріалізацію, а про неоіндустріалізацію економіки країни (рівень розвитку економіки, з виключенням неефективних нераціональних проміжних кроків). Уникненню такої нераціональності будуть сприяти наукові багатопараметричні розробки з використанням інтелектуально-технологій. Така відбудова авторами названа смарт-неоіндустріалізацією.

Сьогодні для формування інноваційного методичного забезпечення системи публічного управління смарт-неоіндустріальною відбудовою України в післявоєнний період потрібна актуалізація теорії вартісної оцінки мінеральних ресурсів. Окрім того, для переходу до діджиталізації необхідне економіко-математичне моделювання процесів ціноутворення. Тому науковий інтерес і практичне значення становлять методичні наукові розробки, що наближують країну до цифровізації економіки, до інтеграції в інтелектуально-технології, що стає дуже необхідним для якісного ціноутворення на мінеральні ресурси на всіх стадіях їх руху від видобутку до кінцевого споживання. За цих умов варто враховувати цілий ряд параметрів, що диференціюють мінеральний ресурс відповідно до його вартісної оцінки.

Використовуючи параметричний підхід дослідження характеристик корисних копалин, рекомендовано проводити в комплексі: геологічні, товарознавчі-ринкові, ціновісні фактори. Тоді ці дослідження матимуть не абстрактну цінність, а практичну економічну значущість, у тому числі для обчислень маркетингових економічних і фінансових показників, економічної ефективності та доцільності експлуатації цих родовищ.

Для обчислення економічного ефекту від видобутку мінерального ресурсу повинен існувати якісний механізм ціноутворення. Автори статті рекомендують параметричний метод ціноутворення.

До товарознавчих характеристик, що впливають на ціну природної речовини, відносять: фізичні властивості корисної копалини (колір, запах та ін.); фізичні параметри корисної копалини (густина, теплоємність та ін.); хімічний склад корисної копалини (елементний склад, корисні компоненти, хімічна чистота); кількісні показники (обсяг, маса, розподілення корисної копалини по територіях, насиченість родовища); якісні параметри (наприклад, структурний склад хімічних елементів або їхніх сполук, вміст шкідливих речовин); мінливість елементного складу, у тому числі масової частки хімічних компонентів. Окремо виділяються технологічні властивості (здатність переміщатися по трубах під тиском, не втрачати якості при перемищенні або довгостроковому зберіганні та ін.).

Наукові компетенції з проведення таких досліджень містить економічна геологія, що орієнтована на впровадження параметричних методів розробки ціни мінеральних ресурсів у механізм публічного управління індустріалізацією економіки України.

Внесок авторів: Богдан Данилишин – концептуалізація, методологія; Адам Бодюк – написання (оригінальна чернетка); Лариса Громоздова – написання, введено поняття смарт-неоіндустріалізації на основі інтелектуальних систем і цифрових технологій; Юрій Махортов – концептуалізація, методологія; Сергій Леонтович – методологія, написання (оригінальна чернетка); Яна Дербеньова – програмне забезпечення, формальний аналіз; Андрій Рвач – формалізований опис параметричного ціноутворення при оцінці мінересурсу.

Список використаних джерел

- Андрієвський, І. Д., Коржнев, М. М., & Пономаренко, П. І. (2005). *Реформування економічного механізму користування надрами: регулятора економічної, екологічної та соціальної безпеки країни*. Київський університет.
- Данилишин Б. М. (2022a, 1 вересня). Якими мають бути стратегічні напрями відбудови національної економіки. *Економічна правда*. <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/09/1/691022/>
- Данилишин, Б. М. (2019, 26 грудня). Між Кейнсом і Хаасом. *Дзеркало тижня*. https://zn.ua/ukr/macrolevel/mizh-keynsom-i-hayekom-334091_.html
- Данилишин, Б. М. (2022b, 28 грудня). Підсумки 2022 року та завдання на 2023 рік. *Економічна правда*. <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/12/28/695523/>
- Данилишин, Б. М. (2023, 3 березня). Як забезпечити економічне зростання в умовах війни. *Економічна правда*. <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/03/3/697664/>
- Данилишин, Б. М., Громоздова, Л. В., Мальяревський, В. М., Рвач, А. М., & Тітов, В. В. (2022). Прогнозування очікуваних ризиків продовольчої безпеки в контексті публічного управління. *Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку*, 29, 18–30.
- Данилишин, Б. М. (2023, 18 квітня). Зростання економіки: за 10 років виїти на рівень 2021 року. *Економічна правда*, <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/04/18/699243/>
- Державна служба статистики України. (н.д.). Товарна структура зовнішньої торгівлі України. <https://www.ukrstat.gov.ua/>
- Добчинський, В. В. (2006). *Сучасний тлумачний словник української мови*. Школа.
- Іванишин, В. В. (2016). Українська нафтогазова енциклопедія. Львів.
- Ільяшов, М. О., Саранчук, В. І., Ошовський, В. В., & Білецький, В. С. (2008). *Основи хімії і фізики горючих копалин*. Східний видавничий дім.
- Коржнев, М. М., Михайлов, В. А., & Міщенко, В. С. (2006). *Основи економічної геології*. Логос, с. 218–222.
- Малюк, Б. І., Бобров, О. Б., & Красножон, М. Д. (2003). *Надрокористування у країнах Європи і Америки*. Географіка, с. 196–197.
- Мельничук, Т. М. (2022). *План відновлення нашої країни матиме два виміри: регіональний та параметричний*. <https://t.me > tmelnychuk>
- Михайленко, О. Г., & Краснікова, Н. А. (2021). Конкурентоспроможність України на світовому ринку мінеральної продукції. *Економіка та держава*, 7, 71–82. http://www.economy.in.ua/pdf/7_2021/15.pdf.
- Національна економічна стратегія України до 2030 року. (2021). Затверджено постановою Кабінету Міністрів України на від 3 березня 2021 року № 179 (за змін. і доп.).
- Оболєнський, О. Ю., Громоздова, Л. В., Маркіна, М. І., Рвач, А. М., & Юрченко, К. М. (2023). Особливості розвитку системи публічного управління в Україні. *Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку*, 30, 30–48.
- Рудько, Г. І., Плотніков, О. В., Курило, М. М., & Радванов, С. В. (2010). *Економічна геологія родовищ залізистих кварцитів*. Академпрес.
- Семенчук, А. О. (2010). *Економічна сутність поняття "цінність" та "вартість"*. Київський нац. екон. ун-т ім. Вади́ма Гетьмана. <https://core.ac.uk/download/pdf/14714343.pdf>
- Hromozdova, L., Dubrovky-Rokhova, A., & Pravorskyi, R. (2021). Economic intelligence in the system of international economic relations: characteristics of the current situation and problems of development. *Journal Technology Audit And Production Reserves*, 4(60), 21.
- Keeling, D. (1972). *Management in Government*. Allen & Unwin.

References

- Andrievskyi, I. D., Korzhnev, M. M., & Ponomarenko, P. I. (2005). *Reforming the economic mechanism of subsoil use: the regulator of economic, ecological and social security of the country*. Kyiv University [in Ukrainian].
- Danylyshyn, B. M. (2019, December 26). Between Keynes and Hayek. *The Mirror of the Week* [in Ukrainian]. https://zn.ua/ukr/macrolevel/mizh-keynsom-i-hayekom-334091_.htm
- Danylyshyn, B. M. (2023, April 18). Economic growth: to reach the level of 2021 in 10 years. *Economic Truth*, [in Ukrainian]. <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/04/18/699243/>
- Danylyshyn, B. M. (2022b, December 28). Results of 2022 and tasks for 2023. *Economic Truth* [in Ukrainian]. <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/12/28/695523/>
- Danylyshyn, B. M. (2022a, September 1). What should be the strategic directions of reconstruction of the national economy. *Economic Truth* [in Ukrainian]. <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/09/1/691022/>
- Danylyshyn, B. M. (2023, March 3). How to ensure economic growth in conditions of war. *Economic Truth* [in Ukrainian]. <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/03/3/697664/>
- Danylyshyn, B. M., Gromozdova, L. V., Malyarevskiy, V. M., Rvach, A. M., & Titov, V. V. (2022). Forecasting expected food safety risks in the context of public administration. *Problems of innovation and investment development*, 29, 18–30 [in Ukrainian].
- Dobichynskiy, V. V. (2006). Modern explanatory dictionary of the Ukrainian language. School [in Ukrainian].
- Hromozdova, L., Dubrovky-Rokhova, A., & Pravorskyi, R. (2021). Economic intelligence in the system of international economic relations: characteristics of the current situation and problems of development. *Journal Technology Audit And Production Reserves*, 4(60), 21.
- Ilyashov, M. O., Saranchuk, V. I., Oshovskiy, V. V., & Biletskyi, V. S. (2008). *Basics of chemistry and physics of fossil fuels*. Eastern Publishing House [in Ukrainian].
- Ivanyshyn, V. V. (2016). *Ukrainian oil and gas encyclopedia*. Lviv [in Ukrainian].
- Keeling, D. (1972). *Management in Government*. London, Allen & Unwin.
- Korzhnev, M. M., Mykhaylov, V. A., & Mishchenko, V. S. (2006). *Basics of economic geology*. Logos [in Ukrainian].
- Malyuk, B. I., Bobrov, O. B., & Krasnozhan, M. D. (2003). *Subsoil use in the countries of Europe and America: Reference edition*. Geography, p. 196–197 [in Ukrainian].
- Melnychuk, T. M. (2022). The recovery plan of our country will have two dimensions: regional and parametric. <https://t.me > tmelnychuk> [in Ukrainian].
- Mykhaylenko, O. G., & Krasnikova, N. A. (2021). Competitiveness of Ukraine on the world market of mineral products. *Economy and State*, 7, 71–82. http://www.economy.in.ua/pdf/7_2021/15.pdf [in Ukrainian].
- Obolenskyi, O. Yu., Gromozdova, L. V., Markina, M. I., Rvach, A. M., & Yurchenko, K. M. (2023). Peculiarities of the development of the public administration system in Ukraine. *Problems of innovation and investment development*, 30, 30–48 [in Ukrainian].
- Rudko, G. I., Plotnikov, O. V., Kurylo, M. M., & Radovanov, S. V. (2010). *Economic geology of iron quartzite deposits*. Akadempres [in Ukrainian].
- Semenchuk, A. O. (2010). *The economic essence of the concept of "value" and "cost"*. Kyiv National economy University named after Vadym Hetman. <https://core.ac.uk/download/pdf/14714343.pdf> [in Ukrainian].
- State Statistics Service of Ukraine. (n.d.). Commodity structure of foreign trade of Ukraine. <https://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian]
- The National Economic Strategy of Ukraine until 2030. (2021). Approved by Resolution No. 179 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 3, 2021 (as amended and supplemented) [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 11.11.23

Прорецензовано / Revised: 25.03.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Bohdan DANYLYSHYN¹, Active Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, DSc (Econ.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-4058-1191
e-mail: kaf_re@ukr.net

Adam BODYUK², PhD (Econ.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-6200-1784
e-mail: g2030@ukr.net

Larysa HROMOZDOVA¹, PhD (Econ.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-4077-9229
e-mail: gromozdovag@gmail.com

Yurii MAKHORTOV³, DSc (Econ.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-5120-296X
e-mail: y_mahortov@ukr.net

Serhii LEONTOVYCH⁴, PhD (Econ.), Leading Researcher
ORCID ID: 0000-0002-0393-1869
e-mail: gymr2020@i.ua

Yana DERBENOVA⁵, PhD (Econ.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-1369-9888
e-mail: yanaderbenova@ukr.net

Andrii RVACH¹, PhD Student
ORCID ID: 0000-0002-7617-5734
e-mail: Rvach2012@gmail.com

¹Kyiv National Economic University named after Vadim Hetman, Kyiv, Ukraine

²Research institution "Resource", Kyiv, Ukraine

³Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Ukraine

⁴Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

⁵Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF MINERAL RESOURCE VALUE AS AN ASPECT OF THE PARAMETRIC DIMENSION OF PUBLIC MANAGEMENT FOR INDUSTRIAL DEVELOPMENT IN UKRAINE

This article presents proposals and methodological developments by the authors-scientists for the practical implementation of the parametric dimension of economic recovery following military operations, as proposed by the Cabinet of Ukraine and the National Council. The aim of the research is to improve the existing method of estimating the value of mineral resources through a system of public management using parametric pricing based on commodity science and marketing principles. The authors emphasize the importance of theoretical research in the field of subsoil use, particularly in assessing the cost of mineral resources throughout the technological cycle. It has been proven that the research of the characteristics of minerals should be carried out in a complex: geological, price-forming and commodity-market research. Only then these studies will not have an abstract value, but practical economic significance, including the calculation of marketing, economic and financial indicators of deposits that will be exploited, their future economic efficiency. Furthermore, the article highlights the need to enhance the theory of public management in the context of Ukraine's industrial reconstruction, primarily in terms of parametric pricing methods on the theoretical basis of commodity science and marketing. The article outlines the necessity of improving public management theory by employing the parametric dimension for Ukraine's industrial reconstruction. It emphasizes the importance of parametric pricing methods and proposes a new management paradigm for subsurface use, which integrates scientific research and geological exploration activities on smart-basis. This process is called "smart neo-industrialization" by the authors. The article provides detailed explanations of the geological product, consumer properties, consumer value, and value, all considered within the context of commodity production in the extractive industry. It clarifies several commodification definitions from the theory of mineral resources research, using natural gas and uranium as examples. The movement of minerals through all phases of social production is examined by experts in economic geology, commodity science, marketing, and public administration. It is argued that minerals can be seen as future goods, undergoing transformation from their natural state to the finished product. The article highlights the importance of public administration, smart-neo industrialization, mineral resources, economic geology, geological products, parametric pricing methods, costs, and commodity science in the effective management and evaluation of mineral resources. The scientific novelty of the article lies in the proposed mathematical formalized description of the price calculation for a parametric series of geological entities that differ in their ability to satisfy consumer needs due to the fact that they are not identical in physical and chemical composition.

K e y w o r d s : *public administration, smart-neo industrialization, mineral resources, economic geology, geological product, parametric pricing method.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

УДК 553:332.122.5(477)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.11>

Лідія ГОРОШКОВА, д-р екон. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-7142-4308
e-mail: goroshkova69@gmail.com

Національний університет "Києво-Могилянська академія", Київ, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ ТА ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Вступ. Україна посідає одне з провідних місць у світі серед виробників товарної залізної руди – сьоме місце з видобутку залізної руди та близько 5 % світового обсягу виробництва товарної залізної руди. Щодо важливості залізної руди для економіки країни, то саме залізна руда і сталь разом становили 30 % експорту України в 2017 р., водночас залізна руда сягала 6,3 % загального обсягу експорту. З початком війни ситуація змінилась, отже актуальним завданням є розробка стратегії розвитку залізної руди України в умовах війни та з урахуванням завдань повоєнного відновлення країни та принципів ефективного управління використанням та відтворенням ресурсної бази України.

Методи. Для проведення дослідження використано загальнонаукові (аналіз і синтез, індукція та дедукція, аналітичне групування) та спеціальні (абстрагування, моделювання, прогнозування, статистичного аналізу та ін.) методи вивчення явищ і процесів.

Результати. Проведено дослідження стану ринку залізної руди у світі та Україні. Задля оцінки ситуації у залізній рудній галузі України було здійснено порівняння із загальносвітовими. Отримані результати дали змогу дійти висновків, що з 2003 року спостерігається кореляція між динамікою видобутку залізної руди у світі та в Україні. Щодо цінних характеристик, то наявні однакові тенденції щодо змін, але за абсолютними значеннями експортні ціни України є нижчими за світові.

Встановлено, що саме залізні рудні галузь є тією, яка компенсує втрати економік країн світу під час кризових ситуацій або допомагає їх подолати. З урахуванням цього досліджено взаємозв'язок між ВВП країни та обсягами експорту й експортними цінами на залізну руду та їх світовим рівнем з використанням функції взаємної кореляції. Побудовано економіко-математичну модель та визначено основні фактори впливу.

Проведено дослідження впливу повномасштабної війни на стан залізної рудної промисловості та її експортні можливості. У контексті очікуваних тенденцій на найближчі роки доведено, що існує доцільність збільшення експорту руди задля підтримки економіки країни. Здійснено прогнозування тенденцій розвитку вітчизняної залізної рудної галузі (видобутку залізної руди, експортних можливостей країни) в умовах війни з урахуванням очікуваних перспектив розвитку світового ринку.

Висновки. В результаті проведеного дослідження доведено ключове значення залізної рудної галузі для економіки країни, у т. ч. в період криз та подолання їх наслідків. Побудовано економіко-математичну модель впливу галузі на ВВП країни з урахуванням експортних потоків. Це дало змогу спрогнозувати основні параметри розвитку галузі під час війни та задля повоєнного відновлення України.

Ключові слова: залізна руда, видобуток руди, експорт, світові ціни на руду, прогнозування, моделювання, валовий внутрішній продукт.

Вступ

Україна посідає одне з провідних місць у світі серед виробників товарної залізної руди – сьоме місце з видобутку залізної руди та виробляє близько 5 % світового обсягу товарної залізної руди. Щодо важливості залізної руди для економіки країни, то саме залізна руда і сталь разом становили 30 % експорту України в 2017 р., водночас залізна руда сягала 6,3 % загального обсягу експорту. Негативні зміни розпочались ще у 2014 р., коли через анексію Криму були захоплені родовища Керченського залізничного басейну, на базі яких працював Керченський залізничний комбінат. З початком повномасштабної війни ситуація ще ускладнилась. У 2022 р. РФ захопила родовища Білозерського та Приазовського залізничних районів у Запорізькій і Донецькій областях. Запаси руди лише Приазовського району оцінюють у 3 млрд т. За таких умов потрібно провести аналіз ситуації у вітчизняній та світовій залізній рудній галузі задля вироблення виваженої стратегії для України щодо видобутку залізної руди та її експорту в умовах війни та повоєнного відновлення України.

У довоєнний час основним завданням було формування збалансованої системи видобутку корисних копалин, у т. ч. залізної руди, коксівного вугілля для потреб вітчизняної металургії (Горошкова, 2011). З початком війни зі спаду виробництва в металургійній галузі, яка забезпечувала до 30 % ВВП країни та до 30 % експортних надходжень, слід переглянути підходи до обґрунтування обсягів видобутку та експорту саме залізних ресурсів. При цьому актуальним завданням залишається збереження умови збалансованого надрокористування і

раціонального використання корисних копалин. Але сучасні економічні виклики для України, які виникли внаслідок війни, потребують формування оновленої моделі ресурсокористування.

Метою дослідження є обґрунтування стратегії розвитку залізної рудної галузі України в умовах війни та з урахуванням завдань повоєнного відновлення країни на засадах принципів ефективного управління використанням та відтворенням ресурсної бази України.

Методи

У процесі проведення дослідження використано загальнонаукові (аналіз та синтез, індукція та дедукція, аналітичне групування) та спеціальні (абстрагування, моделювання, прогнозування, статистичного аналізу й ін.) методи вивчення явищ і процесів.

Результати

Україна посідає третє місце у світі за величиною залізних ресурсів і донедавна була дев'ятим найбільшим світовим виробником сталі (<https://worldsteel.org/>). Завдяки значним запасам сировини й металургійним виробничим потужностям Україна до початку війни також стала великим світовим експортером сталі (шоста позиція) й залізної руди (п'ята позиція). Але у 2022 р. ситуація суттєво погіршилась. Саме металургія і залізні рудні галузь забезпечили можливості для економічного зростання країни після економічної кризи 1991 р. Якщо в кінці 1980-х на металургію припадало лише 10 % промислового виробництва, то на початку 2000-х рр. її частка в промисловому виробництві України збільшилась до 30 %.

Проблемам геологічного вивчення надр, надрокористування, зокрема економічних аспектів, присвячені роботи

© Горошкова Лідія, 2024

А.В. Бодюка, С.О. Довгого, М.М. Коржнева, Є.О. Куліша, М.В. Курило, О.А. Лисенка, В.А. Михайлова, В.С. Міщенко та ін. (Бордюк, 2013; Довгий та ін., 2007; Коржнев та ін., 2006; Лисенко, 2017; Лисенко, Василенко, & Костенко, 2017; Лустюк, Дякон, & Петрина, 2013).

Станом на 1.01.2024 відсутні оприлюднені дані щодо запасів руд заліза в Україні (Портал даних видобувної галузі України та ДНВП "Геоінформ України") відповідно до вимог законодавства на період дії воєнного стану. Портал даних видобувної галузі України з посиланням на дані ДНВП "Геоінформ України" станом на 1.01.2021 наводить таку інформацію: балансові запаси руд заліза становили 18 065,04 млн т, кількість родовищ руд заліза у 2020 р. – 60. Найбільший обсяг балансових запасів руд заліза знаходиться у Дніпропетровській (8 781,52 млн т, або 48,61 %), Полтавській (5 038,69 млн т, або 27,89 %) та Запорізькій (2 755,13 млн т, або 15,25 %) областях (Примушко, Білошапська, & Величко, 2020; Портал даних видобувної галузі України, н.д.).

Виробництво сталі та видобуток руди є важливими для економічного розвитку багатьох країн світу. Залізна руда – один з важливих ресурсів, оскільки є основною сировиною у виробництві сталі. Світові запаси залісної руди оцінюються в понад 800 млрд т сирової руди, що

містить понад 230 млрд т заліза (Mineral Commodity Summaries, 2022.) Загалом у світі налічується приблизно 170 млрд т розвіданих запасів залісної руди.

Задля вирішення поставленого завдання – формування рекомендації щодо стратегії розвитку вітчизняної залізничної галузі, доцільним буде проаналізувати ситуацію з видобутком та станом ринку залісної руди у світі. Проведені оцінки обсягів видобутку залісної руди у світі та цінової кон'юнктури ринку показали, що ситуація була стабільною впродовж досить тривалого часу. Обсяг видобутку залісної руди у світі з 1900 до 1950 р. був практично незмінним (https://www.researchgate.net/figure/World-iron-ore-production-from-1904-to-2014-estimated-Price-2013-USGS-2015_fig3_284727251). З 1960 р. почалось поступове зростання обсягів, але різким воно стало з 2005 р.

Як свідчать дані рис. 1, практично незмінними впродовж 1990–2005 рр. залишалися і ціни на залізну руду. Кардинальні зміни відбулись також після 2005 р. Ціни на залізну руду у світі змінюються не тільки з року в рік, але й щомісяця (рис. 1). Як бачимо, наявні і сезонні коливання цін. Так, середня ціна залісної руди у 2021 р. (максимум цін) становить 161,71 дол/т, у той час як максимум був у травні 2021 р. і становив 207,72 дол/т.

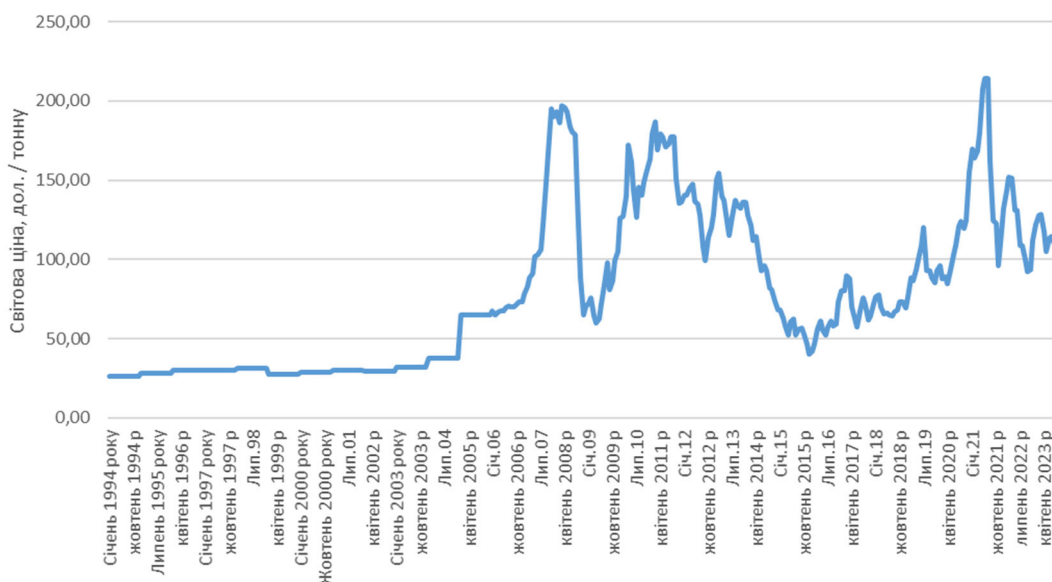


Рис. 1. Ціни на залізну руду у світі з січня 1994 по квітень 2023 року

Побудовано автором за даними: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=iron-ore&months=360>

За даними https://www.worldstopexports.com/iron-ore-exports-country/?expand_article=1, обсяг світового експорту залісної руди у 2022 р. становив 156,9 млрд дол США. Порівняно з 2018 р. він збільшившись на 70,8 %, у 2018 р. обсяг ринку становив 91,9 млрд дол. Щодо ситуації впродовж 2021–2022 рр., то загальна вартість експорту залісної руди скоротилася на –28,7 % від величини 220,2 млрд дол у 2021 р.

Найбільшими експортерами залісної руди є Австралія, Бразилія, Канада, Південна Африка та Швеція. Разом ці п'ять міжнародних постачальників забезпечили 85,2 % світових експортних продажів залісної руди у 2022 р.

Експортні потоки у 2022 р. у розрізі країн у вартісному вимірі наведено в табл. 1. За вартістю 15 країн постачали 96,9 % світового експорту залісної руди у 2022 р. Серед найбільших експортерів жодна країна не збільшила експорт з 2021 по 2022 р. Натомість найбільше знизився обсяг експорту залісної руди в таких країнах:

Індія (–62,2 %), Україна (–57,8 %), Росія (–55 %), Бразилія (–35,3%) і Південна Африка (–34,2 %).

У табл. 2 наведено результати оцінки сальдо світової зовнішньої торгівлі залізною рудою (чистий експорт) та динаміка його зміни впродовж 2001–2022 рр. Investopedia визначає чистий експорт як вартість загального експорту країни мінус вартість її загального імпорту.

Отже, як бачимо, провідним світовим експортером руди є Австралія, яка створила найвищий профіцит у міжнародній торгівлі залізною рудою.

Основними компаніями-експортерами залісної руди у світі у 2022 р. були такі: Anglo American plc (Велика Британія); ArcelorMittal (Люксембург); BHP Billiton (Австралія); Evraz Group (Велика Британія); Fortescue Metals Group (Австралія); Glencore International (Швейцарія); Rio Tinto (Велика Британія); Северсталь (Росія); Vale (Бразилія); Vedanta Resources (Велика Британія).

Таблиця 1

Експортні потоки залізної руди за країнами світу у 2022 році

Позиція в рейтингу	Країна	Обсяг експорту, млрд дол США	Частка експортного ринку, %
1	Австралія	87,7	55,9
2	Бразилія	28,9	18,4
3	Канада	6,7	4,3
4	Південна Африка	6,7	4,3
5	Швеція	3,7	2,4
6	Китай	3,2	2
7	Україна	2,9	1,9
8	Бахрейн	2,2	1,4
9	Росія	1,7	1,1
10	Чилі	1,6	1
11	Індія	1,57	1
12	Перу	1,54	1
13	Мавританія	1,34	0,9
14	Малайзія	1,21	0,8
15	Сполучені Штати	1,14	0,7

Таблиця 2

Сальдо зовнішньої торгівлі залізною рудою у 2021–2022 роках

Позиція в рейтингу	Країна	Профіцит експорту, млрд дол США	Тенденція змін
1	Австралія	87,5	–24,8 %
2	Бразилія	28,8	–35,3%
3	Південна Африка	6,7	–34,2 %
4	Канада	6	–17,6 %
5	Швеція	3,7	–21,5%
6	Україна	2,9	–57,7%
7	Чилі	1,57	–30%
8	Перу	1,54	–13,4%
9	Росія	1,46	–47,7 %
10	Індія	1,37	–63,9 %
11	Мавританія	1,34	–25,2 %
12	Казахстан	0,7132	–55,5 %
13	Сьєрра-Леоне	0,5957	194,5 %
14	Монголія	0,3906	–59 %
15	Іран	0,3771	4,7 %

Щодо позицій України на світовому ринку залізної руди, то вона входить до десятки країн, які мають найбільші поклади заліза у світі – це 6,5 млрд т руди.

Основні запаси руд заліза України зосереджені в Криворізькому залізрудному басейні у Дніпропетровській області та Керченському залізрудному басейні в АР Крим. Також суттєва частина запасів руд заліза знаходиться в Кременчуцькому, Білозірському та Маріупольському залізрудних районах. Основними типами залізних руд в Україні є багаті магнетитові руди, гематито-мартитові руди, магнетитові кварцити та бурі залізняки.

У Криворізькому залізрудному басейні видобувають багаті руди в основному підземним способом та залістисті кварцити переважно відкритим і частково підземним способом. Також у цьому басейні зосереджені запаси бурих залізняків, які не розробляються через відсутність попиту на них. У Кременчуцькому залізрудному районі розробляються багаті руди, легкозбагачувальні магнетитові та кумінгтоніт-магнетитові кварцити. У Білозірському рудному районі ведеться видобуток багатих руд підземним способом.

Основними підприємствами, які у 2020 р. забезпечували видобуток залізних руд у Дніпропетровській області у Криворізькому залізрудному басейні, були: АТ "Криворізький залізрудний комбінат" розробляв поля шахт Тернівської, Гвардійської, Октябрської та шахти "Родіна"; ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" розробляв поле шахти ім. Артема, Новокириворізьке та Валявкінське родовища; ПрАТ "Суша Балка" розробляв поля шахт "Ювілейна" та ім. Фрунзе. Також видобутком займалися гірничо-збагачувальні комбінати. Північний ГЗК

розробляв Первомайське та Ганнівське родовища; Південний займався розробкою Скелеватсько-Магнетитового родовища; Інгuleцький – родовища Інгuleцьке. Центральний гірничо-збагачувальний комбінат у Дніпропетровській області розробляв поле шахти ім. Орджонікідзе та родовище Велика Глеюватка, а в Кіровоградській – Петрівське та Артемівське родовища (Примушко, Білошапська, & Величко, 2020; Портал даних видобувної галузі України, н.д.).

У Кременчуцькому залізрудному районі видобутком займався ПрАТ "Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат" на базі Горішне-Плавнинського та Лавриківського родовищ. Також до видобутку було залучено ТОВ "Єристівський гірничо-збагачувальний комбінат", який розробляв Єристівське родовище.

У Білозерському рудному районі видобуток руд заліза проводив ПрАТ "Запорізький залізрудний комбінат" на Південнобілозерському та Переверзівському родовищах.

З початком війни у 2022 р. Білозірське родовище опинилось на окупованій території. У Керченському залізрудному басейні зосереджені розвідані запаси бурих залізняків. Їх видобуток було зупинено у 1992, родовища законсервовано. Дані щодо обсягів зміни запасів та видобутку руд заліза у Керченському залізрудному басейні нині недоступні через окупацію АР Крим Росією з 2014 р.

Отже, задля оцінки ситуації у залізрудній галузі України були здійснені порівняння із загальносвітовими тенденціями починаючи з 2003 р.

На рис. 2 наведено дані аналізу динаміки обсягів видобутку залізної руди у світі та Україні, світових цін та експортних цін на руду в Україні впродовж 2003–2023 рр.

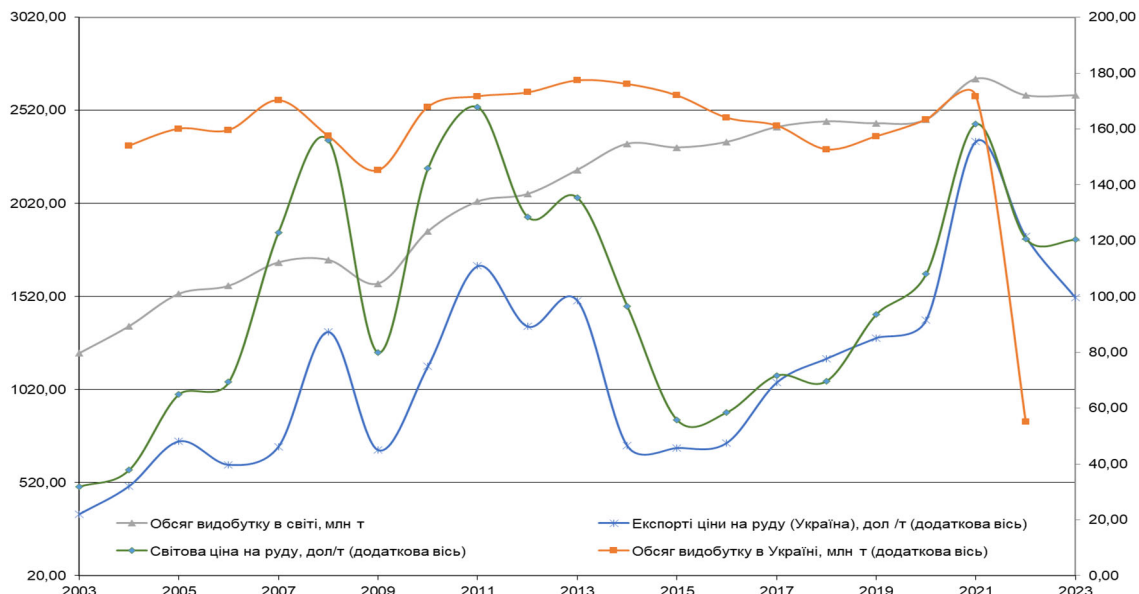


Рис. 2. Динаміка обсягів видобутку залізної руди у світі та Україні, світових цін та експортних цін на руду впродовж 2003–2023 років

Побудовано за даними: https://www.statista.com/statistics/589945/iron-ore-production-gross-weight-worldwide/_ta
<https://customs.gov.ua/statistika-ta-reiestri>

Як бачимо, з 2003 р. спостерігається кореляція між динамікою видобутку залізної руди у світі та в Україні. Спад у 2008–2009 рр. пов'язаний із світовою економічною кризою, яка розпочалась у 2007. Збільшення ж обсягів у 2007 р. можливо пояснити намаганням більшості країн, які мають родовища залізної руди, компенсувати втрати переробних галузей через видобувну. Подальше зростання пояснюється післякризовим розвитком економіки України і світу. На відміну від світу, у 2018 р. в Україні незначно зменшився видобуток залізної руди, водночас у світі ситуація була практично без змін. Зростання видобутку у світі відбулось у 2021 р., надалі, у 2022–2023 рр. ситуація є стабільною. У той же час в Україні з початком повномасштабної війни у 2022 р. відбулось різке зменшення обсягів видобутку, аналогів якого не існує.

Щодо світових цін на залізну руду, то максимуми зростання спостерігались у 2005, 2008, 2011, 2013 рр., мінімуми були характерні для 2009, 2012 та 2014–2016. Після 2016 р. почалось зростання світових цін на залізну руду з максимум у 2021 р. Щодо цін експорту вітчизняної залізної руди, то вони впродовж досліджуваного періоду були менші за світові, але повністю збігалися зі світовими тенденціями. У 2022–2023 рр. відбулось зниження і світових, і експортних цін України.

У 2008 р. криза набула світового характеру і спочатку одночасно зросли і обсяги видобутку, і ціни (суттєво). У 2009 р. відбулось подальше зниження обсягів виробництва у світі і, як наслідок – зниження попиту та цін на сировину, що стало причиною зниження цін на залізну руду у тому числі. В наступні роки за рахунок сировинної складової (зростання обсягів видобутку та цін) відбувались спроби відновити післякризову економіку світу. Відповідні тенденції були характерними і для України.

Наступний ціновий спад на ринку залізної руди у світі спостерігався впродовж 2014–2016 рр. з одночасним практично незмінним обсягом видобутку. Далі за практично незмінного обсягу видобутку почали стрімко зростати ціни, які досягли максимуму у 2021 р. На наведених вище рисунках динамічні показники щодо цін на залізну руду наведено як середньорічні значення.

На відміну від багатьох галузей економіки країн світу, пандемія коронавірусної інфекції COVID-19 практично не вплинула на залізничну галузь ні за обсягами видобутку (залишались практично незмінними), ні за цінами (вони продовжували зростати).

Отже є підстави вважати, що саме залізнична галузь є тією, яка компенсує втрати економік країн світу під час кризових ситуацій або допомагає їх подолати.

Показником економічного зростання (спаду) є ВВП країни. Отже гіпотеза полягає в тому, що існує взаємозв'язок між ВВП країни та обсягами експорту та експортними цінами на залізну руду. В дослідженні використано показники щодо номінального ВВП України впродовж 2003–2023 рр. в доларовому еквіваленті. Результати наведено на рис. 3.

Як бачимо, існує кореляція між темпами зростання ВВП, експортними цінами на руду та їх світовим рівнем. Максимуми спостерігались у 2005, 2008, 2011, 2013, 2017 (2020) та 2021 рр., відповідні мінімуми – у 2009, 2012, 2015 та 2022. Щодо обсягів експорту, то він з 2004 до 2015 зростав, у т. ч. і в ті роки, коли знижувались як експортні ціни, так і світові. Максимум експорту спостерігався у 2015 р., незважаючи на те, що ціни на руду суттєво знизились і у світі, і на український експорт. Протилежні тенденції були характерні і для періоду 2015–2021 рр. Так, на фоні зростання світових та експортних цін на залізну руду, фізичні обсяги експорту знижувались. Збіг тенденції (зростання обсягів експорту і відповідних цін) спостерігалось у 2021 та 2023 р. (зниження обсягів та відповідних цін).

Отже, виявлений нами збіг тенденції щодо динаміки ВВП, обсягів українського експорту, світових і вітчизняних експортних цін на залізну руду. Це дає підстави очікувати наявності взаємозв'язків між ВВП країни та експортом руди й між загальним обсягом експорту з України та експортною виручкою від продажу залізної руди, які можна описати з використанням взаємної кореляційної функції, що характеризує щільність зв'язку кожного елемента динамічних рядів значень залежної (результуючої) y_t та пояснювальної x_t змінних, зсунутих одна

відносно одної на часовий лаг τ . Коефіцієнт взаємної кореляції визначається за формулою

$$r_{\tau} = \frac{(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t x_{t-\tau} - \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t \sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t-\tau}}{\sqrt{[(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} y_t)^2][(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t-\tau}^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t-\tau})^2]}}, \quad (1)$$

де y_t і x_t – елементи вектора залежної (результуючої) та пояснювальної змінних відповідно, що зрушені одна до одної на часовий лаг τ ; n – кількість значень величини r_{τ} .

Відповідно було побудовано дві моделі: перша – результуючою змінною є ВВП країни, а фактором впливу – обсяги експорту руди (у доларовому еквіваленті); друга модель – результуюча змінна – це загальний обсяг експорту з України, фактор впливу – експортна виручка від продажу залізної руди (у доларовому еквіваленті).

Отримані залежності було порівняно з динамікою темпів росту ВВП країни та темпів зростання експорту залізної руди.

Графічно результати розрахунків представлено на рис. 4.

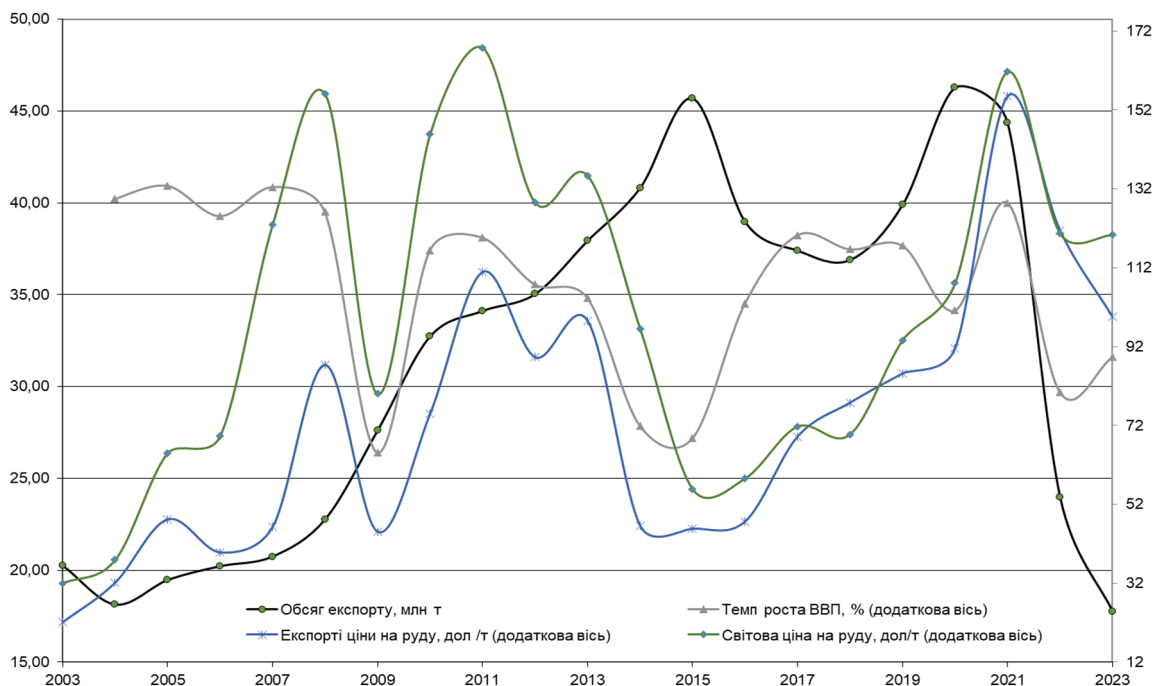


Рис. 3. Динаміка темпів зростання ВВП України, експорту та експортних цін на залізну руду, світових цін на руду

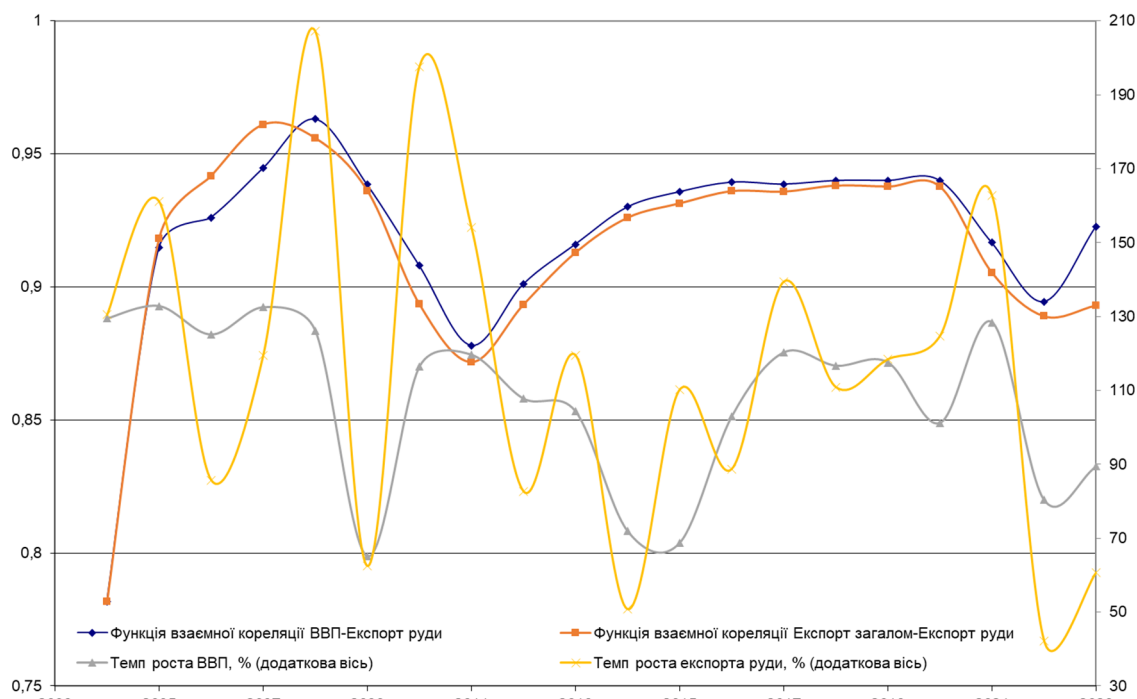


Рис. 4. Функції взаємної кореляції для величин ВВП країни та експорту руди, величин загального обсягу експорту з України та експортної виручки від продажу залізної руди, темпи росту ВВП країни та темпи росту експорту залізної руди

Насамперед слід зазначити, що впродовж усього досліджуваного періоду величина коефіцієнта взаємної кореляції є високою, мінімальне значення становить 0,87, мінімальне – 0,96. Це свідчить про високий рівень взаємного впливу досліджуваних показників.

Як бачимо, обидві функції взаємної кореляції (для величин ВВП країни та експорту руди і загального обсягу експорту з України та експортної виручки від продажу залізної руди) мають однакові тенденції змін у часі. Максимуми взаємної кореляції спостерігались у 2008 та 2020 рр., мінімуми – у 2011 та 2022.

Отже, є підстави вважати, що встановлено наявність часових лагів. Тривалість першого становить 4 роки (2004–2008), другого – 8 років (2011–2019). Тобто максимальна ефективність впливу фактора відбувається не в момент впливу, а із запізненням, тобто відтермінована на величину лага.

Пояснимо механізм формування першого лага і його вплив на економіку країни (ВВП). Максимум темпів зростання експорту руди спостерігався у 2004 р., наступний – у 2008 р. Вплив на результуючий показник – темп зростання ВВП, відбувався таким чином: завдяки зростанню експорту у 2004 р., незважаючи на світову економічну кризу, яка розпочалась 2007, ВВП України зросло у 2008 р. Таке зростання було забезпечене збільшенням обсягів експорту залізної руди у 2004 та 2008 рр. Кризова ситуація, на жаль, склалась у 2009 р. (зниження темпів зростання ВВП та темпів зростання експорту руди), але подолати її наслідки вдалось вже у 2010 р., про що свідчить максимум на кривій темпів зростання ВВП. Це дає підстави вважати, що "запас міцності" для країни, який дозволив досить швидко подолати наслідки кризи, був сформований завдяки вказаним позитивним показникам щодо експорту у 2004 та 2008 рр.

Тепер пояснимо механізм формування другого лага. Максимум темпів росту експорту був у 2011 р., після нього спостерігались ще п'ять максимумів темпів зростання експорту руди (2013, 2015, 2018, 2020 і 2021 рр.).

Щодо динаміки ВВП, то у відповідні роки спостерігали збільшення і темпів росту цього показника. Винятком є 2015 р., що можна пояснити кризою для України внаслідок початку війни і окупацією частини території країни, що суттєво обмежило експортні можливості залізорудної галузі (мінімум у 2014 р.). Впродовж 2011–2015 рр. спостерігалось зростання коефіцієнта взаємної кореляції, від мінімуму у 2011 р., до максимуму – у 2015. Значення, досягнуте у 2015 р., залишалось на високому, практично незмінному рівні до 2020, тому вважаємо, що спостерігаються лагові явища. Максимальна ефективність результату впливу була досягнута у 2017 р. – зростання ВВП після кризи, що було забезпечено збільшенням експорту залізної руди у 2011, 2013, 2015 і 2017. Отже, знов-таки "запас міцності" економіки країни для протистояння кризі (виходу з неї) був забезпечений експортом залізорудної галузі. Стабільність ситуації була до 2019 р., тобто тривалість лага становила вісім років (від 2011 до 2017).

У 2020 р. зменшились темпи зростання ВВП, на що вплинула незмінність темпів зростання експорту залізної руди. Наступне збільшення темпів зростання експорту руди було у 2021 р., що забезпечило покращення економічної ситуації в Україні (зростання ВВП). Цей максимум темпів зростання експорту, на нашу думку, можна вважати початком наступного лагового циклу.

Зрозуміло, що стабільність або зростання економіки країни забезпечує не тільки залізорудна галузь, але тенденції, що спостерігаються, дають підстави стверджувати, що цей вплив є вагомим для країни.

Далі було проведено аналіз впливу інших факторів на кореляційні залежності між величинами ВВП країни та експорту руди, величин загального обсягу експорту з України та експортної виручки від продажу залізної руди.

Нижче на рисунках наведено результати оцінки впливу світових та експортних цін на руду (рис. 5) та обсягів експорту з України (рис. 6). Динаміка зміни означених показників збіглася з тими, які проаналізовані нами раніше.

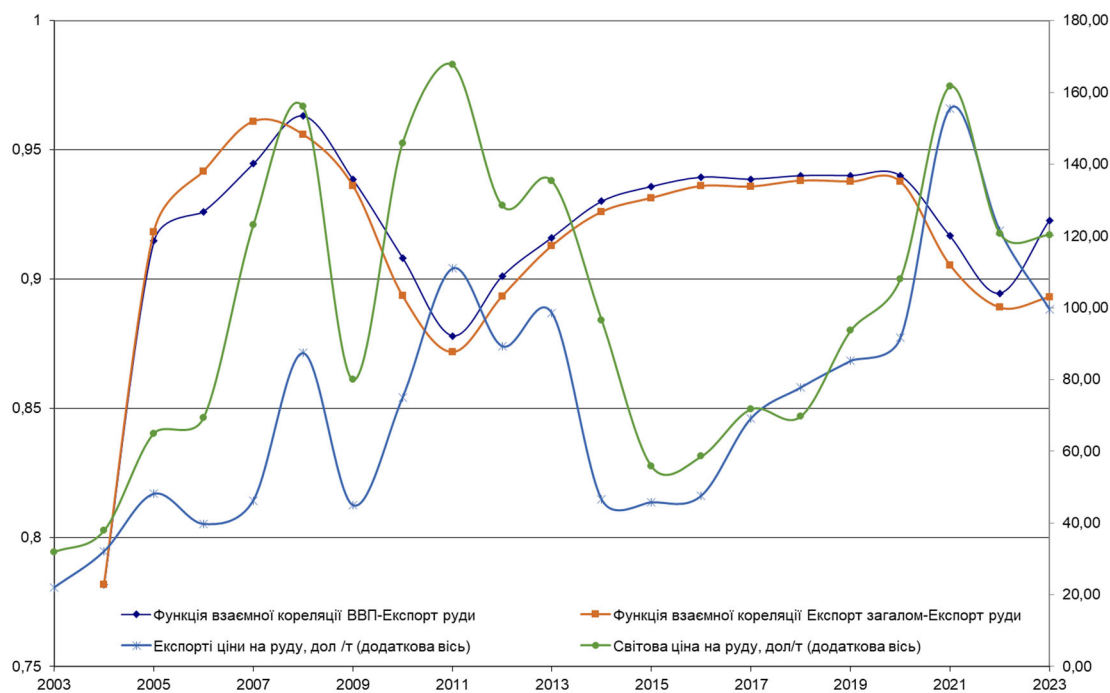


Рис. 5. Функції взаємної кореляції між ВВП та експортом руди, між експортом загальним та експортом руди й динаміка світових та експортних цін на руду

Окремо слід звернути увагу на те, що саме з 2017 р. експортні ціни української залізної руди вперше від початку аналізованого періоду практично зрівнялись зі світовими цінами, упродовж 2003–2016 рр. вони були нижчими за

світові. Це також можна вважати фактором позитивного впливу на результати 2017 р., проаналізовані вище. Надалі експортні ціни збігалися до 2022 р., у 2023 р. вони знов стали нижчими за світові.

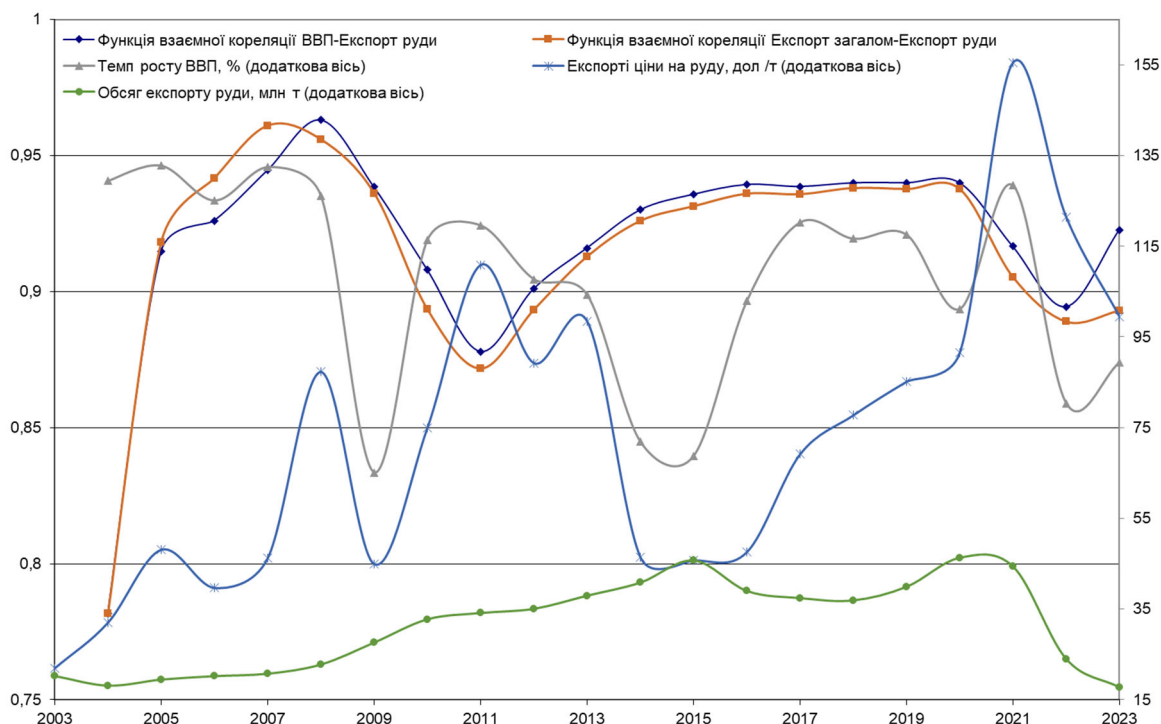


Рис. 6. Функції взаємної кореляції між ВВП та експортом руди, між експортом загалом та експортом руди, динаміка обсягів та експортних цін на залізну руду

Щодо ситуації у 2021 р., то як було зазначено вище, відбулось зростання експорту як у грошовому вимірі, так і в кількісному (за обсягами). Ціна експорту також була на світовому рівні.

Отже, як бачимо, Україна скористалась зростанням світових експортних цін на руду у 2021 р., що дало змогу забезпечити зростання економіки країни (темпи росту ВВП).

У 2022 р. внаслідок початку війни Україна не використала свій експортний потенціал. Незважаючи на деяке зниження світових цін, в 2022 р., якби була можливість експортувати залізну руду з України в обсягах попередніх років, у такий спосіб можна було б забезпечити валютні надходження і формування дохідної частини бюджету країни. Саме так і відбувалось у періоди попередніх криз. На жаль, обмеженість транспортних можливостей (блокування морських портів), призвело до ускладнення ситуації в економіці країни, оскільки одночасно суттєво скоротився й експорт сталі з України внаслідок транспортно-логістичних проблем та подальшої окупації частини території країни, де розташовані металургійні підприємства.

Отже, отримані результати підтвердили висунуту гіпотезу щодо ролі і значення залізничної галузі України для її економіки та впливу тенденції світового ринку залізної руди та ситуацію в галузі. Завдяки експортним потокам залізної руди існує можливість пом'якшувати вплив кризових явищ на економіку України. Щодо динаміки зміни цінних показників, то вони відповідають загальносвітовим тенденціям. Зазначені фактори створюють вплив, максимальний рівень якого спостерігається з певним часом відтермінуванням (два лаги – 4 та 8 років). Є всі підстави вважати 2021 р. початком нового лагового циклу.

У 2023 р. спостерігалось подальше скорочення видобутку залізної руди в Україні, одночасно обсяг експорту зріс, але не суттєво. Це знов-таки негативно вплинуло на загальноекономічну ситуацію у країні, оскільки на фоні низького рівня валютних надходжень від металургії, неможливості наповнення дохідної частини бюджету за рахунок інших галузей національного господарства внаслідок продовження війни, саме експортні можливості залізничної галузі змогли б покращити ситуацію.

Більшість експертів вважає, що ситуація на світовому ринку руди у 2023 р. була сформована завдяки Китаю. Саме у 2023 р. спостерігалось рекордне виробництво та експорт сталі Китаєм. Це певною мірою компенсувало наслідки європейської кризи цін на газ у 2021–2022 рр., і дало змогу у 2023 р. Китаю експортувати значні обсяги сталі за нижчими цінами. Як зазначає Telegraph, китайський експорт сталі у 2023 р. був еквівалентний сукупному виробництву Великої Британії, Німеччини, Франції, Італії та Іспанії.

Крім того, зріс внутрішній попит у Китаї на метал, завдяки збільшенню виробництва електромобілів (EV) до рекордного рівня саме у 2023 р. Це зростання компенсували зниження обсягів потреб у будівельній галузі Китаю.

Отже, як бачимо, в той час як світові ціни на залізну руду зростають, українські добувні підприємства, на жаль, вимушені скорочувати обсяги виробництва. Зокрема, Криворізький залізничний комбінат (КЗРК), що є найбільшим виробником агломераційної руди в Україні, у жовтні 2023 р. зменшив видобуток руди на 24,7 % порівняно з аналогічним місяцем 2022 р. – до 113 тис. т. Порівняно з вереснем 2023 р. у жовтні виробництво аглоруди на КЗРК впало на 16,3 %. За підсумками січня–

жовтня 2023 р. виробництво агломераційної руди знизилось на 28,3 % порівняно з аналогічним періодом попереднього року.

Щодо ситуації на світовому ринку залізної руди на початку 2024 р., то ціна в січні цього року, за оцінкою Світового банку, становила 135,82 дол за DMT. Порівняно з груднем 2023 р., коли ціна залізної руди сягала 137,050 дол за DMT, зниження становило 1,23 дол (-0,91 %). У січні 2023 р. ціна залізної руди становила 122,23 дол за DMT. Отже, ці дані свідчать про помірне зниження цін на залізну руду з січня 2023 по січень 2024 р., що вказує на потенційні зміни в глобальних економічних тенденціях.

Щодо прогнозів аналітиків на 2024 р., то очікується зростання цін на залізну руду. Зростання збережеться і

в першій половині 2024 р., а ціни на залізну руду, що перевозиться морем, повинні зрости до 150 дол/т. У середньому вони становитимуть 120 дол/т. Наступні очікування такі: у 2025 р. – 80 дол/т, у 2026 р. – 75 дол/т. Саме попит з боку Китаю суттєво впливає на рівень цін, проте очікується високий попит на залізну руду в Індії та Європі. В контексті очікувань провідних рейтингових агентств світу, ми також здійснили прогноз ситуації у залізгорудній галузі України з урахуванням тенденцій та очікувань світового ринку. На рис. 7 наведено результати аналізу експортних і світових цін на залізну руду та відповідні апроксимуючі криві.

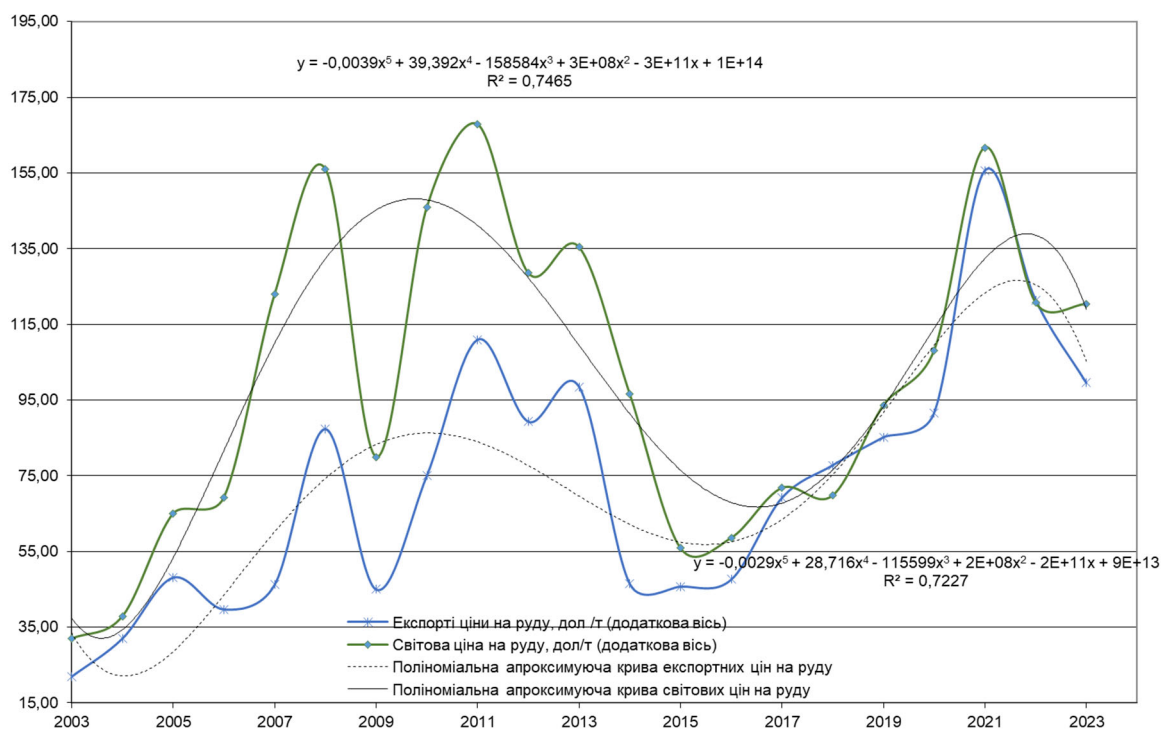


Рис. 7. Експортні та світові ціни на залізну руду та відповідні апроксимуючі криві

Як бачимо, в обох випадках прийнятним є опис за допомогою апроксимуючої кривої п'ятого ступеня. Щодо динаміки та рівня цін, то слід зазначити практично повний збіг тенденцій змін. Щодо рівня цін, то впродовж 2003–2016 рр. вони були нижчими за світові, з 2017 р. ситуація змінилась, ціни практично наздогнали світовий рівень, винятком став 2023 р., вони знов-таки стали нижчими за світові.

На рис. 8 наведено результати прогнозування обсягів видобутку залізної руди у світі та в Україні з урахуванням тенденцій 2003–2023 рр. Для України при прогнозуванні не були враховані показники 2023 р., оскільки спостерігалось суттєве скорочення (анормальне) видобутку внаслідок війни.

За показником видобутку також спостерігаються спільні тенденції, отже є всі підстави збільшити обсяги видобутку в Україні до 2027 р., відповідно до світових тенденцій з подальшим незначним зменшенням, відповідно до очікуваних тенденцій розвитку світового ринку.

Проведемо узагальнення щодо впливу найзначущих факторів на стан розвитку вітчизняної залізгорудної галузі. Отримані результати дають змогу зробити висновок, що ситуація після кризи 2007–2009 рр. певною

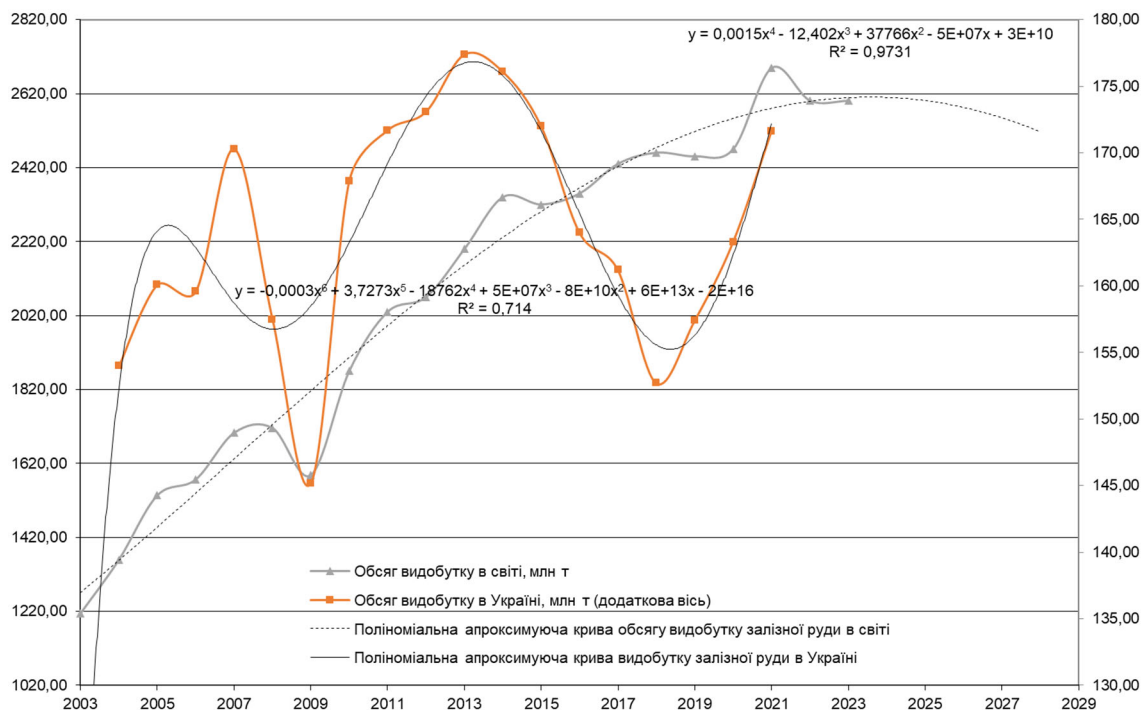
мірою схожа з тенденціями, які спостерігалися у 2022–2023 рр. Можна спрогнозувати, що наступне покращення ситуації в залізгорудній галузі України варто очікувати у 2024–2025 рр. (але з корегуванням на транспортні обмеження щодо експорту). Досягти очікуваних результатів можливо шляхом збільшення видобутку та експорту залізної руди на світовий ринок за світовими цінами. Такий сценарій є цілком вигідним для України, оскільки, як прогнозується, ціни на залізну руду у світі дещо знизяться, але несуттєво. Отже, експортна виручка знов-таки зможе, як і в часи попередніх криз, компенсувати недонадходження експортної виручки від інших галузей національного господарства, насамперед – металургійної, внаслідок війни, яка триває.

У разі відновлення виробничих потужностей металургії до довоєнного рівня можна буде повернутись до збалансованої моделі, яка була обґрунтована раніше (Горошкова, 2011), а саме узгоджувати обсяги видобутку залізної руди та коксівного вугілля (у т. ч. і його імпорт) з потребами металургії.

Щодо подальших шляхів оптимізації діяльності залізгорудної галузі, то слід звернути особливу увагу на тенденції розвитку ринку сталі ЄС, де у найближчі 10 років

прогнозується зростання потреби у сировині у вигляді заліза прямого відновлення (DRI) або гарячебрикетованого заліза (HBI).

За таких умов упродовж 10 років потрібно побудувати в Україні 20–25 стандартизованих установок з виробництва HBI або DRI залежно від обраної технології.



Певні напрацювання в цьому напрямку вже є. Так, група "Метінвест" приєдналася до урядової платформи "зеленого" відновлення металургійного сектору та вже інвестує у розробку проєктів із виробництва DRI в Україні та модернізацію виробничих потужностей для переходу на цю технологію.

Щодо технологічних можливостей, то вітчизняна магнетитова залізна руда придатна для збагачення до якості DRI та HBI за вже відомими технологіями. Отже, нові потужності дадуть змогу мати ще одну складову щодо експорту у країні ЄС.

Відповідний пілотний проєкт навесні 2020 р. було розпочато на Центральному ГЗК Метінвесту, планова річна продуктивність виробництві DR-котунів становить 2,3 млн т. Наступним мав бути Північний та Південний ГЗК. У липні 2021 р. Метінвест оцінював перспективне річне виробництво у 8 млн т заліза прямого відновлення та 12 млн т DR-котунів після проведення технологічної модернізації.

Аналогічне виробництво вже є в Україні. За підсумками 2022 р. Фергехро виробила до 6,05 млн т котунів, з них випуск DR-котунів із 67 % вмістом заліза сягав 353 тис. т.

Планами ЄС передбачено будівництво аналогічних потужностей загальною продуктивністю до 40 млн т до 2030 р. Отже, Україна має всі можливості інтегруватись на цей ринок і збільшити експортні можливості залізної рудної галузі.

Дискусія і висновки

Було проведено дослідження стану ринку залізної руди у світі та Україні. Виробництво сталі та видобуток руди є важливими для економічного розвитку багатьох країн світу. Оцінювання обсягів видобутку залізної руди у світі та цінової кон'юнктури ринку показало, що ситуація була стабільною впродовж досить тривалого часу, до

2005 р., у наступні роки спостерігались циклічні коливання, у тому числі і сезонні. Найбільшими експортерами залізної руди є Австралія, Бразилія, Канада, Південна Африка та Швеція, які забезпечують у середньому 85,2 % світових експортних продажів залізної руди. Щодо позицій України на світовому ринку залізної руди, то вона входить до десятки країн, які мають найбільші поклади заліза у світі – 6,5 млрд т руди.

Задля оцінки ситуації у залізничній галузі України було здійснено порівняння із загальносвітовими тенденціями починаючи з 2003 р. Отримані результати дали змогу дійти висновків, що з 2003 р. спостерігається кореляція між динамікою видобутку залізної руди у світі та в Україні. Щодо цінових характеристик, то наявні однакові тенденції щодо змін, але за абсолютними значеннями експортні ціни України є нижчими за світові.

Завдяки проведеному аналізу встановлено, що саме залізнична галузь є тією, яка компенсує втрати економік країн світу під час кризових ситуацій або допомагає їх подолати. З урахуванням цього досліджено взаємозв'язок між ВВП країни та обсягами експорту й експортними цінами на залізну руду. У дослідженні використано показники щодо номінального ВВП України впродовж 2003–2023 рр. в доларовому еквіваленті, що дало змогу зіставляти їх зі світовими показниками.

Доведено наявність кореляції між темпами зростання ВВП, експортними цінами на руду та їх світовим рівнем з використанням функції взаємної кореляції. Аналогічні результати отримано для взаємозв'язків між ВВП країни та експортом руди та між загальним обсягом експорту з України та експортною виручкою від продажу залізної руди. Зіставлення функцій взаємної кореляції з темпами зростання ВВП та експорту залізної руди показало, що експорт залізної руди суттєво впливає на стан економіки країни (ВВП) і фактично формує фінансові умови для

економічного відновлення країни після економічних криз. Максимальна ефективність підсилювального впливу спостерігалась на п'ятий рік після цього впливу за умови наявності ще одного максимуму темпів зростання (2004 та 2008 рр.). Наступний часовий лаг розпочався у 2011 р. і становив 10 років: упродовж нього спостерігались п'ять максимумів темпів зростання ВВП і експорту руди (2011, 2013, 2016, 2017, 2021 рр.). У першому випадку світова економічна криза призвела до зниження ефективності економіки та експортного потенціалу у 2009 р. та її відновлення у 2011 р. У другому випадку – криза внаслідок початку війни у 2014 р. і відновлення економічних показників у 2021 р.

Щодо ситуації з початком повномасштабної війни, то встановлено, що Україна не використала свій експортний потенціал унаслідок обмеженості транспортних можливостей (блокування морських портів). Ще призвело до ускладнення ситуації в економіці країни, оскільки одночасно суттєво скоротився й експорт сталі з України внаслідок транспортно-логістичних проблем та окупації частини території країни, де розташовані металургійні підприємства.

У 2023 р. спостерігалось подальше скорочення видобутку залізної руди в Україні з одночасним несуттєвим зростанням обсягу експорту. Це негативно вплинуло на загальноекономічну ситуацію у країні, оскільки на фоні низького рівня валютних надходжень від металургії, неможливості наповнення дохідної частини бюджету за рахунок інших галузей національного господарства внаслідок продовження війни. Отже, є всі підстави стверджувати, що експортні можливості залізної руди змогли б покращити економічну ситуацію в країні в найближчі роки.

У контексті очікуваних тенденцій на найближчі роки в Україні варто скористатись експортними можливостями задля підтримки економіки країни. Цілком зрозуміло, що це певною мірою призводить до виснаження ресурсів залізної руди, але в ситуації війни та потреб повоєнного відновлення країни слід погодитись на таку стратегію. В подальшому її доцільно буде скорегувати шляхом збалансування обсягів видобутку залізної руди та коксівного вугілля й обсягів виробництва металу в Україні.

Щодо подальших шляхів оптимізації діяльності залізної руди галузі, то слід звернути особливу увагу на тенденції розвитку ринку сталі ЄС, де у найближчі 10 років прогнозується зростання потреби у сировині у вигляді заліза прямого відновлення (DRI) або гарячебрикетованого заліза (HBI).

Подяки, джерела фінансування. Ця робота була підтримана грантом від Фонду Саймонса: Award ID: 1030285 (2023 рік). Proposal ID: 1290592 (2024 рік).

Lidiia HOROSHKOVA, DSc (Econ.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-7142-4308
e-mail: goroshkova69@gmail.com
National university of "Kyiv-Mohyla academy", Kyiv, Ukraine

Список використаних джерел

- Бодюк, А. В. (2013). Економіко-ресурсний аспект досліджень корисних копалин. *Формування ринкових відносин в Україні*, 12(151), 176–179.
- Горшкова, Л. А. (2011). Економічна циклічність розвитку металургійної та забезпечуючих галузей. *Економічний вісник університету: Збірник наукових праць учених та аспірантів: Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет ім. Г.Сковороди*, 17/2, 47–54.
- Довгий, С. О., Шестопапов, В. М., & Коржнев, М. М. та ін. (2007). *Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення*. Наукова думка.
- Коржнев, М. М., Михайлов, В. А., & Міщенко, В. С. та ін. (2006). *Основи економічної геології*. Логос.
- Лисенко, О. А. (2017). Геолого-економічна оцінка корисних копалин (актуальні питання й методичні аспекти). *Мінеральні ресурси України*, 3, 22–26.
- Лисенко, О. А., Василенко, А. П., & Костенко, М. М. (2017). Геологія рудних і нерудних корисних копалин – важливий напрям наукових досліджень Українського державного геологорозвідувального інституту. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*, 2, 20–32.
- Лустюк, М. Г., Дякон, В. М., & Петрина, М. Л. (2013). Математична модель оцінки запасів корисних копалин. *Науковий вісник НГУ*, 5, 5–10.
- Портал даних видобувної галузі України. (н.д.). https://eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/rudi-zalaza_2022/
- Примушко, С. І., Білошапська, Т. Д., & Величко, В. Ф. (2020). *Мінеральні ресурси України*. ДНВП "Державний інформаційний геологічний фонд України".
- Mineral Commodity Summaries. (2022). <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-iron-ore.pdf>.

References

- Bodiuk A. B. (2013). Economical-recourse aspect of researches of minerals. *Forming of market relations in Ukraine*, 12(151), 176–179 [in Ukrainian].
- Data portal of the mining industry of Ukraine. (n.d.). https://eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/rudi-zalaza_2022/
- Dovhyi, O. V., Shestopalov, V. M., & Korzhnev, M. M. et al. (2007). *Restructuring of raw mineral-material base of Ukraine and her dataware*. Naukova dumka [in Ukrainian].
- Horoshkova, L. A. (2011). An economic recurrence of development of metallurgical and provide industries. *Economic announcer of university: Collection of scientific works of scientists and graduate students of Pereiaslav-Khmelnytsky State pedagogical University*, 17/2, 47–54 [in Ukrainian].
- Korzhnev, M. M., Mykhailov, V. A., & Mischenko, B. S. et al. (2006). *Bases of economic geology. The manual for the students of geological specialties of higher educational institutions*. Logos [in Ukrainian].
- Lustiuk, M. H., Diakon, V. M., Petryna, M. L., & Lustiuk, M. H. (2013). Mathematical model of estimation of supplies of minerals. *Scientific announcer NGU*, 5, 5–10 [in Ukrainian].
- Lysenko, O. A. (2017). Geology–economical estimation of minerals (pressing questions and methodical aspects). *Mineral resources of Ukraine*, 3, 22–26 [in Ukrainian].
- Lysenko, O. A., Vasylenko, A. P., & Kostenko, M. M. (2017). Geology of ore and non-metallic minerals is important direction of scientific researches of the Ukrainian state geological survey institute. *Collection of scientific works of UkrSGRI*, 1–2, 20–32 [in Ukrainian].
- Mineral Commodity Summaries. (2022). <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-iron-ore.pdf>.
- Prymushko, S. I., Biloshapskoi, T. D., & Velychka, V. F. (Eds.). (2020). *Mineral resources of Ukraine*. State scientific and production enterprise the "State informative geological fund of Ukraine" [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 29.11.23

Прорецензовано / Revised: 18.03.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

FORECASTING THE DEVELOPMENT OF UKRAINE'S IRON ORE INDUSTRY AMID WAR AND POST-WAR RECOVERY OF THE COUNTRY

Background. Ukraine holds one of the leading positions in the world among producers of iron ore: seventh place in iron ore extraction and about 5 % of the world's production of iron ore products. Regarding the importance of iron ore for the country's economy, iron ore and steel together accounted for 30 % of Ukraine's exports in 2017, with iron ore comprising 6.3 % of the total export volume. With the onset of war, the situation has changed, thus the development of a strategy for the development of the iron ore industry in Ukraine under conditions of war and taking into account the tasks of post-war recovery of the country with consideration of principles of efficient management of the utilization and replenishment of Ukraine's resource base is a relevant task.

Methods. In the research process, general scientific (analysis and synthesis, induction and deduction, analytical grouping) and specific (abstraction, modeling, forecasting, statistical analysis, etc.) methods of studying phenomena and processes were used.

Results. The article explores the state of the iron ore market in the world and Ukraine. To assess the situation in the iron ore industry of Ukraine, comparisons were made with global trends. The obtained results led to the conclusion that since 2003, there has been a correlation between the dynamics of iron ore extraction in the world and in Ukraine. As for price characteristics, similar trends in changes exist, but Ukraine's export prices are lower than global ones in absolute terms.

The analysis revealed that the iron ore industry is the one that compensates for the economic losses of countries during crises or helps to overcome them. With this in mind, research was conducted on the relationship between the country's GDP and export volumes and export prices for iron ore and their global levels using correlation function. An economic-mathematical model was constructed, and the main influencing factors were identified.

The study examined the impact of full-scale war on the state of the iron ore industry and its export capabilities. In the context of expected trends in the coming years, it has been proven that there is a justification for increasing ore exports to support the country's economy. Forecasting of trends in the development of the domestic iron ore industry (iron ore extraction, country's export capabilities) under conditions of war, considering the expected prospects for the development of the global market, has been carried out.

Conclusions. The research demonstrates the key importance of the iron ore industry for the country's economy, including crises and overcoming their consequences. An economic-mathematical model of the industry's impact on the country's GDP, taking into account export flows, has been developed. This allowed forecasting the main parameters of the industry's development during wartime and post-war recovery of Ukraine.

Keywords: *iron ore, ore extraction, export, world ore prices, forecasting, modeling, gross domestic product.*

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The author declares no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

УДК 553.045

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.12>

Станіслав ЛИТВИНЮК, канд. геол. наук

ORCID ID: 0000-0003-3763-2100

e-mail: lytvyniuksf@gmail.com

Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

НОРМАТИВНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІНЕРАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ ДЕРЖАВНОГО ФОНДУ НАДР УКРАЇНИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Вступ. Зі становленням незалежності українська геологічна галузь більшою мірою успадкувала нормативну та методичну структуру й механізми, які були утворені в рамках економічних, соціальних та інших умов існування колишніх радянських республік. За часи незалежності в Україні відбулися фундаментальні зміни законодавства у сфері надрокористування та формування мінерально-сировинної бази. У контексті визначення передумов створення надійної системи управління мінеральними ресурсами актуальним є системний аналіз чинної нормативної бази, пошук її недоліків та створення ефективної політики інтегрованого управління мінеральними ресурсами.

Методи. Під час аналізу поточного нормативно-правового стану та його змін у минулому, було використано широкий комплекс досліджень, який включав загальнотеоретичні методи наукових і прикладних досліджень. Окрім загальнотеоретичних методів аналізу, статистики та систематизації, для досягнення постановленої мети проведено структурний аналіз нормативно-правової бази геологічної галузі.

Результати. Проведено узагальнювальний нормативно-правовий аналіз функціонування інституцій геологічної галузі. Визначено перелік установ і підприємств, які мають справу з геологічним вивченням, промисловим освоєнням, обліком, моніторингом та контролем, який пов'язаний з мінеральними ресурсами. У процесі дослідження встановлено інституційний взаємозв'язок "зацікавлених сторін" під час реалізації загальнодержавних програм, які формують головну стратегію управління державного фонду надр України.

Висновки. Комплексний аналіз регуляторної політики у сфері управління мінеральними ресурсами виявляє обставини, що потребують врахування під час оновлення та внесення змін до чинних стратегій. Створення ефективної системи управління мінеральними ресурсами можливе у рамках узгоджених цільових національних стратегічних програм. Функціонування та розвиток такої системи управління має вирішальне значення для досягнення збалансованого управління ресурсами в умовах швидкозростаючих потреб промисловості.

Ключові слова: геологічна галузь, мінеральна сировина, Держгеонадра, надрокористування.

Вступ

Постановка проблеми. Належне функціонування геологічної галузі та забезпечення геологічного вивчення надр залежить від організаційно-правової форми інституцій, що її утворюють, розподілу функцій і завдань у межах установ, організацій і підприємств, які їх утворюють. Тим не менш, зі становленням незалежності українська геологічна галузь більшою мірою успадкувала нормативну та методичну структуру й механізми, які були утворені в рамках економічних, соціальних та інших умов існування колишніх радянських республік. За часи незалежності в Україні відбулися фундаментальні зміни законодавства у сфері надрокористування та формування мінерально-сировинної бази.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням інституційного забезпечення геологічної галузі та проблематики мінерально-сировинного комплексу України присвячені наукові праці Д.С. Гурського (Гурський, 2008), М.М. Коржнева (Коржнев, Шеляг-Сосонко, & Яковлев, 2006), І.Д. Андрієвського (Андрієвський, 2011), С.А. Вижви (Вижва, Курило, & Балега, 2018), В.А. Михайлова (Михайлов, Загнітко, & Курило, 2017), Г.І. Рудька (Кирилюк та ін., 2019) та ін. У монографіях і наукових публікаціях цих авторів висвітлено напрями досліджень підходів та методів вивчення та формування мінерально-сировинного комплексу України, механізми державного управління у сфері надрокористування, перспективи подальшого розвитку та інші питання.

Методи

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Українська геологічна служба, як головна інституція геологічної галузі, неодноразово зазнавала структурних змін від виробничого об'єднання "Укргеологія" (до 1991), Державного Комітету України по геології і використанню надр (до 2001), Державної геологічної

служби (до 2004), Державного комітету природних ресурсів (до 2005), Державної геологічної служби (до 2011) до теперішньої Державної служби геології та надр України (далі – Держгеонадра).

В Україні впровадження раціонального, комплексного використання надр для задоволення виробничих потреб мінеральною сировиною, забезпечення охорони надр регулюється Конституцією України, Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища", Кодексом про надра, Гірничим законом України та іншими нормативними актами України, що розробляються відповідно до них.

На сьогодні, із врахуванням фінансового забезпечення геологічного вивчення та використання надр, динаміки змін регуляторного характеру, відсутності системної підготовки фахівців належного рівня, Україна перебуває на шляху перебудови й пошуку надійної моделі державного (національного) управління на принципах сталого розвитку.

Формулювання цілей статті. Метою статті є визначення передумов створення надійної системи управління мінеральними ресурсами, проведення системного аналізу чинної нормативної бази, пошук її недоліків і створення ефективної політики інтегрованого управління мінеральними ресурсами.

Результати

До структури геологічної галузі України входять всі установи та підприємства різних форм власності, які мають справу з геологічним вивченням, промисловим освоєнням, обліком, моніторингом і контролем, пов'язаним з мінеральними ресурсами. Структуру галузевих (державних) інституцій, у компетенцію яких входить управління та регуляторна політика щодо мінеральної сировини, у загальному вигляді наведено на рис. 1.

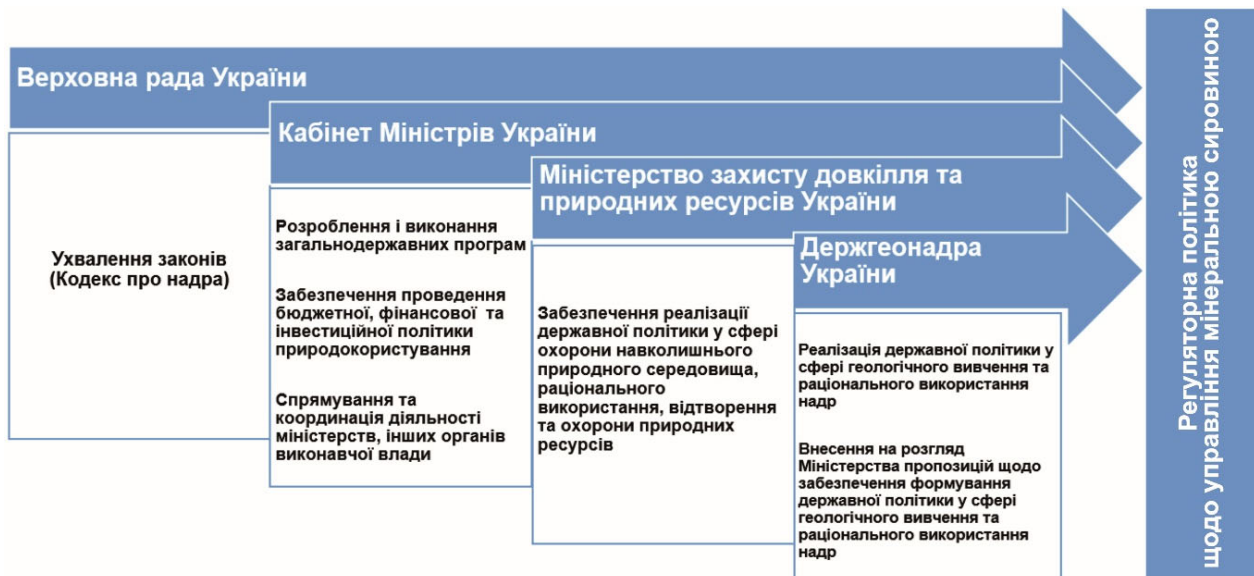


Рис. 1. Структура інституцій, у компетенцію яких входить регуляторна політика щодо управління мінеральною сировиною

Відповідно до законодавства центральним органом виконавчої влади, який реалізує державну політику у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр, визначено Держгеонадра, діяльність якої координується Кабінетом Міністрів України через Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів (далі – Міндовкілля).

У сферу управління Держгеонадра входять ряд державних підприємств (табл. 1), які здійснюють геологічне вивчення та інші види робіт, що спрямовані на розвиток мінерально-сировинної бази України.

Таблиця 1

Перелік державних геологічних підприємств та організацій, що належать до сфери управління Державної служби геології та надр України

Назва підприємства, установи, організації	Види та напрями діяльності
Державне науково-виробниче підприємство "Державний інформаційний геологічний фонд України"	Накопичення, облік, аналіз та управління (звітність, підготовка, пошук) геологічної інформації (звіти, протоколи, результати ГРР і т. ін). Формування каталогу відомостей про геологічну інформацію
Приватне акціонерне товариство "Національна акціонерна компанія «Надра України»": ДП НАК "Надра України" "Агрогеофізика" ДП НАК "Надра України" "Західукргеологія" ДП НАК "Надра України" "Чернігівнафтогазгеологія" ДП НАК "Надра України" "Центрукргеологія" ДП НАК "Надра України" "Укрнаукагеоцентр" ТОВ "Житомирбуррозвідка"	Управління підприємствами геологічної галузі і розвідки надр, задоволення потреб держави в нарошуванні мінерально-сировинної бази
Державне геофізичне підприємство "Укргеофізика"	Геофізичні дослідження території України, акваторії Чорного моря. Обробка та інтерпретація геолого-геофізичної інформації
Казенне підприємство "Кіровгеологія"	Геологічне вивчення на золото, рідкісні метали, графіт, будівельні матеріали (Український щит)
Державна комісія України по запасах корисних копалин	Проведення державної експертизи матеріалів ГЕО корисних копалин усіх видів корисних копалин і встановлення кондицій на мінеральну сировину
Державне підприємство "Українська геологічна компанія"	Геологічне вивчення та виконання геологорозвідувальних робіт на залізні руди, марганцеві руди, рідкісні метали, кам'яне вугілля, графіт, сірку, калійні солі, ртутні руди, золото, титан, хром, каоліни, фосфорити, апатит, бурштин, вогнетривкі і бентонітові глини, будівельні і облицювальні матеріали, підземні прісні і мінеральні води та інші
Державна організація "Київський геологічний центр"	Супровід геологічного контролю користування надрами
Державна організація "Південний геологічний центр"	Супровід геологічного контролю користування надрами
Державна організація "Північно-Східний геологічний центр"	Супровід геологічного контролю користування надрами
Державна організація "Західний геологічний центр"	Супровід геологічного контролю користування надрами
Державна організація "Східний геологічний центр"	Супровід геологічного контролю користування надрами
Державна організація "Чорноморська територіальна інспекція державного геологічного контролю за веденням робіт по геологічному вивченню та використанню надр"	Супровід геологічного контролю користування надрами

Під час реалізації своїх функцій Держгеонадра керується основними нормативно-правовими актами у сфері надрокористування та геологічного вивчення територій України: Кодексом України про надра; Гірничим Законом України; Законом України "Про нафту і газ"; Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища"; Законом України "Про газ (метан) вугільних родовищ"; Законом України "Про видобування і переробку уранових руд", Законом України "Про оцінку впливу на довкілля", Законом України "Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року", Законом України "Про забезпечення прозорості у видобувних галузях", Законом України "Про угоди про розподіл продукції", відповідними постановами Кабінету Міністрів України, наказами профільних міністерств та іншими нормативно-правовими актами.

Слід зазначити, що на сьогодні це неповний перелік нормативно-правових актів, які відображають регуляторну політику управління мінеральною сировиною. У зв'язку з адаптацією національного законодавства до нормативних норм Європейського Союзу відбувається розробка нових і корегування чинних шляхом внесення змін.

Значний вплив на формування нормативного поля управління мінеральними ресурсами мають міжгалузеві інституції (Міністерства, організації та установи), які мають дотичну нормативну та геологічну спеціалізацію повноважень:

- енергетичний сектор (НАК "Нафтогаз України", ДП "НАЕК «Енергоатом»");
- бюджетна політика, адміністрування податків і зборів (Міністерство економіки, Державна податкова служба);

- реалізація політики у сфері профільної освіти та науки (Міністерство освіти і науки, Національна академія наук, Вищі навчальні заклади);
- водні ресурси (Державне агентство водних ресурсів України);
- екологічна безпека (Державна екологічна інспекція);
- гірничий нагляд (Державна служба України з питань праці);
- інші інституції дотичних спеціалізацій.

Як видно з аналізу, регуляторне забезпечення управління мінеральною сировиною відбувається через комплекс взаємодій інституцій різної компетенції. Схематично таку взаємодію зображено на рис. 2. Відповідно до наділених законодавством функцій слід виділяти:

- Інституції загальнодержавного рівня – це уповноважені органи законодавчої і виконавчої влади, які на рівні нормативних актів (Конституція, Закон, Кодекс) здійснюють нормативні функції у сфері управління природними ресурсами (Верховна Рада України, Кабінет Міністрів України);
- Галузеві інституції – це уповноважені органи виконавчої влади, які на рівні підзаконних нормативно-правових актів (Положення, Постанова, Наказ, Розпорядження) забезпечують геологічне вивчення, раціональне використання надр та їх охорону (Міндовкілля, Держгеонадра).
- Міжгалузеві інституції спеціальної компетенції слід розглядати як допоміжні інституції;
- Надрокористувачі – суб'єкти господарювання різних форм власності, які у встановленому порядку здійснюють пошуки, геологічне вивчення, оцінку освоєння мінеральної сировини.



Рис. 2. Регуляторне забезпечення управління мінеральною сировиною інституціями різної компетенції

Розглянуті інституції як "зацікавлені сторони" мають певний рівень повноважень та юридичні й нормативні обов'язки щодо управління мінеральними ресурсами.

Їхня взаємодія в системі управління ресурсами має важливе значення та полягає у комплексному та збалансованому підході раціонального використання ресурсів.

В Україні діють кілька основних державних програм і рішень, які формують головну стратегію управління державного фонду надр України:

1. Головним документом, який визначає стратегічні орієнтири та напрями розвитку паливно-енергетичного сектору України на період до 2035 року (згідно зі змінами переглянуто до 2050 року), є схвалена Кабінетом Міністрів України "Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»". Показники, зазначені в документі, демонструють траєкторію розвитку енергетики та суміжних галузей. Метою Стратегії є забезпечення потреб суспільства та економіки в паливно-енергетичних ресурсах у технічно надійний, безпечний, економічно ефективний та екологічно прийнятний спосіб для гарантування поліпшення умов життєдіяльності суспільства (Енергетична стратегія..., 2017).

2. Для розвитку мінерально-сировинного комплексу єдиною чинною програмою є Закон України "Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року". Метою Програми є забезпечення України в мінеральних ресурсах за рахунок природного потенціалу, зменшення залежності від імпорту мінеральних ресурсів та збільшення експортного потенціалу країни за рахунок пошуку та освоєння мінеральної сировини, що мають стратегічну цінність на європейському та світовому ринку (Загальнодержавна програма..., 2011).

3. У 2021 р. Указом Президента України № 306/2021 введено в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16 липня 2021 р. "Про стимулювання пошуку, видобутку та збагачення корисних копалин, які мають стратегічне значення для сталого розвитку економіки та обороноздатності держави". Рішення передбачає комплекс регуляторних заходів щодо відновлення та створення сприятливих умов розвитку мінерально-сировинної бази стратегічно важливих корисних копалин (Про стимулювання..., 2021).

4. Управління водними ресурсами в Україні базується на концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми "Питна вода України" на 2022–2026 роки" та "Стратегії розвитку водної політики України". Метою Стратегії є підвищення рівня водної безпеки та скорочення до соціально прийнятної рівня водних ризиків, шляхом поетапного досягнення "Глобальної водної цілі" із забезпечення чистої води та належної санітарії для всіх (Концепція..., 2021).

Базові принципи, закладені у зазначені вище стратегічні програми, загалом відповідають критеріям спрямованого на досягнення цілей сталого розвитку, які прийняті всіма державами-членами ООН у 2015 р. в рамках порядку денного сталого розвитку 2030. Незважаючи на це, результати та ефективність реалізації стратегічних програм свідчать про потребу перегляду механізмів реалізації та створення відповідної підпорядкованої та узгодженої нормативно-правової бази.

Детальний аналіз регуляторної політики у сфері управління мінеральними ресурсами виявляє обставини, що потребують врахування під час оновлення та внесення змін до чинних стратегій, зокрема слід виділити такі:

1. Неузгодженість і розбалансованість регуляторної політики. Динамічна зміна законодавства, створення галузевих стратегічних і державних програм без узгодження на загальнодержавному рівні.

2. Слабке залучення науково-освітньої спільноти до фахового аналізу та методичних розробок, відсутність

прозорості комунікацій на національному та регіональному рівні.

3. Нерівномірний розподіл родовищ корисних копалин. Приуроченість родовищ корисних копалин до різних формаційних типів геологічного середовища, різних природно-кліматичних комплексів визначає формування специфічних природно-техногенних умов, пов'язаних із розробкою корисних копалин.

4. Інтенсивне використання та виснаження мінеральних ресурсів. Ці обставини вимагають прийняття збалансованих рішень на рівні управління щодо технологічних інновацій процесу отримання і переробки необхідного ресурсу (глибина переробки мінеральної сировини, додана вартість і т. ін.).

5. Дефіцит мінеральних ресурсів, які необхідні промисловому регіону, та їх надлишок в інших регіонах.

6. Ланцюги постачання ресурсів експортного та імпортного характеру потребують стратегічного перегляду з боку зацікавлених сторін.

7. Актуальними для України на сьогодні час є наслідки військової агресії з боку Росії та інші військово-політичні фактори.

Дискусія і висновки

За результатами проведених досліджень було системно проаналізовано теперішній нормативно-правовий стан і передумови розвитку системи управління мінеральними ресурсами державного фонду надр України. Нормативне та регуляторне забезпечення управління мінеральною сировиною відбувається через комплекс взаємодій інституцій різної компетенції.

Належне функціонування геологічної галузі та впровадження ефективного управління залежить від організаційно-правової взаємодії залучених (відповідальних) органів державної влади, установ та організацій, що її утворюють, розподілу функцій і завдань у межах установ, організацій і підприємств, які їх утворюють.

Аналіз регуляторної політики інституцій різних видів та поточного стану державного фонду надр України, виявляє обставини, що потребують врахування під час розробки та впровадження нової системи управління мінеральними ресурсами.

Дезінтеграція та "насиченість" регуляторної політики призводить до негативних наслідків. Орієнтованість на окремі напрями стратегічних програм, сектори галузі або різні види мінеральних ресурсів як на ізольовані елементи не сприяє прогресу у вдосконаленні використання цих ресурсів.

Впровадження ефективної системи управління мінеральними ресурсами, як інтегрованого стандарту взаємодії державного, державно-приватного партнерства та громадянського суспільства, можливе у рамках узгоджених цільових національних стратегічних програм. Створення та розвиток такої системи управління має вирішальне значення для досягнення збалансованого управління ресурсами в умовах швидкого зростаючих потреб промисловості та фінансів. Прогрес від лінійної до кругової економіки є важливим, як і забезпечення більш прозорого та справедливого соціального розподілу вигод від ресурсів. Такий підхід дасть змогу всебічно враховувати інтереси всіх зацікавлених сторін.

Список використаних джерел

- Андрієвський І. Д., Матюха В. В., & Мовчан М. Т. (2011). Сучасний стан і перспективи розвитку добувної промисловості України. *Мінеральні ресурси України*, 3, 8–14.
- Вижва С. А., Курило М. М., & Балєга А. В. (2018). Регіональні аспекти розвитку й відтворення вітчизняної мінерально-сировинної бази та способи їхнього фінансового забезпечення. *Мінеральні ресурси України*, 4, 12–17.

Гурський Д. С. (2008) Концептуальні засади державної мінерально-сировинної політики щодо використання стратегічно важливих для економіки країни корисних копалин. ЗУКЦ

Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року від 21 квітня 2011 року. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17>

Кирилюк О. В., Рудько Г. І., Ловинюков В. І., Григіль В. Г., Нецький О. В., Литвинюк С. Ф., Бала В. В., Курило М. М., & Ткаченко М. В. (2019). *Надрокористування в Україні*. Букрек.

Концепція Загальнодержавної цільової соціальної програми "Питна вода України" на 2022–2026 роки від 28 квітня 2021 р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/388-2021-%D1%80#Text>

Коржнев М. М., Шеляг-Сосонко Ю. Р., & Яковлев Є. О. (2006) Природно-ресурсний фактор у виборі моделі розвитку України. *Стратегічна панорама*, 3, 27–34.

Михайлов В., Загнітко В., & Курило М. (2017). Перспективи інвестицій в мінерально-сировинний комплекс України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(76), 47–51.

Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 липня 2021 року № 306/2021. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0046525-21#Text>

Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605 "Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»". <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>

References

Andriievskiy I. D., Matiukha V. V., & Movchan M. T. (2011) Current status and prospects of mining in Ukraine. *Mineral resources of Ukraine*, 3, 8–17 [in Ukrainian].

Vyzhva S. A., Kurylo M. M., Balega A. V. (2018). Regional aspects of the development and renewing of the domestic mineral and raw material base

and methods of their financial support. *Mineral resources of Ukraine*, 4, 12–17 [in Ukrainian].

Gursky D. S. (2008) *Conceptual foundations of the state mineral and raw materials policy regarding the use of minerals strategically important for the country's economy*. WUCC [in Ukrainian].

The national program for the development of the mineral and raw material base of Ukraine for the period up to 2030 from April 21, 2011 [in Ukrainian].

Kyryliuk O. V., Rudko G. I., Lovyniukov V. I., Hryhil V. H., Netskyi O. V., Lytvyniuk S. F., Bala V. V., Kurylo M. M., & Tkachenko M. V. (2019.) *Subsoil use in Ukraine*. Bukrek [in Ukrainian].

Korzhnev M. M., Shelyag-Sosonko Y. R., & Yakovlev E. O. (2006) The natural resource factor in choosing a development model of Ukraine. *Strategic Panorama*, 3, 27–34 [in Ukrainian].

The Concept of the National Targeted Social Program "Drinking Water of Ukraine" for 2022–2026 dated April 28, 2021 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/388-2021-%D1%80#Text/>

Mykhaylov V., Zagnitko V., & Kurylo M. (2017). Prospects of investments in the mineral and raw material complex of Ukraine. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Geology*, 1(76), 47–51 [in Ukrainian].

Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated July 23, 2021 No. 306/2021. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0046525-21#Text>

Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017 No. 605 "On the approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035 «Safety, energy efficiency, competitiveness»". <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>

Отримано редакцією журналу / Received: 12.03.24

Прорецензовано / Revised: 24.05.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Stanislav LYTUVNIUK, PhD (Geol.)

ORCID ID: 0000-0003-3763-2100

e-mail: lytvyniuksf@gmail.com

State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

REGULATORY PREREQUISITES FOR THE DEVELOPMENT OF THE MINERAL RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM OF THE STATE SUBSOIL FUND OF UKRAINE

Background. After the declaration of independence, the Ukrainian geological industry inherited regulatory and methodical structure and mechanisms that were formed within the framework of economic, social and other conditions typical for the former Soviet republics. Since then, fundamental changes occurred in the subsoil use legislation and the mineral and raw material base formation in Ukraine. In the context of determining the prerequisites for the development of the reliable mineral resource management system, the current regulatory framework analysis, the identification of its shortcomings and the development of an effective policy of integrated mineral resource management are quite relevant.

Methods. During the analysis of the current regulatory and legal situation and its changes in the past, a wide range of studies has been used, which includes general theoretical methods of scientific and applied research. In addition to the general theoretical methods of analysis, statistics and systematization, a structural analysis of the regulatory and legal framework of the geological industry has been conducted to achieve the set goal.

Results. A general regulatory and legal analysis of geological institutions' functioning has been performed. The list of institutions and enterprises dealing with geological study, industrial development, accounting, monitoring and control related to mineral resources has been determined. The institutional relationship of stakeholders has been established during the implementation of state programs that form the main management strategy of the state subsoil fund of Ukraine.

Conclusions. A comprehensive analysis of regulatory policy in the field of mineral resource management reveals circumstances that need to be considered when updating and introducing amendments to current strategies. The development of the effective mineral resource management system is possible within the framework of approved national strategic programs. The functioning and development of such management system is crucial for achieving balanced resource management in the face of rapidly growing industrial needs.

Keywords: geological industry, mineral raw materials, State Geological Survey, subsoil use.

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The author declares no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3:[553:546.296(477.42)]

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.13>

Сергій ШАРИКОВ, асп.
ORCID ID: 0009-0009-2847-2820
e-mail: s.sharikov@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Дмитро ЧОМКО, канд. геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0001-8454-5531
e-mail: Chomko@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

СУЧАСНИЙ СТАН ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ РОДОВИЩ МІНЕРАЛЬНИХ РАДОНОВИХ ВОД У МЕЖАХ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ УКРАЇНИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Радон – це радіоактивний хімічний елемент, який належить до категорії інертних газів. Лікування радоновими водами (для зовнішнього та внутрішнього використання) застосовується в різних точках світу (Австрія, Польща, Німеччина) вже понад 100 років. У медичній практиці в основному використовують радонові ванни, які добре знімають біль, розслаблюють, можуть нормалізувати тиск та зміцнити судини. У межах Житомирської області ще з радянських часів проводилися роботи з пошуку та оцінки родовищ мінеральних радонових вод. Розвідані родовища в межах Житомирської області потребують подальшого більш глибокого вивчення та систематизації, адже, враховуючи попит на мінеральні радонові води в "доповідний" час, прогнозуємо поступове відновлення попиту в повсякденні часи, включаючи також і медичний туризм.

Проведено аналіз фондів матеріалів з пошуку та оцінки мінеральних радонових вод у межах Житомирської області. Виконано систематизацію даних та вивчено якісні показники мінеральних радонових вод у розвіданих родовищах. На сьогодні на території України є багато медичних закладів, які надають фахову та спеціалізовану допомогу з використанням мінеральних радонових підземних вод. Можемо констатувати, що мінеральні радонові води є невід'ємною частиною лікувальної бази багатьох санаторіїв України (в м. Хмільник, Немирів, с. Дениші та ін.). У Житомирській області найвідомішим є Денишівське родовище мінеральних радонових вод, на базі якого функціонує санаторій "Дениші".

Потенціал розвитку більш детальних гідрогеологічних досліджень на вже розвіданих родовищах Житомирської області досить високий. Бальнеологічні властивості та хімічний склад підземних вод вивчені на сьогодні недостатньо. Це пояснюється тим, що в межах Житомирської області відбувається промисловий видобуток мінеральних радонових вод лише з одного родовища. Фінансування подальших геологорозвідувальних (геофізичних, геологічних, гідрогеологічних) робіт з пошуку і розвідки нових родовищ або в межах зон поширення мінеральних радонових вод є доволі перспективним.

Ключові слова: радон, газ, мінеральні радонові підземні води, Житомирська область, родовище, запаси.

Вступ

У статті розглянуто сучасний стан гідрогеологічного вивчення родовищ мінеральних радонових вод у межах Житомирської області України (Шаріков, 2023) як цінного бальнеологічного ресурсу для лікування і реабілітації хворих.

Радон – радіоактивний хімічний елемент, який належить до категорії інертних газів, це один з найрідкісніших хімічних елементів на Землі. Природно, радонові води утворюються при проходженні підземних вод крізь гірські породи з підвищеним вмістом урану і радію, зазвичай це кристалічні породи.

Вченими було доведено, що радон має здатність прискорювати обмін речовин, швидко відновлювати пошкодження в організмі, нівелювати запальні процеси, покращувати стан шкіряного покриву.

Зважаючи на збройну агресію РФ проти України, гостро постає питання реабілітації військових і цивільних осіб, що зазнали поранення та контузії. Одним з місць реабілітації можуть бути установи, які спеціалізуються на наданні послуг, пов'язаних із використанням мінеральних радонових підземних вод.

Слід відзначити, що пошукові та розвідувальні роботи в межах Житомирської області проводилися ще в минулому столітті. За часи незалежності не було виявлено чи розвідано нових родовищ мінеральних радонових вод. З усіх розвіданих родовищ в межах Житомирської області на сьогодні детально розвідано лише одне, яке працює на 58 % від початкової оцінки своїх запасів.

Тому проведення детальних геолого-економічних оцінок існуючих родовищ мінеральних радонових вод,

пошук і вивчення нових родовищ та їх бальнеологічних властивостей є важливою складовою накопичення та збагачення гідрогеологічної бази знань території, що досліджується, та відновлення людського потенціалу у сфері лікування.

Нині на території України не виходило узагальнювальних праць з розташування, бальнеологічного вивчення та детального аналізу мінеральних радонових вод у межах окремих областей. Фактично все зводиться до проведення геолого-економічної оцінки родовищ мінеральних радонових вод та публікацій окремих статей або монографій з цієї тематики.

Так, у статті (Білецька, 2008) наводяться узагальнені дані про рекреаційні ресурси мінеральних вод у межах Хмельницької області. Насамперед зазначається, що в межах області виявлено родовища із слабомінералізованими радоновими водами. Даний тип води виявлено на Полонському і Шепетівському родовищах. Розвідані й затверджені запаси радонових вод становлять 662 м³/д. За хімічним складом ці води слабомінералізовані і мало-мінералізовані й різного катіонного складу із вмістом радону 5–200 нКю/дм³.

У деяких роботах (Орлюк, Пархомец, & Струкова, 2018) наводиться пояснення зв'язку радонових і геомагнітних аномалій. Було доведено, що радонові аномалії продукуються радіоактивними елементами – ураном та торієм, які концентруються в радіоактивних мінералах, й запропоновано обґрунтування такого зв'язку. Частково було доведено, що одним з основних джерел радонових аномалій є альбітита та гранітоїди, які характеризуються мінімальними величинами намагніченості. Виходячи з

цього, підвищений вміст радіоактивних мінералів у цих породах та слабка намагніченість, поєднуючись із глибинними розломами та зонами тріщинуватості, в загальних рисах пояснюють зв'язок радонових і магнітних аномалій.

У деяких інших роботах наводяться узагальнені дані про радон та вміст цього компоненту у підземних водах. Розглядаються можливі джерела надходження радону в підземні води та ґрунти. Також є дані про можливий вплив радону на здоров'я людини: підвищений вміст радону – причина смертності людей від раку. Для прикладу, смертність у Сполучених Штатах від високого вмісту радону посідає друге місце після куріння, а для некурців – перше (за матеріалами сайту Департаменту охорони здоров'я штату Іллінойс) (Radon, н.д.).

У країнах Європи також проводяться систематичні дослідження зміни концентрації радону як у лікувальних установах, що їх використовують, так і власне джерел виходу підземних вод на денну поверхню. Так (Di Carlo et al., 2019), у Лаціо (Центральна Італія) було проведено систематичне дослідження концентрації радону в природних мінеральних джерельних водах. Метою цих робіт була оцінка вмісту радону в мінеральних джерельних водах та виявлення можливої шкоди здоров'ю населення. Автори зазначають, що відсоток відібраних мінеральних вод, що перевищують параметричний рівень 100 Бк/дм³, дорівнює 10 %. У висновках зазначається, що контроль якості мінеральних джерел має бути систематичним і досвід цих досліджень можна перенести на інші країни.

Природа створила безліч природних засобів для лікування різних захворювань, яке нині успішно використовує вітчизняна і зарубіжна медицина. Радон як хімічний елемент було відкрито майже століття тому. За цей час газ ретельно вивчили і почали застосовувати в медицині для лікування цілого ряду захворювань. Лікування радоновими водами не можна назвати новим інноваційним методом, але він надзвичайно ефективний і успішно застосовується вже понад 100 років.

Радонові ванни є м'яким протизапальним і болезаспокійливим засобом. Сьогодні радонові ванни, як правило, рекомендують людям із захворюваннями серцево-судинної та нервової систем, з патологіями опорно-рухової системи, із захворюваннями шкіри, області статевих органів, шлунково-кишкового тракту та цілого ряду інших захворювань. Радонова ванна, як один з видів можливих

процедур, добре знімає біль, розслабляє, знімає напругу, з її допомогою можна нормалізувати тиск, зміцнити судини, запустити регенеративні процеси по всьому організму. Дана процедура іноді призначається у профілактичних цілях.

У спеціалізованих лікувальних установах санаторного типу для лікування використовують розчин радону, який додають в підігріту до 35–40 °С воду. Такий розчин кожен санаторій або лікувальний центр визначає сам, залежно від концентрації радону в підземних водах. Хворого занурюють у ванну, і хімічний елемент поступово проникає в його шкіру та органи. Процедура триває близько 15 хвилин. Під час прийому мінеральних ванн на шкірі поступово відкладається радоновий незмивний наліт, який після надання лікувального ефекту буде виводитися з організму через легені в міру прогресування періоду напіврозпаду (напіввиведення).

Так, у статті (Pawlik-Sobecka, Górka-Dynysiewicz, & Kuciel-Lewandowska, 2021) наводяться дані про користь використання радонових ванн у межах курорту Пшеречин-Здруй, що в Польщі. Зазначається, що використання радоново-сульфідної води, яку застосовують у санаторно-курортній терапії, залежить від інтенсивності та типу подразників, реакції організму, наявності інших захворювань. Загалом використання та практична цінність застосування в масовій медичній практиці лікувальних радонових ванн потребує подальших клінічних досліджень, проте ефективність їх застосування – доведена.

Результати

У межах України пошуки і використання радонових вод почалися приблизно з 60-х років минулого століття на територіях Вінницької, Житомирської, Рівненської та інших областей. Розташування розвіданих родовищ наведено на рис. 1.

Перші, офіційно зареєстровані, пошукові висновки щодо радонових вод в межах Житомирської області датують 1972 р. "Отчет о комплексном исследовании минеральной воды скважины № 229 Довбышской больницы Житомирской обл. Украинской Советской Социалистической Республики (УССР). (Дзержинский район Житомирской области)". У результаті проведених досліджень було виявлено підвищений вміст радону у пробах води. На жаль, більш детальна інформація про проведені дослідження не збереглася.

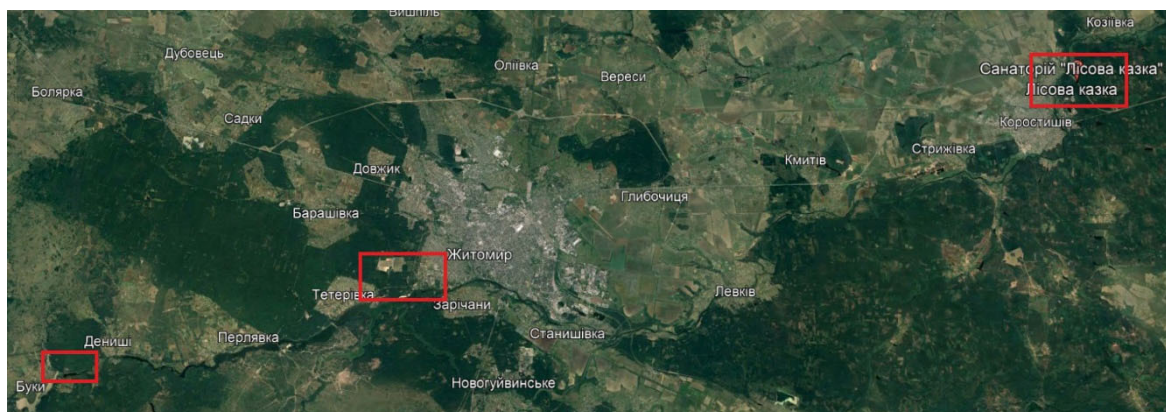


Рис. 1. Схема розвіданих родовищ мінеральних радонових вод у межах Житомирської області

У звіті (Левченко, Сморгчов, 1975) викладено результати пошуків мінеральних радонових вод у районі м. Житомир, виконаних гідрогеологічною партією Житомирської геологічної експедиції і геофізичної партією Київської комплексної геофізичної експедиції в 1973–1975 рр. Виконані

гідрогеологічні (пробурено 15 пошукових свердловин і проведено 50 бр/зм пробних і дослідних відкачок) і геофізичні дослідження дали змогу виявити перспективну ділянку, на якій можуть бути отримані мінеральні радонові води в необхідній кількості. Радонові води формуються в

зоні вивітрювання і тріщинуватості кіровоградських гранітів та їх мігматитів. У звіті дається опис геологічної будови і гідрогеологічних умов району робіт і ділянок, а також результати геофізичних і гідрогеологічних робіт і рекомендації щодо подальшого спрямування робіт на мінеральні води (Левченко, & Сморгчов, 1975).

У 1976–1978 рр. (Гаркуша, 1978) під час проведення досліджень виконано комплекс гідрогеологічних та геофізичних робіт: пробурено 18 свердловин, проведено відкачки. Ділянка робіт розташована в межах кристалічного масиву, район складений AR, PR, PR₂, MZ-KZ утвореннями. Обводненими є граніти, гнейси та мігматити PR₂, піски Q.

Об'єкт вивчення – підземні води кристалічних порід (PR₂). Потужність тріщинуватої зони в середньому 30 м. Вміст радону в підземних водах змінюється від 20 до 330 еман. Води прісні, гідрокарбонатні кальцієві. Виявлено і розвідано (протокол УТКЗ № 3923) експлуатаційні запаси мінеральних радонових вод в кількості 806 м³/д, у т.ч. А – 166 м³/д, В – 43 м³/д, С₁ – 497 м³/д (Гаркуша, 1978).

У 1978–1980 рр. (Гончаров, Пархомец, & Струкова, 1978–1980) були затверджені експлуатаційні запаси Денишівського родовища мінеральних радонових вод – Протокол Державної комісії по запасах (ДКЗ) СРСР від 30.01.1981 р. № 8695 у кількості по свердловинах. Затверджені запаси Денишівського родовища наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Затверджені запаси Денишівського родовища станом на 1980 р.

Тип води	Вміст радону, нКі/дм ³	Запаси по категоріях, м ³ /д		Свердловини
		А	В	
Слаборадоніві	22–24	100	–	1-РК
Слаборадоніві	25–27	32	–	2-РК
Дуже слабо радоніві	10–11	–	28	7-Р
Дуже слабо радоніві	10	–	90	8-Р

У 1988–1990 рр. І.П. Хоренко провів детальну розвідку мінеральних радонових вод у районі м. Житомир (Хоренко, 1990). Цільовим є водоносний горизонт тріщинуватих кристалічних порід нижнього протерозою. Було пробурено сім свердловин на кристалічні породи і одна на кору вивітрювання. Води горизонту напірні, глибина рівнів від +2,05 до 9,4 м. Основні показники якісного складу лежать у межах ГОСТу 2874-82 "Вода питна". Розвідані експлуатаційні запаси підземних вод (протокол УТКЗ № 4926) в кількості 148 м³/д (кат.В – 113 м³/д, С₁ – 35 м³/д) з концентрацією радону 17,8 нКі/дм³.

У 1993–1997 рр. було проведено попередню розвідку мінеральних радонових вод для санаторію "Лісова казка" в м. Коростишів Житомирської області (Корицький, 1998). Цільовим є водоносний горизонт тріщинуватих кристалічних порід нижнього протерозою. Основні показники якісного складу лежать у межах ГОСТу 2874-82 "Вода питна". Розвідані експлуатаційні запаси підземних вод у кількості 156 м³/д за категорію В з концентрацією радону 28,8 нКі/дм³.

Всі вищезазначені родовища на сьогодні не розробляються і, відповідно, сучасних бальнеологічних даних немає. Нині єдиним діючим родовищем у межах Житомирської області на затверджених запасах та з підтвердженою якістю мінеральних радонових вод відповідно до ДСТУ 42.10-02-96 "Води мінеральні лікувальні. Технічні умови" працює лише санаторій "Дениші". Слід відзначити, що до набуття чинності ДСТУ 42.10-02-96 вміст радону вимірювався у нКі/дм³, а вже після 1996 р. у Бк/дм³.

У 2017–2018 рр. головний гідрогеолог ТОВ "Гео-проф" С.І. Шаріков виконав роботу з геолого-економічної оцінки ділянки Денишівського родовища (свердловини № 1-РК) мінеральних радонових вод для зовнішнього лікування в Житомирському районі Житомирської області (Шаріков, 2018).

Родовище розташоване в Житомирському районі Житомирської області, у 2,5 км на південний захід від с. Дениші у межах аркушу масштабу 1 : 200 000 М-35-XVII (Житомир). Роботи було проведено по діючому водозабору, який фактично складається з однієї експлуатаційної свердловини № 1-РК, що функціонує з 1960 р. Продуктивний водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід архей-нижньопротерозою. Свердловина № 2-РК

не працює і в цьому звіті не фігурувала, свердловина № 7-Р – також не працює, але використовувалась як спостережна під час проведення дослідно-фільтраційних робіт на свердловині № 1-РК. Розташування свердловин наведено на рис. 2.

Свердловину № 1-РК пробурено у 1960 р., має глибину за паспортними даними 100,0 м, безфільтрова. За геофізичними даними, глибина свердловини на момент виконання робіт становила 40,6 м. Глибина статичного рівня – 7,1 м, при дебіті 1,67 дм³/с зниження рівня на 13,7 м. Свердловина обладнана глибинним насосом 4 SR 6м/13Р, який працює в автоматичному режимі. Для обліку води використовується лічильник води Rowogas 50.

Ділянка Денишівського родовища мінеральних радонових вод приурочена до водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід архей-нижньопротерозою. Параметри постійних кондицій для мінеральної радонової води були прийняті відповідно до довідки про кондиції.

У результаті проведених гідрохімічних досліджень встановлено, що за співвідношенням основних аніонів і катіонів підземні води водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід архей-нижньопротерозою належать до складного аніонного та різного катіонного складу. Для них характерна нейтральна-слаболужна реакція.

Вміст радіонуклідів у воді є для санаторію основним показником та визначався різними лабораторіями. У табл. 2 наводимо параметри постійних кондицій по свердловині № 1-РК.

Для оцінки експлуатаційних запасів ділянки Денишівського родовища мінеральних радонових вод гідрогеологічні параметри визначалися при проведенні дослідних робіт по свердловинах № 1-РК та 7-Р (спостережна).

Для обґрунтування і подальшого застосування фільтраційних схем було визначено і розраховано такі параметри водоносного горизонту: поширення водоносного горизонту по площі і на глибину, потужність водоносного горизонту і допустиме зниження рівня, експлуатаційне навантаження на свердловину № 1-РК, водопровідність, п'єзопровідність.

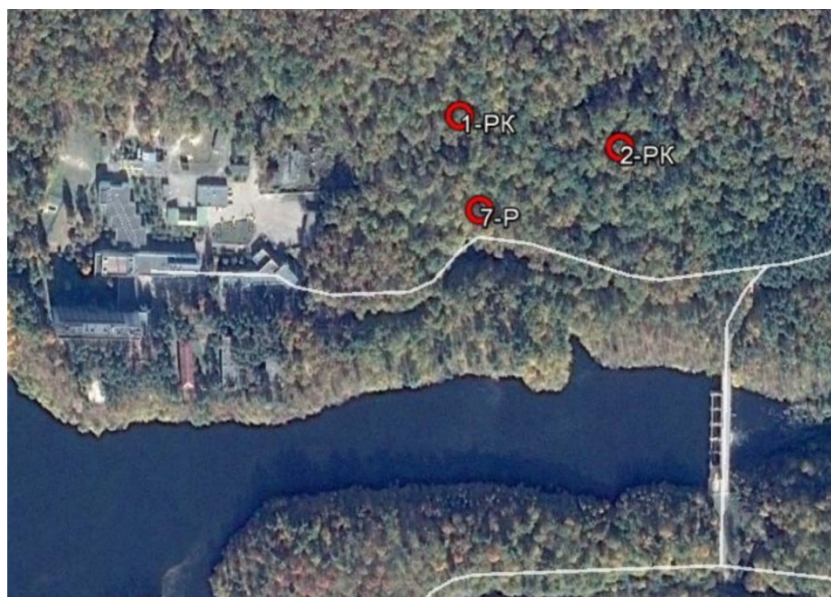


Рис. 2. Космоснімок розташування водозабірних свердловин ділянки Денишівського родовища

Таблиця 2

Параметри постійних кондицій Денишівського родовища свердловини № 1-РК

Мінералізація, г/дм ³	Основні іони, екв. %	Хімічний склад, мг/дм ³						Специфічні компоненти та сполуки
		HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	
0,2–0,8	HCO ₃ 40–70 Cl < 50 SO ₄ < 40 Ca 35–65 Mg 20–60 (Na+K) < 35	100,0–500,0	<150	<150	<150	<100	<100	Rn 185–500 Бк/дм ³ H ₂ SO ₃ 50–100 мг/дм ³

Водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід архей-нижньопротерозою є напірним. Відповідно до геофізичних даних вода тріщинами починає потрапляти у свердловину починаючи з глибини 31,5 м, що і було прийнято за допустиме зниження рівня. Відповідно до розрахунків має дотримуватись вимога $S_{\text{доп}} > S_p$ ($S_{\text{доп}}$ – допустиме зниження рівня води, S_p – розрахункове зниження рівня води).

Під час проведення дослідно-кущової відкачки (впродовж трьох місяців), дослідно-промислового видобутку ділянки Денишівського родовища утворилася відповідна гідродинамічна рівновага, гідродинамічні параметри комплексно характеризували всю водозбагачену товщу в зоні впливу роботи водозабору.

Родовище підземних вод належить до типу родовищ у тріщинуватих породах, не пов'язаних з поверхневими водами. Експлуатаційні запаси формуються за рахунок природних ресурсів водоносного горизонту та, частково, за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. У вертикальному плані водоносний горизонт є напірним.

Розрахунок виконано гідравлічним методом, який базується безпосередньо на використанні даних відкачки із свердловини або досвіду експлуатації діючого водозабору. Відповідно до розрахунків вимога $S_{\text{доп}} > S_p$ дотримується.

За складністю геологічної будови та гідрогеологічних умов формування експлуатаційних запасів ділянки Денишівського родовища (свердловина № 1-РК) мінеральних радонових вод для зовнішнього лікування в Житомирському районі Житомирської області віднесено до 3-ї групи, тобто до родовищ з дуже складними гідрогеологічними, водогосподарськими, еколого-гідрогеологічними і гірничо-геологічними умовами. За ступенем

техніко-економічного вивчення розвідані експлуатаційні запаси віднесено до першої групи.

Запаси було затверджено протоколом ДКЗ України № 4465 від 09.08.2018 р. у кількості А – 34,0 м³/добу, В – 111,0 м³/добу (разом А+В – 145,0 м³/добу) для зовнішнього застосування (Шаріков, 2018).

Дискусія і висновки

Як видно з результатів аналізу розвіданих та діючих родовищ, потенціал розвитку бальнеологічного туризму в межах України і, зокрема Житомирської області – високий. У даній статті висвітлено лише ті родовища, які виявлено на минулих стадіях пошуку. Нових родовищ у межах Житомирської області за часів незалежності не було знайдено і досліджено. Перспективним могло б бути фінансування геофізичних, геологічних та гідрогеологічних досліджень у межах зон поширення мінеральних радонових вод на базі вже виявлених родовищ.

Хімічний склад та бальнеологічні властивості підземних вод на сьогодні вивчені недостатньо. Фактично в межах Житомирської області відбувається промисловий видобуток мінеральних радонових вод лише з одного родовища.

На наш погляд, це питання потребує більш детального вивчення, тому що ретельний аналіз усіх родовищ радонових вод у межах Житомирської області та їх бальнеологічних властивостей може надати додатковий поштовх для розвитку рекреаційної та лікувальної інфраструктури нашої країни. Крім того, розвиток бальнеологічних санаторіїв на основі мінеральних радонових вод може стати ще одним дієвим кроком до повоєнної відбудови Української держави та надати дієву та ефективну допомогу у реабілітації поранених бійців та мирного населення, а також відновленні психологічного стану людей, постраждалих від війни.

Внесок авторів: Сергій Шаріков – концептуалізація, формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка); Дмитро Чомко – валідація даних, написання (перегляд і редагування).

Список використаних джерел

- Білецька, К. А. (2008). Рекреаційні ресурси мінеральних вод Хмельницької області. *Довкілля та здоров'я*, 4(47), 28–31.
- Гаркуша, А. П. (1978). Отчет о результатах предварительной и детальной разведки минеральных радоновых вод в районе г. Житомира, Житомирской обл. УССР за 1976–1978 г.г. Житомирська геологічна експедиція.
- Гончаров, О. Д., Пархомец, Н. И., & Струкова, Н. Е. (1978–1980). Детальная разведка минеральных радоновых вод Денешского месторождения (Житомирская область) с подсчетом эксплуатационных запасов, проведенной в 1978–1980 г.г. Гидрогеологическое управление "Укргеокаптажминвод".
- Корицкий, Б. Г. (1998). Предварительная разведка минеральных радоновых вод для санатория "Лісова казка" в г. Коростышеве Житомирской области. Державне геологічне підприємство "Севукргеологія".
- Левченко, А. С., & Сморгчов, Л. А. (1975). Отчет о результатах поисков минеральных радоновых вод в районе г. Житомира в 1973–1975 гг. (Житомирский р-н Житомирской обл. УССР). Житомирська геологічна експедиція.
- Орлюк, М. І., Марченко, А. В., Яцевський, П. І. (2018). Зв'язок радонових та геомагнітних аномалій території України. *Доповіді Національної академії наук України*, 5, 60–66. <https://doi.org/10.15407/dopovid2018.05.060>.
- Хоренко, І. П. (1990). Детальная разведка минеральных радоновых вод для санатория им. XX съезда КПСС в р-не г. Житомира (южная часть Корбутовского участка Житомирского месторождения). Житомирська геологічна експедиція.
- Шаріков, С. І. (2018). Геолого-економічна оцінка ділянки Денишівського родовища (свердловини №1-РК) мінеральних радонових вод для зовнішнього лікування у Житомирському районі Житомирської області. ТОВ "Геопроф".
- Шаріков, С. І. (2023). Вплив радонових вод на організм людини та гідрогеологічне вивчення родовищ мінеральних радонових вод в межах Житомирської області. *XIII Всеукраїнська конференція-школа "Сучасні проблеми наук про Землю" Київ, 12–14 квітня 2023 р.* (с. 60–63). http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/conf_univ_apr_2023.pdf
- Di Carlo, C. et al. (2019). Radon concentration in self-bottled mineral spring waters as a possible public health issue. *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-50472-x>
- Pawlik-Sobecka, L., Górka-Dynysiewicz, J., & Kuciel-Lewandowska, J. (2021). Balneotherapy with the Use of Radon-Sulphide Water: The Mechanisms of Therapeutic Effect. *Applied Sciences*. 11(6), 10.3390/app11062849. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/6/2849>
- Radon. (н.д.). Illinois Department of Public Health. <https://dph.illinois.gov/topics-services/environmental-health-protection/toxicology/indoor-air-quality-healthy-homes/radon-faqs>

References

- Biletska, K. A. (2008). Recreational resources of mineral waters of the Khmeltsky region. *Environment & Health*, 4(47), 28–31 [in Ukrainian].
- Di Carlo, C. et al. (2019). Radon concentration in self-bottled mineral spring waters as a possible public health issue. *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-50472-x>
- Garkusha, A. P. (1978). Report on the results of preliminary and detailed exploration of mineral radon waters in the area of Zhytomyr, Zhytomyr region of the Ukrainian SSR for 1976–1978. Zhytomyr geological expedition [in Russian].
- Goncharov, O. D., Parkhomets, N.I., & Strukova, N.E. (1978–1980). Detailed exploration of mineral radon waters of the Denesh deposit (Zhytomyr region) with the calculation of operational reserves, carried out in 1978–1980. Hydrogeological Department "Ukrgeokapтажminvod" [in Russian].
- Khorenko, I. P. (1990). Detailed exploration of mineral radon waters for the sanatorium named after the XX Congress of the CPSU in the district of Zhytomyr (the southern part of the Korbutivsky section of the Zhytomyr deposit). Zhytomyr geological expedition [in Russian].
- Koritsky, B. G. (1998). Preliminary exploration of mineral radon waters for the sanatorium "Lisova kazka" in Korostyshiv, Zhytomyr region. State geological enterprise "Sevukргеology" [in Russian].
- Levchenko, A. S., & Smorchkov, L. A. (1975). Report on the results of the search for mineral radon waters in the area of Zhytomyr in 1973–1975 (Zhytomyr district of the Zhytomyr region of the Ukrainian SSR). Zhytomyr geological expedition [in Russian].
- Orlyuk, M. I., Marchenko, A. V., & Yatssevsky, P. I. (2018). Correlation of radon and geomagnetic anomalies of the territory of Ukraine. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 5, 60–66 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/dopovid2018.05.060>
- Pawlik-Sobecka, L., Górka-Dynysiewicz, J., & Kuciel-Lewandowska, J. (2021). Balneotherapy with the Use of Radon-Sulphide Water: The Mechanisms of Therapeutic Effect. *Applied Sciences*. 11(6), 10.3390/app11062849. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/6/2849>
- Radon. (n.d.). Illinois Department of Public Health. <https://dph.illinois.gov/topics-services/environmental-health-protection/toxicology/indoor-air-quality-healthy-homes/radon-faqs>
- Sharikov, S. I. (2023). Impact of radon waters on the human body and hydrogeological study of mineral radon water deposits within Zhytomyr Region. *XIII All-Ukrainian Conference-School "Modern Problems of Earth Sciences" Kyiv, April 12-14, 2023.* (p. 60–63) [in Ukrainian]. http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/conf_univ_apr_2023.pdf
- Sharikov, S. I. (2018). Geological and economic evaluation of the section of the Denyshivske deposit (well No. 1-RK) of mineral radon waters for external treatment in the Zhytomyr district of Zhytomyr region. LLC "Geoprof" [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 13.12.23
Прорецензовано / Revised: 09.04.24
Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Sergii SHARIKOV, PhD Student
ORCID ID: 0009-0009-2847-2820
e-mail: s.sharikov@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Dmytro CHOMKO, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-8454-5531
e-mail: Chomko@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

CURRENT STATE OF HYDROGEOLOGICAL STUDY OF MINERAL RADON WATER DEPOSITS IN THE ZHYTOMYR REGION OF UKRAINE

Radon is a radioactive chemical element that belongs to the category of inert gases. Radon water treatment (for external and internal use) has been used in various parts of the world (Austria, Poland, Germany) for more than 100 years. In medical practice, radon baths are mainly used to relieve pain, relax, relieve tension, normalize blood pressure and strengthen blood vessels. Within the Zhytomyr region, since the "Soviet times", work has been carried out to search for and evaluate mineral radon water deposits. The explored deposits within Zhytomyr region require further deeper study and systematization, because, taking into account the demand for mineral radon waters in the "pre-water" period, we predict a gradual recovery of demand in post-war times, including medical tourism.

An analysis of stock materials for the search and evaluation of mineral radon waters within Zhytomyr region was carried out. The systematization of data was carried out and the quality indicators of mineral radon waters in explored deposits were studied. At the moment, there are many medical institutions in Ukraine that provide professional and specialized care using mineral radon groundwater. We can state that mineral radon waters are an integral part of the treatment base of many sanatoriums in Ukraine (sanatoriums in the cities of Khmilnyk, Nemyriv, the village of Denishi, etc.). In the Zhytomyr region, the most famous is the Denyshiv deposit of mineral radon waters, on the basis of which the "Denyshi" sanatorium operates.

The potential for the development of more detailed hydrogeological research of the already explored deposits of the Zhytomyr region is high. Balneological properties and chemical composition of underground waters have not been sufficiently studied at the moment. This is explained by the fact that industrial production of mineral radon waters takes place within the Zhytomyr region from only one deposit. Funding for further geological exploration (geophysical, geological, hydrogeological) work on the search and exploration of new deposits or within the limits of the distribution zones of mineral radon waters is quite promising today.

Keywords: radon, gas, mineral radon groundwater, Zhytomyr region, deposit, reserves.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

UDC 536.242+614.841.41

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.14>

Yuriy STARODUB¹, DSc (Phys. & Math.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-1947-7197
e-mail: yuriy.starodub@gmail.com

Borys MYKHALICHKO¹, DSc (Chem.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-5583-9992
e-mail: mykhalitchko@email.ua

Helen LAVRENYUK¹, DSc (Tech.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-4509-2896
e-mail: olaw@ukr.net

Olesia KOZIONOVA², Engineer
ORCID ID: 0000-0002-2563-8719
e-mail: rapakivi@ukr.net

Henryk POŁCİK³, PhD
e-mail: h.polcik@henrykpolcik.pl

Bohdan KUPLOVSKYI⁴, Phd (Phys. & Math.)
ORCID ID: 0000-0002-4221-5224
e-mail: bohdan_kuplyovsky@yahoo.com

¹L'viv State University of Life Safety, L'viv, Ukraine

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

³Foundry Research Institute, Kraków, Poland

⁴Subbotine Institute of Geophysics, L'viv, Ukraine

ENVIRONMENTAL GEO-INFORMATIONAL MONITORING SYSTEM FOR THE CIVIL AND FIRE SAFETY SERVICES OF UKRAINE

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Background. The purpose of the work is the development of a new ecological and geo-informational system for monitoring emergency situations, which allows quick predicting the consequences of various natural and man-made hazards at the stage of preventing their occurrence. This applies to possible cases of destruction on territories where there is a threat of flooding and, accordingly, the protection of coasts, structures, roads on mountain slopes, bridges, tunnels and dams built on soils with certain geological and geophysical characteristics, as well as the occurrence and spread of fires and pollution of air, water and soil with harmful substances associated with them.

Methods. To implement the methods, available and purchased licensed software is used, creating convenient algorithms for solving practical tasks of civil protection. Information processing based on the used software packages that allow quickly processing large amounts of information, reducing the level of poor processing and data distortion.

Results. An ecological and geo-informational monitoring system has been developed, designed to ensure the coordination of actions of civil and fire protection services in order to increase the efficiency of responding to emergency situations of natural and man-made origin.

By conducting experiments, model results were obtained, which make possible to theoretically calculate and determine the critical permissible stress-deformed states of the soil massif in the area of engineering structures, bridge structures, to warn about the possible destruction of the massif due to excess stress and deformation under the action of loads.

Proposed localization of fire-hazardous zones based on satellite data. As part of the developed system for space monitoring of forest fires, satellite information is used, in particular, the AVHRR radiometer of the Terra satellite. On its basis, a temperature map of the regions of Ukraine was formed.

Conclusions. The geo-informational monitoring system was created to prevent the risks of emergency situations (including the destruction of slopes, fires, etc.) using software products, creating databases for mapping potentially dangerous objects. Its application will make it possible to assess the consequences of possible emergency situations of a natural and man-made nature and minimize their negative impact on the environment.

The developed geo-information system can be used to coordinate the actions of civil and fire protection services, as well as increase the efficiency of emergency and rescue measures.

Keywords: geo-information system, natural and man-made hazards, stress-deformed state of soils, fire protection technologies.

Background

An updating and improving environmental geo-information monitoring system to prevent emergencies of a natural and man-made nature has always been one of the priority and promising global trends. Taking into account the current military realities of our country, where the number of emergency situations of various natures is steadily increasing, the use of environmental and geo-information monitoring systems by the civil protection services of Ukraine today is strategically expedient.

The practical value of the planned results of the project for the economy and society will consist in increasing the

level of safety of citizens in the field of civil defence and fire safety by using the geo-information monitoring system to solve existing environmental problems.

For the development of the technological base in the civil defence units of Ukraine, it is necessary to improve software products and monitoring systems that ensure the preservation and exchange of cartographic, hydrogeological, geophysical and other data necessary for making management decisions during forecasting and responding to emergency situations. Such monitoring should include an assessment of the effectiveness of emergency and rescue measures, and should be involved in

setting problems for the development and improvement of software products and technologies for their operation (Vyzhva, Vynnychenko, & Kendzera, 2008; Doltsinis, 2018; Starodub, & Havrys, 2018; Starodub et al., 2020).

To ensure reliable data exchange and the use of software methods and tools, in particular, the development and improvement of the geo-informational monitoring system, applied mathematical modelling forecast of natural and man-made dangerous threats is necessary, which together makes possible to increase the promptness of response and the effectiveness of eliminating dangerous situations. Taking this into account, there is a need to develop software methods and algorithms that, based on the use of field observations, will ensure the prediction of the consequences of emergency situations, including fires in the early stages of their discovery.

An important component of a state policy in the field of national security of any country is the protection of the population, industrial facilities, and national wealth from fires and their consequences. According to the monitoring report of the International Association of Fire and Rescue Services, in recent years in many countries of the world, including Ukraine, there has been a tendency towards the increase in the number of fires. This is due to a significant increase in temperatures, in particular in Ukraine, where the fire hazard situation is increasing due to global warming, which is especially noticeable in the summer months. This phenomenon can be seen on satellite images received at the Centre for Receiving and Processing Special Information and Control of the Navigation Field. Hence the need for satellite surveillance and monitoring of dangerous regions, especially in places where it is important to provide fire protection is necessary. The authors have previously carried out modelling and visualization of fires in space and time based on the method of spatial location of fire-hazardous zones (Havrys et al., 2023).

According to statistical data, more than 60,000 fires occur annually in Ukraine, as a result of which up to 5,000 people die and are injured, and direct and indirect material losses amount to tens of billions of dollars. Another reason for such dynamics is the rapid growth of industrial production and the use of polymer materials in various spheres of life. However, the safe use of epoxy polymers is possible only if the serious disadvantages inherent in these materials are eliminated, among which the main one is their significant fire hazard.

The creation of modern fire-resistant materials based on modified epoxy-amine composites allows solving the problem of fire protection of objects and structures to some extent. Therefore, the issue of creating a scientific basis for the development of a rational technology for obtaining metal-coordinated epoxy-amine composites with reduced fire hazard and predicting the behaviour of polymer materials based on them in fire conditions is extremely relevant (Lavrenyuk, Hamerton, & Mykhalichko, 2018; Lavrenyuk, Mykhalichko, & Parhomenko, 2019b; Lavrenyuk et al., 2020; Kochubei, Mykhalichko, & Lavrenyuk, 2022).

Another no less important task of the civil protection services is the ability to quickly assess the emergency condition of the object. Namely, in cases related to stresses and deformations of bridges, viaducts, sliding slopes of river banks, dams, etc., which may cause accidents. For this, it is important to determine the geological and geophysical parameters of the objects, in particular the available geometric and geophysical characteristics (Starodub, Havrys, & Kozionova, 2023a).

From the description of the current state of the problem, the goal and tasks of the project described in the article,

consist in the creation of an ecological and geo-informational monitoring complex (system) necessary to ensure reliable data exchange using software methods and tools, in particular, applied mathematical modelling for predicting the danger of natural and man-made hazardous objects, which will collectively increase the assessment of the results of operational rescue work.

Methods

Analysis and forecasting of emergency situations are carried out for prompt decision-making methods.

The development of a methodology to prevent the risks of environmental emergencies by the problems of civil protection in objects and on a national scale was carried out with hierarchical and relational access to information obtained.

The method includes the development of a new geo-information system that quickly predicts the consequences of natural and man-made emergencies at the stage of preventing their occurrence. It relates to possible cases of destruction in areas where a flooding threat is and requires protection of shores, constructions, roads on mountain slopes, built bridges, tunnels, and dams on soils with their geological and geophysical characteristics, as well as pollution of air, water, and soils by hazardous substances, and fires occurrence, etc.

In the process of the method implementation, existing and purchased licensed software (the main things are ArcGIS, ENVI, COMSOL programs) are used, and the necessary scripts are developed to use in software packages) to create convenient algorithms and solve practical problems of civil protection services.

In the case of developing layers of a geo-information system, the unique links between the data are expressed in separate layers, and in the case of supplementing such links by calling separate procedures, such layers represent the user interface. During the interactive procedure the interface moderator fills in the layers of connections between databases.

The geo-information system is created to prevent risks of emergencies (including origination of fires) using software products, in particular, the creation of databases for mapping high-risk objects, potentially dangerous objects, and water reservoirs serving as an aid in rapid response. This will contribute to the creation of orientation atlases using GPS receivers, route planning, control, track analysis, measurement, and calculations, as well as representation by users of the operational environment.

Results

Geoinformation system for monitoring initiated.

Previously, the authors proposed to create map layers by different users using the ARCGIS map editor specially designed scripts and the use of existing maps (Starodub et al., 2023c). The developments are based on the algorithm of data processing of remote sensing of the Earth using a set of software packages ARCGIS, ENVI, own development of scripts using the algorithmic language Python and programs for the packages used to process monitoring data and predict the consequences of natural and man-made emergencies.

The digital terrain model SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) is used. The digital model of the relief is obtained by radar topographic survey of the earth's surface. The model of the territory of Ukraine is selected based on data from the official CGIAR-CSI website. Terrain database digital data – the conversion of radar data into a digital terrain model are used based on CGIAR data.

On the website of the EarthExplorer, the organization USGS "U.S. Geological Survey" available for download are hypsometric data in ArcGIS format. In the process of

searching for data high-altitude data is allocated to the contours of the Ukrainian border, resulting in the SRTM model, which is presented in the database: the USGS site selects the area where it is possible to download data, to expand the list "Digital Elevation" and the SRTM terrain selected. The parts to be downloaded are selected and the necessary data is downloaded. The boundaries of regions, districts, endangered areas and other objects are obtained by creating a digital map in accordance with the technological scheme of creating digital maps based on raster maps.

To perform the described technology, the following sequence was followed: running routines (ArcMap, Catalog window), creating a folder to place the future map, copying data from a previously created DataBase folder to a folder with a future map. DataBase, which contains all the necessary and available information, makes the necessary signatures on the map (objects, symbols, indicate the scale, directions of the world of the study area) and saves (prints) information file with a map of the model of ecological and geophysical state of the territory.

Digital models of engineering structures are used.

The trend in the world is to solve problems related to emergencies at engineering facilities in the field of civil protection. At the same time, the task of civil protection services is to quickly assess the emergency condition of the facility. An important cause of accidents is the stress-strain state of the object. In such cases, which relate to stresses and strains concerning bridges, viaducts, landslide slopes of mountains and river banks, and dams, determination of the geological and geophysical parameters of objects, in particular, the existing geometric geophysical characteristics are important. Personal computers for calculating possible deformations and stresses in them are important (Starodub et al., 2018). The calculations are based on the theory and methodology of complex interpretation of geophysical monitoring data of dangerous geological and geophysical processes and modeling of objects by the finite element method. The approach comprises the model discretization of objects into separate rather small elements-particles in which deformations and stresses are modeled in element interaction. Digital models assess the endangered condition of objects (Lu et al., 2020; Moravej et al., 2019).

Thus, for a physical body consisting of particles with a given density, Young's modulus, Poisson's ratio; values of specific adhesion in the soil, the angle of internal friction, modeling in the environment depending on the influence of externally applied force on the object for the used Drucker-Prager model (Doltsinis, 2018) the state of the object is described as an equation finite element method:

$$KU = R,$$

where K is the stiffness matrix of the object, U is the vector of generalized displacement, R is the vector loads on the simulated object.

By conducting numerical experiments, model results are obtained, which makes it possible to theoretically calculate and determine the critical allowable stress-strain states of the soil mass in the vicinity of engineering structures, bridge structures, to prevent the destruction of the massif due to excess stresses and deformations under the action of loads.

An emergency situation for a soil massif with certain predetermined physical-mechanical characteristics is investigated, analyzed, localized and prevented (see fig. 1).

Information processing based on the above mentioned software packages makes it possible to quickly process large amounts of information, and reduce the level of poor processing and distortion of data.

The project analyzes methodological support of geological information systems, uses empirical research methods: predicting the possible consequences of floods and forecasting the spread of fires in the open and during man-made accidents, and as a consequence pollution due to emissions of hazardous substances and more.

As a result, the application of the proposed approach reduces the possible consequences of emergencies in the practical tasks of civil defense units.

Geoinformation technologies for fire risk assessment.

Data are analysed and correlated for seismic (including fires associated with the destruction of buildings and gas pipelines) and explosive hazard areas where construction sites associated with natural and man-made hazards, including forest plantations, are located, which can cause fires to start and spread. Relevant research is carried out to eliminate the risk of fires in seismically hazardous areas with a special geological structure. The maps take into account the fact that seismic activity in Ukraine is mainly observed in the Carpathian and Crimean-Black Sea regions. Seismic microzoning maps are used at the design stage of important engineering structures, especially those that cause great damage to the environment in abnormal situations. In this case, the maps show an increase in the seismicity of certain areas relative to the normative values for this territory. The increase can be positive or negative, and the sign and magnitude of the increase depend on local conditions: the composition and strength of sedimentary rocks, topography, and the presence of tectonic faults. Geological-seismic microzoning is the final stage of complex studies of the territory. Data from engineering geological studies, instrumental observations of seismic fields of earthquakes, data from macroseismic surveys of the consequences of earthquakes, explosions, natural and man-made microseisms are used to construct complete maps. The results of the works are mapped on a scale of 1:10000 – 1:25000. In the presence of engineering and geological conditions that are hostile in terms of increasing the seismicity of the territory, the intensity values may exceed the background values.

Any fires detected, immediately fire prevention measures need to be taken. In this case, the parameters of the fire must be determined very accurately, as separate centres of ignition are not considered fires. In the process of monitoring, the specifics of eliminating fires in small areas are determined by the promptness of detecting fire centres and taking priority measures to extinguish them.

The fires are monitored by means of satellites, unmanned aerial vehicles (UAVs) and instrumental ground-based methods. In particular, the seismicity of the territory of Ukraine and methods for detecting and assessing forest fires using data from artificial Earth satellites are described in (Starodub et al., 2023b; Svyrydenko, Babich, & Shvidenko, 1999). Due to the use of satellite monitoring to study the fire situation in the regions, the smallest fire area that can be detected by satellite means ranges from 20 to 30 hectares with a delay from 4 to 20 hours. In practice, for effective forest firefighting, the detected fire area should be less than 1 hectare, and the fire area at the time of extinguishing should be no more than 5 hectares, which is achieved by processing reports from observation posts and available instrument observations. At the same time, satellite information is used for space-based monitoring of forest fires, in particular, the AVHRR radiometer of the Terra satellite. Further, the results are obtained using UAVs and ground-based instruments.

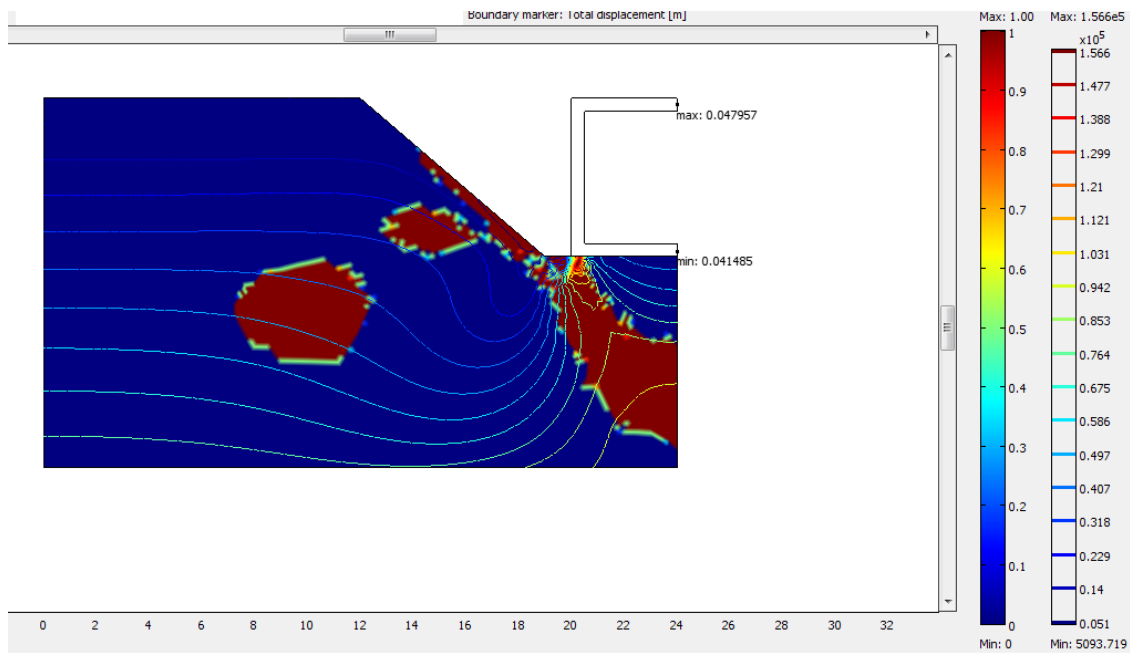


Fig. 1. An example of simulation of the stress-strain state at the pressure effect of $5 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ on the ground: left column – deformation, right column – stress with the same scale in horizontal and vertical directions

Fire risk areas localization using satellite data proposed. The Terra satellite's 5th-channel AVHRR radiometer is used to perform space-based monitoring of forest fires. The methodology for determining fires is based on the use of radiation estimation for the 3rd, 4th, 5th channels of the AVHRR radiometer, while fires are determined by the maximum value of energy registered by the 3rd channel of the radiometer. Smoke from fires is determined by the 1st and 2nd channels of the radiometer. For more accurate identification of fires, threshold algorithms are used, which make it possible to determine the radiation temperature based on the data of the 3rd and 4th channels. As a result, a temperature map of Ukraine was obtained (fig. 2) (Starodub et al., 2013).

An analysis of temperature zones in Ukraine shows that the risks of fires in seismically active areas are increasing, resulting in a much higher incidence of forest fires. Due to the high anthropogenic load, prevention of fire spread, organization of fire extinguishing and elimination of their consequences within the forest fund is carried out in accordance with the procedure established by the State Committee of Forestry of Ukraine. Detection of forest fires within the forest fund is carried out through a set of measures. These include the presence of ground-based observation points (towers, posts, structures suitable for monitoring), patrolling of territories by forestry and fire protection units, and organization of interaction between ground and aviation services.

In order to reduce material losses and preserve non-renewable forest resources, as well as to prevent the destruction of infrastructure facilities and structures due to the spread of fires, monitoring of the possibility of fires in such areas should be carried out on an ongoing basis. Therefore, in the process of localizing fires, an important factor is to take into account the rate of flame spread, which was obtained as a result of experimental and model studies and presented in the form of a nomogram to determine the number of forces and means required to overcome the consequences of fires.

Thus, the developed geographic information system for monitoring emergencies allows civil and fire services to

promptly inform about fires in natural ecosystems and at civilian facilities and buildings.

Preparation technology of composite materials with reduced combustibility. In order to minimize the negative consequences of emergencies, civilian and fire departments must use all the possibilities of protecting civilian objects from fire in the performance of real tasks. In this regard, the development of fire-retardant polymer composites should be considered as an engineered protection means that will reliably guarantee fire safety of civilian facilities and structures from the aggressive effects of flame.

To prevent the occurrence and spread of fires, metal-coordinated epoxy-amine composites with reduced fire risk have been developed. In addition, based on the obtained flame-retardant composite, a unique technology of fire protection of wood has been created, and wood sawdust (WS) composite material with reduced combustibility has been made.

The samples of flame retardant composites with reduced combustibility have been obtained (the direct interaction of appropriate anhydrous inorganic salt of CuSiF_6 with the curing agent of epoxy resins – polyethylenepolyamine (PEPA) and a binding agent – bisphenol A diglycidyl ether (DGEBA) (Lavrenyuk Parhomenko, & Mykhalichko, 2019a)). To obtain a functional composite material from wood sawdust (WS) with reduced combustibility ($\text{WS/DGEBA/PEPA-CuSiF}_6$), pre-dried pine sawdust is added to a previously prepared mixture of DGEBA, PEPA and CuSiF_6 . For comparison, the original composites without a flame retardant (DGEBA/PEPA and WS/DGEBA/PEPA) were prepared by mixing the appropriate ingredients (see Table 1).

In addition, the developed flame-retardant composite ($\text{DGEBA/PEPA-CuSiF}_6$) was applied to the surface of wood, and the fire-protective properties of this coating were tested.

The fire hazard of the obtained epoxy-polymer and wood-sawdust composite materials was assessed by flammability, that is, by the ability of the materials to burn and spread flames. The results of experimental measurements of fire hazard indicators confirm that samples containing 66 parts by mass of CuSiF_6 are more

resistant to burning – they can burn only when exposed to an open flame and stop burning immediately after the flame is removed (fig. 3).

After the tests, it can be stated that the samples of DGEBA/PEPA-CuSiF₆(66), as well as the developed wood-sawdust composite material WS/DGEBA/PEPA-CuSiF₆, belong to the highest fire resistance category – VP-0.

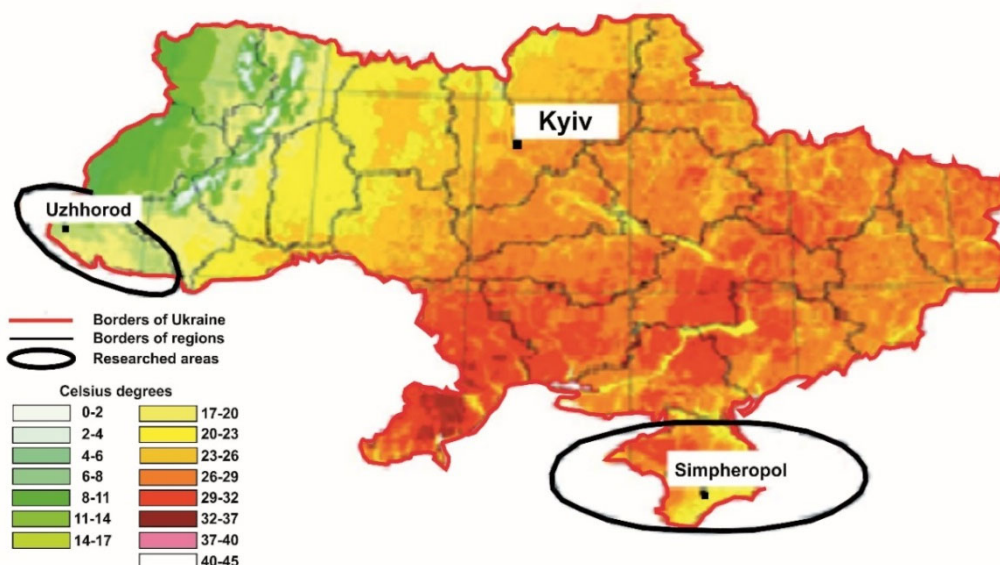


Fig. 2. Temperature map of Ukraine modelled according to satellite data from NOAA-16 on 2012, August 7

Table 1

Stoichiometry of flame-retardant composite materials

Composite	Ingredients (mass p.)			
	DGEBA	PEPA	CuSiF ₆	WS
DGEBA/PEPA	100	12	–	–
BA/PEPA-CuSiF ₆	100	12	66	–
WS/DGEBA/PEPA	100	12	–	20
WS/DGEBA/PEPA-CuSiF ₆	100	12	66	20



Fig. 3. The sample of the DGEBA/PEPA-CuSiF₆ after combustibility testing

Discussion and conclusions

The used environmental and geo-informational monitoring system allows to quickly identify and develop measures to eliminate natural and man-made emergencies even at the stage of their prevention. Existing and purchased licensed software was used to develop the monitoring system, which made it possible to create convenient algorithms for effectively solving practical tasks of the civil and fire-rescue services of Ukraine.

The ecological and geo-informational monitoring system should include the accounting of natural hazards and man-made loads, which will facilitate the statistical processing of data on emergency situations and fires, modeling of emergency situations in dangerous areas, as well as the study of processes of flooding, emissions and discharges of pollutants, etc. This will increase informativeness, efficiency, reliability and, as a result, the effectiveness of decision-making

for the elimination and prevention of threats of a natural and man-made nature.

To prevent the occurrence and spread of fires, special products based on metal-coordinated epoxy-amine composites and a unique wood fire protection technology have been developed, which can be used to protect infrastructure objects and structures from the aggressive influence of flames.

The developed geo-information system was tested in the Kyiv, Lviv, Ivano-Frankivsk, Transcarpathian regions for the coordination of the actions of civil and fire protection services and showed an increase in the effectiveness of emergency and rescue measures when using this technique.

In the future, it is planned to produce maps for the State Emergency Situations with the help of ARCGIS, ENVI, COMSOL, PYTHON software. The developed and tested geo-informational monitoring system will be transferred to the regions of Ukraine for use by the State Emergency Service.

Authors' contribution: Yuriy Starodub – project administration, conceptualization, formal analysis, writing (original draft); Borys Mykhalichko – data validation, writing (revision and editing); Helen Lavrenyuk – methodology, experimental studies; Olesia Kozionova – review of publications, writing (revision and editing); Henryk Polcik – formal analysis; Bohdan Kuplovskyi – data treating, formal analysis.

References

- Doltsinis, I. (2018). A note on the stiffness and flexibility natural approach to the training spring cell. *Engineering Computations*, 35(3), 1130–1139. <https://sci.idubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/11596>
- Kochubei, V., Mykhalichko, B., & Lavrenyuk, H. (2022). Elaboration, thermogravimetric analysis, and fire testing of a new type of wood-sawdust composite materials based on epoxy-amine polymers modified with copper(II) hexafluorosilicate. *Fire and Materials*, 46, 587–594. <https://doi.org/10.1002/fam.3008>
- Lavrenyuk, H., Hamerton, I., & Mykhalichko, B. (2018). Tuning the Properties for the Self-extinguishing Epoxy-amine Composites Containing Copper-coordinated Curing Agent: Flame Tests and Physical-mechanical Measurements. *Reactive and Functional Polymers*, 129, 95–105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2017.10.013>
- Lavrenyuk, H., Kochubei, V., Mykhalichko, O., & Mykhalichko, B. (2017). Metal-coordinated Epoxy Polymers with Suppressed Combustibility. Preparation Technology, Thermal Degradation, and Combustibility Test of New Epoxy-amine Polymers Containing the Curing Agent with Chelated Copper(II) Carbonate. *Fire and Materials*, 42(3), 266–267. <https://doi.org/10.1002/fam.2489>
- Lavrenyuk, H., Mykhalichko, B., Garanyuk, P., & Mykhalichko, O. (2020). New copper(II)-coordinated epoxy-amine polymers with flame-self-extinguishment properties: Elaboration water combustibility testing, and flame propagation rate measuring. *Fire and Materials*, 44, 825–834. <https://doi.org/10.1002/fam.2879>
- Lavrenyuk, H., Parhomenko, V.-P., & Mykhalichko, B. (2019a). The Effect of Preparation Technology and the Complexing on the Service Properties of Self-extinguishing Copper (II) Coordinated Epoxy-amine Composites for Pouring Polymer Floors. *International Journal of Technology*, 10(2), 290–299. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i2.66>
- Lavrenyuk, O., Mykhalichko, B., & Parhomenko, V.-P. (2019b). Fire retardant-hardener for epoxy resins and self-extinguishing epoxy-amine composite. Patent 118709 UA [in Ukrainian] [Лавренюк, О., Михалічко, Б., & Пархоменко, В.-П. (2019б). Вогнезахисний затверджувач для епоксидних смол і самозатухаючих епоксидно-амінних композитів. Патент 118709 UA].
- Lu, P., Xu, Z., Chen, Y., & Zhou, Y. (2020). Prediction method of bridge static load test results based on Kriging model. *Engineering Structures*, 214, 110641.
- Moravej, H., Chan, T. H., Nguyen, K. D., & Jesus, A. (2019). Vibration-based Bayesian model updating of civil engineering structures applying Gaussian process metamodel. *Advances in Structural Engineering*, 22(16), 3487–3502.
- Starodub, Y. P., & Havrys, A. P. (2018). Conceptual model of portfolio management project for territories protection against flooding. *MATEC Web of Conferences* 247, 00019 (2018). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824700019>
- Starodub, Y., Karaby, V., Havrys, A., Shainoga, I., & Samberg, A. (2018). Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. *Proc. SPIE 10783, Remote Sensing for Agriculture Ecosystems, and Hydrology XX, 107830P (10 October 2018)*. Event: SPIE Remote Sensing, 2018, Berlin, Germany. <https://doi.org/10.1117/12.2501928>. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie>
- Starodub, Y., Karpenko, V., Karaby, V., & Shuryhin, V. (2020). Mathematical Modeling of the Earth Heat Processes for the Purposes of Eco-technology and Civil Safety. *2020 IEEE 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2020*, 146–149, 9322009.
- Starodub, Yu., Havrys, A., & Kozionova, O. (2023a). Study of the stress-strain state of loaded bridge engineering soils buildings. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(102), 89–94 [in Ukrainian] [Стародуб, Ю., Гаврис, А., & Козіонова, О. (2023а). Вивчення напружено-деформованого стану ґрунтів навантажених мостоінженерних споруд. *Вісник київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(102), 89–94]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.102.12>
- Starodub, Yu., Kuplovsky, B., Brych, T., Havrys, A., & Yemelyanenko, S. (2023b). Computer simulation of natural and technological hazards and environmental-geophysical situations. "Rastr-7".
- Starodub, Yu., Mykhalichko, B., Havrys, A., Yemelyanenko, S., Kozionova, O., & Lavrenyuk, H. (2023c). Geology monitoring information system for the protection service in Ukraine. *Proceedings of the 17th International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 7–10 November 2023, Kyiv, Ukraine*, 1–5.
- Starodub, Yu. P., Kuplovskyi, B. E., Shelyukh, Yu. E., & Havrys, A. P. (2013). Localization of fire-hazardous areas using satellite data for seismically active zones of Ukraine. *Fire safety*, 23, 151–158 [in Ukrainian] [Стародуб, Ю. П., Купльовський, Б. Є., Шелюх, Ю. Є., & Гаврис, А. П. (2013). Локалізація пожежонебезпечних ділянок з використанням супутникових даних для сейсмоактивних зон України. *Пожежна безпека*, 23, 151–158].
- Svyrydenko V. E., Babich O. G., & Shvidenko, A. Y. (1999). Forest pyrology. Agropromvydav Ukrainy [in Ukrainian].
- Vyzhva, S. A., Vynnychenko O. B., & Kendzera O. V. (2008). The influence of natural and man-made processes on potentially dangerous objects. PPC "Kyiv University" [in Ukrainian]. [Вижва, С. А., Винниченко, О. Б., & Кендзера, О. В. (2008). Вплив природних і техногенних процесів на потенційно небезпечні об'єкти. ВПК "Київський університет"].
- Havrys, A., Yakovchuk, R., Pekarska, O., & Tur, N. (2023). Visualization of Fire in Space and Time on the Basis of the Method of Spatial Location of Fire-Dangerous Areas. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(2), 28–37. <https://doi.org/10.12912/27197050/156971>

Отримано редакцією журналу / Received: 22.12.23
Прорецензовано / Revised: 27.03.24
Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Юрій СТАРОДУБ¹, д-р фіз.-мат. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-1947-7197

e-mail: george_starodub@yahoo.com

Борис МИХАЛИЧКО¹, д-р хім. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-5583-9992

e-mail: mykhalichko@email.ua

Олена ЛАВРЕНЮК¹, д-р техн. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0003-4509-2896

e-mail: olaw@ukr.net

Олеся КОЗИОНОВА², інж.

ORCID ID: 0000-0002-2563-8719

e-mail: rapakivi@ukr.net

Генрик ПОЛЬЧИК³, д-р філософії

e-mail: h.polcik@henrykpolcik.pl

Богдан КУПЛЬОВСЬКИЙ⁴, канд. фіз.-мат. наук

ORCID ID: 0000-0002-4221-5224

e-mail: bohdan_kuplyovsky@yahoo.com

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

³Науково-дослідний інститут ливарного виробництва, Краків, Польща

⁴Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна, Київ, Україна

ЕКОЛОГО-ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ СЛУЖБ ЦИВІЛЬНОЇ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

Вступ. Метою роботи є розробка нової еколого-геоінформаційної системи моніторингу надзвичайних ситуацій, яка дає змогу оперативно прогнозувати наслідки різних природних і техногенних небезпек на етапі запобігання їх виникненню. Це стосується можливих випадків руйнування на територіях, де існує загроза підтоплення і, відповідно, захисту берегів, споруд, доріг на гірських схилах, мостів, тунелів і дамб, побудованих на ґрунтах з певними геолого-геофізичними характеристиками, а також виникнення і поширення пожеж і пов'язаного з ними забруднення повітря, води і ґрунту шкідливими речовинами.

Методи. Для реалізації методу використовується наявне та придбане ліцензійне програмне забезпечення, створення зручних алгоритмів для вирішення практичних завдань цивільного захисту. Обробка інформації на основі використаних програмних пакетів дає змогу швидко опрацьовувати великі обсяги інформації, зменшити рівень неякісної обробки та спотворення даних.

Результати. Розроблено еколого-геоінформаційну систему моніторингу, призначену для забезпечення координації дій служб цивільного та пожежного захисту з метою підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації природного та техногенного походження.

Шляхом проведення експериментів отримано модельні результати, що дають змогу теоретично розрахувати та визначити критично допустимі напружено-деформовані стани масиву ґрунту в районі інженерних споруд, мостових споруд, попередити про можливе руйнування масиву внаслідок перевищення напруги і деформації під дією навантажень.

Запропоновано локалізацію пожежонебезпечних зон за супутниковими даними. У рамках розробленої системи для космічного моніторингу лісових пожеж використовується супутникова інформація, зокрема радіометр AVHRR супутника Terra. На її основі сформовано температурну карту регіонів України.

Висновки. Геоінформаційна система моніторингу створена з метою запобігання ризикам виникнення надзвичайних ситуацій (у тому числі руйнування схилів, виникнення пожеж тощо) з використанням програмних продуктів, створення баз даних для картографування потенційно небезпечних об'єктів. Її застосування дозволить оцінити наслідки можливих надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та мінімізувати їх негативний вплив на довкілля.

Розроблена геоінформаційна система може бути використана для координації дій служб цивільної та пожежної охорони, а також підвищення ефективності аварійно-рятувальних заходів.

Ключові слова: геоінформаційна система моніторингу, природні і техногенні небезпеки, напружено-деформований стан ґрунтів, технології вогнезахисту.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

UDC 550.8

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.105.15>

Vitalii ZATSERKOVNYI¹, DSc (Techn.), Prof.
ORCID ID: 0009-0003-5187-6125
e-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com

Irina TSIUPA¹, PhD (Geol.),
ORCID ID: 0000-0002-8350-6685
e-mail: irynatsiupa@knu.ua

Hryhorii OSTAPENKO¹, Stud.
ORCID ID: 0000-0003-0042-7437
e-mail: grishakelvin@gmail.com

Mauro DE DONATIS², PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-9721-1095
e-mail: mauro.dedonatis@uniurb.it

Leonid ILYIN³, DSc (Geogr.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-4180-0544
e-mail: ilyinleo@ukr.net

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²University of Urbino Carlo Bo, Urbino, Italy

³Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine

ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF EARTHQUAKES IN TURKEY 06.02.2023 USING RADAR INTERFEROMETRY

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Background. The article studies the consequences of a series of earthquakes that occurred on February 6, 2023 in Turkey, which caused large-scale destruction and tens of thousands of victims, and became the deadliest in the world in the last 10 years. Research on the effects of earthquakes is important and can be used in emergency management and disaster recovery, to improve building standards, develop earthquake-resistant infrastructure, etc.

Methods. The study was performed using modern methods of remote sensing and geographic information systems. To quantify the surface displacement, we used the method of synthetic aperture interferometry (InSAR) based on Sentinel-1 satellite images in the SNAP application. To improve the accuracy of the results, the Goldstein filter was applied and the phase unwrapping was performed using the external Snaphu software module. To compensate for data distortion, terrain correction was performed using the Doppler terrain correction operator to make the geometric image as close to the real world as possible.

Results. The interferograms obtained before and after the earthquakes were analyzed. The results indicate significant surface deformations, especially in the area of the East Anatolian fault, with a maximum subsidence of 110 cm and more pronounced fault lines. The interferograms show that the earthquakes have caused significant changes in the fault structure, which may affect further seismic activity in the region. Diagrams and maps showing the impact of earthquakes on the surface and crust in the southeastern part of Turkey were constructed.

Conclusions. This study demonstrates the possibility of using InSAR technology to monitor the deformation of the earth's surface caused by recent earthquakes. The data obtained can be used to assess damage, identify risk areas, and develop measures to reduce seismic hazards.

Keywords: earthquake, Turkey, InSAR, Sentinel-1, deformation of the earth's surface, fault, seismic hazard.

Background

The consequences of an earthquake can be devastating, leading to significant loss of life and material damage, especially in cities. Observing damaged buildings is critical for emergency management professionals as it helps them quickly direct rescue teams to the right location (Menderes, Erener, & Sarp, 2015).

The southeastern region of Turkey and northwestern Syria is a seismic zone characterized by a classical model of earthquake formation, where tectonic plates converge along fault lines, pressure gradually increases and provokes repeated tremors (Liu, 2023). Seismic activity in this area is influenced by such large structures as the North Anatolian fault (NAF), the East Anatolian fault (EAF) and the zone of the Southeast Anatolian depression (SAF) (Fotiou, 2023). Also, the susceptibility to the formation of earthquakes in this region is confirmed by the location in the contact zone of the Eurasian, African and Arabian plates (Seyitoğlu et al., 2017). The neotectonics of Southeast Turkey, northern Syria and Iraq have been widely studied, the causes of seismic processes in the region are three main tectonic elements – the North and East Anatolian fault zones, as well as the Aegean-Cyprus arc that separates the Anatolian plate from the Eurasian, Arabian and African plates (Gürbüz, 2020).

According to the Turkey Department of Earthquakes (AFAD), a series of earthquakes with the largest magnitudes 7.7 and 6.6 occurred in Turkey on February 6, 2023, about 29–33 km south of Kahramanmaraş. These earthquakes occurred almost simultaneously (with a time difference of 10 minutes) at shallow depths (8.6 and 6.2 m, respectively). Seismic events have led to significant loss of life, destruction of infrastructure and caused a humanitarian crisis (Jia et al., 2023; Oduoye et al., 2023). The earthquake was the largest earthquake in Turkey since the 1939 Erzincan earthquake, indicating an increased risk throughout the region (Zhao et al., 2023). The earthquake was recorded by a large number of seismic stations, which gave a unique opportunity to study its characteristics and estimates of the destruction that occurred (Ding et al., 2023; Centre Sismologique Euro-Méditerranéen (CSEM)).

Problem Statement. Despite the great potential of remote sensing materials in the study of earthquakes at the beginning of the development of science, their use is limited mainly to structural-geological and geomorphological studies. These methods do not effectively measure short-term processes before and after seismic shocks.

Further development of remote sensing materials was associated with geophysical research. Over the past few

© Zatserkovny Vitalii, Tsiupa Irina, Ostapenko Hryhorii, De Donatis Mauro, Ilyin Leonid, 2024

decades, scientists have developed the ability to measure deformation on a centimeter scale by comparing satellite images taken at intervals of several days to several years. This ability has led to a significant increase in the percentage of the Earth's surface on which deformations and the frequency of such observations can be observed.

In the early 1990s, one powerful satellite method for estimating surface displacement became widely used – interferometric radar with a synthetic aperture (InSAR). Specifically, synthetic aperture radar (SAR) technology was used in the analysis of the aftermath of the 1999 Izmir earthquake in Turkey. SAR technology combined with interferometric coherence has been proposed to detect damage in buildings following the 1999 earthquake (Brunner, Lemoine, & Bruzzone, 2010). According to the authors, this technology can provide detailed descriptions of the consequences of the earthquake in Turkey in 2023, helping to assess the consequences of the destruction.

The aim of the work is to study the methods of remote sensing and geographic information systems of the consequences of a series of earthquakes in Turkey, in particular, to evaluate the existing methods of studying surface displacements that can be applied to this territory, to build diagrams and maps reflecting the impact of earthquakes on the surface and the earth's crust in Turkey. The conclusion of the work will be conclusions about the impact of earthquakes in the study area and analysis of risks that may be caused by tremors.

Analysis of recent researches and publications. The article (Bianchini et al., 2018) describes that InSAR, or synthesized aperture interferometric radar, is a technology that uses phase differences of two or more SAR images to measure the displacement of the Earth's surface to within centimeters and even millimeters (Bianchini et al., 2018). This method involves using complex satellite images of the territory obtained from different orbital positions and/or at different times to calculate the difference in distance to targets on the ground. The SAR signal phase is widely used to obtain information, and InSAR has been proven to be a valuable tool for mapping surface deformation with unprecedented spatial disparity (Bianchini et al., 2018).

The paper (Li et al., 2016) provides a comprehensive overview of the Sentinel-1 satellite mission developed by the European Space Agency (ESA), which revolutionized large-scale InSAR analysis through the use of C-band SAR images. Currently, the Sentinel-1 mission contains two satellites (S1A and S1B) launched in 2014 and 2016, respectively. These satellites serve as radar missions for InSAR applications, continuously collecting data in tectonic and volcanic areas around the world. In particular, the mission's ability to revisit the same site every 6-12 days meets the requirements of near-real-time global monitoring, enabling researchers to track geological processes with unprecedented frequency and accuracy.

The paper (Gaddes et al., 2018) notes that images from the Sentinel-1 satellite are used for synthetic aperture interferometric radar (InSAR) for almost real-time global monitoring. This is important for retrospective analysis and measurement of various phenomena, including earthquakes.

The time series analysis package of SAR interferometry with open code, LiCSBAS, integrates with the Sentinel-1 InSAR automated processor (COMET-LiCSAR) as described in the papers (Ghorbani et al., 2022; Dewanto, Setiawan, & Nusantara, 2020). These authors used Sentinel-1 satellite images to measure soil subsidence, climate change and other applications, including studying earthquakes.

A phase-deployment method was proposed in 2002 by Chen, & Zebker (2002) for synthesized aperture radar (SAR) interferograms. This method applies statistical segmentation and generalized network models to estimate unambiguous phase values from observed phase data, which are presented in the range of $-\pi$ to π . This method is main one for obtaining phase values from a two-dimensional phase array and converting phase values to standard units. The approach is to consider a larger interferogram as a mosaic of smaller interferograms (tiles) that can be unfolded sequentially. To solve the problem of combining tiles with a deployed phase, the authors propose a tile deployment scheme that extends the maximum posterior probability estimation system adopted by SNAPHU. The scheme is based on previously obtained models and develops a method for assembling individual unfolded tiles into the most probable full-size solution.

The work (Summerlin, 2022) describes the procedure for summarizing and drawing conclusions based on the technical part of the experiment to create InSAR data. The author suggests using the standard set of SnAP functions to convert the results of the deployed phase into real data in centimeters for subsequent export and layout using GIS. The paper describes the use of Doppler correction when working with the expanded phase and bringing the image from the IW band format to geographical coordinates, taking into account angular corrections.

The study (Barut, Trinder, & Rizos, 2016) aimed to apply InSAR, GNSS and Coulomb stress modeling to post-seismic deformation analysis after the earthquake in Izmit, Turkey, held on 17 August 1999. The authors sought to understand the long-term effects of the earthquake and its implications for the earthquake cycle. The study described that observations of InSAR and GNSS in the three months after the earthquake, combined with simulations of Coulomb stress change, may explain the expansion of the fault zone as well as the deformation of the Northern NAF region. It was also found that there was a strong correspondence between InSAR and GNSS results for post-seismic study steps, with differences of less than 2 mm and a standard deviation of differences of less than 1 mm.

The territory of reserach. On the territory of Turkey there are tectonic boundaries of large geotectonic blocks: Eurasian, Arabian and Anatolian plates (fig. 1). The process of accumulation of tectonic stresses and subsequent movements along the tectonic boundaries, primarily the East Anatolian fault caused the occurrence of earthquakes on February 6, 2023. The East Anatolian fault zone is a plate boundary extending 500 km between the Arabian and Anatolian plates. The relative movement of the plates occurs with a sliding speed in the range of 6 to 10 mm/year, which creates a high risk of a new earthquake in eastern Turkey. In the area of Gaziantep and Kahramanmarash, the predicted peak ground accelerations for a probable earthquake can be 0.2–0.4 g (g – gravity acceleration 9.81 m/s²), which correspond to a very destructive earthquake with an intensity of approximately 8–9 points. This is also evidenced by the map of the distribution of earthquake risks in the Middle East (fig. 2) (Korkmaz, 2009).

The East Anatolian fault, which is an intra-continental transform fault, is located in the Eastern Mediterranean region. Together with the right-sided North Anatolian fault, it contributes to the movement of the Anatolian microplate to the west. The fault is a complex left-sided landslide that separates the microplate from the Arabian Plate (Dal Zilio, & Ampuero, 2023).

Methods

InSAR is a method by which the phase difference of two or more SAR images is used to calculate the difference in range from two SAR antennas, which have slightly different geometry of vision, to targets on the ground. As a result, we

get the value of the displacement of the surface for the given period exactly to centimeters. InSAR results provide an opportunity to evaluate deformations associated with faults, cracks and subsidence.

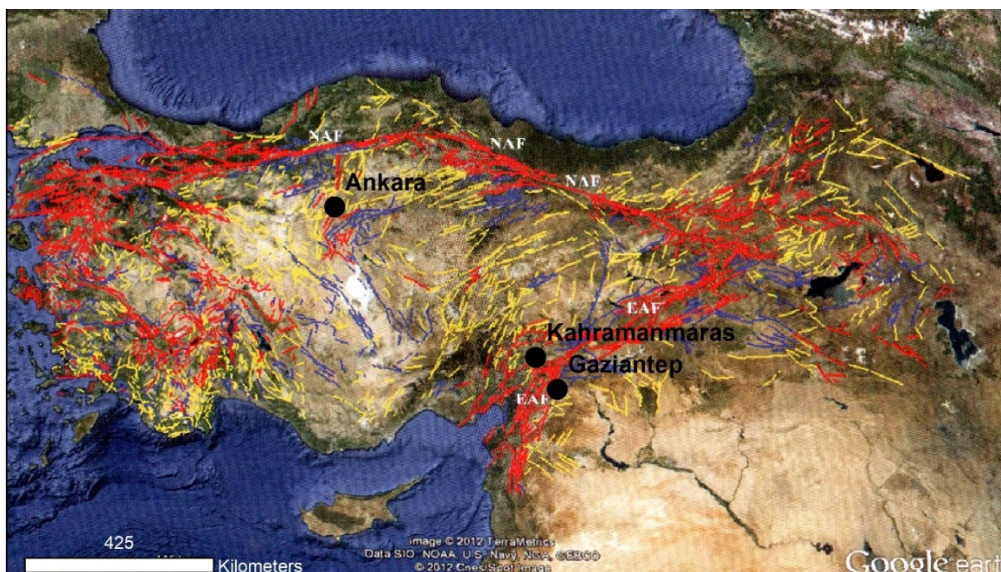


Fig. 1. Active fault map of Turkey by Kaymakci (Engineering Seismology, 2015).

Red represents active faults with seismic potential, yellow represents faults with capability to have seismic potential, blue represents faults with probability to have seismic potential. NAF – the North Anatolian right-lateral strike-slip fault zone. EAF – the East Anatolian left-lateral strike-slip fault zone

Distribution of earthquake risks in Turkey

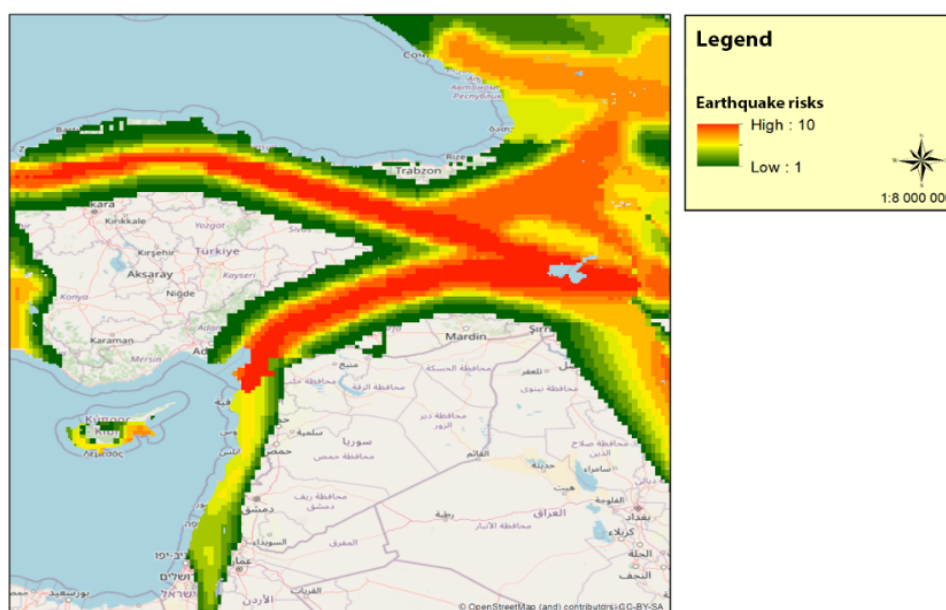


Fig. 2. The distribution of earthquake risks In Turkey (Korkmaz, 2009)

Radar, an abbreviation for radio detection and range determination, involves the transmission and reception of microwave electromagnetic radiation with frequencies in the range of approximately 108–1011 Hz and corresponding wavelengths of about 1–1000 mm (Rüeger, 2012).

The research utilizes Sentinel-1 data obtained from the Copernicus Open Access Hub, specifically focusing on the interferometric wide (IW) mode with a spatial resolution of 5 m by 20 m and polarized in VV+VH. This mode is the primary overland acquisition mode for Sentinel-1, covering

a range of 250 km. The references provide valuable insights into the capabilities and applications of Sentinel-1 data (Nägler et al., 2015).

The Sentinel-1 satellite provides radar images in two directions: ascending and descending. These images differ in geometry and final characteristics, including the direction of the Doppler shift. In ascending mode, the Doppler shift is positive, indicating an increase in the frequency of the radar signal as the satellite approaches the target and a decrease as it moves away from it. Conversely, in the downshift mode,

the Doppler shift is negative, the radar signal frequency decreases as the satellite approaches the target and increases as it moves away (Moiseev et al., 2020; Karbou et al., 2021; Fan et al., 2023).

A Doppler shift is a change in frequency or wavelength relative to an observer that is moving relative to a wave source. In the context of InSAR imaging, Doppler terrain correction is necessary to account for geometric parameters of the InSAR system, including baseline length and slope, and to correct for atmospheric signal associated with terrain. Range Doppler Terrain Correction implements a Doppler terrain correction method for geocoding SAR images from two-dimensional raster radar geometry. It uses available information about the orbit state vector in metadata, radar time annotations, tilt-to-ground conversion parameters together with reference DTM data to obtain accurate geolocation information (Wang et al., 2023).

The use of terrain correction in InSAR imaging is particularly important because it corrects geometric distortions caused by topographic variations that can significantly affect the accuracy of the final image. Given the terrain and atmospheric effects, Doppler relief correction

ensures that the InSAR image accurately reflects the features of the observation surface, which leads to more reliable results in applications such as topographic mapping, monitoring of soil deformation, and detection of changes in the environment (Wang et al., 2023).

The S-1 uses three predefined subbands in IW mode (IW1, IW2 and IW3), reaching a coverage of 250 km in the transverse direction. To do this, it uses advanced SAR scanning terrain observation technology (TOPSAR). This allows for electronic beam control in both the rangefinder and azimuthal directions, ensuring the same image quality over the entire range and avoiding jagged images (Yague-Martinez et al., 2016). TOPSAR is designed to replace ScanSAR mode and provide an almost uniform signal-to-noise ratio (SNR) and distributed target ambiguity ratio (DTAR) (Yague-Martinez et al., 2016). The IW TOPSAR mode provides highly accurate and nearly uniform responses when images are co-recorded, eliminating flaws that reduce the azimuth antenna emission pattern seen by the ground target. In addition, the IW mode supports single and double polarization operation, covering a range of incidence angles from 31 to 46 degrees (Ouaadi et al., 2021).

Table 1

Characteristics of satellite data Sentinel-1 (Prats-Iraola et al., 2015)

Parameter	Interferometric Wide-swath mode (IW)
Polarization	Dual (HH+HV, VV+VH)
Access (angles of incidence)	31°– 46°
Azimuth mismatch	<20 m
Ground Range Mismatch	<5 m
Azimuth and range view	Single
Strip	>250 km
Maximum NESZ	–22dB
Radiometric stability	0.5 dB(3σ)
Radiometric accuracy	1 dB (3σ)
Phase Error	5°

After loading Sentinel-1 data into the SNAP application, a number of steps must be taken to create an interferogram. These actions are represented by the following program tools: Apply Orbit File, Back-Geocoding, Enhanced Spectral Diversity, Interferogram, and TOPSAR-Deburst.

Apply Orbit File – Auxiliary orbit data contains information about the position of the satellite when receiving SAR data. They are automatically loaded for Sentinel-1 SNAP products and added to their metadata using the Apply Orbit File statement.

Back Geocoding – The reverse geocoding tool S-1 jointly registers two separated products based on the orbit information added in the previous step and information from the digital altitude model (DEM) that SNAP loads.

Enchanted Spectral Diversity is a method proposed to solve the problem of azimuthal displacement caused by misalignment of Sentinel-1A/B data in the process of monitoring large-scale deformations. This method uses spectral diversity for the overlap region between TOPS data packets and involves two stages of joint data registration: initial joint registration based on geometry and subsequent joint registration using ESD. The main goal of ESD is to achieve a co-registration accuracy of about 0.001 pixels to limit the azimuthal shift to several degrees (Wang, Xu, & Fialko, 2017).

The interferogram is formed by cross-multiplying (formula 1-4) the reference image by the complex conjugation of the secondary image. The amplitude of both images is multiplied and the phase represents the phase difference between the two images. The interferometric phase of each pixel of the SAR image will depend only on

the difference in paths from each of the two SARs to the disparity cell under observation.

$$\varphi = \varphi_{DEM} + \varphi_{flat} + \varphi_{disp} + \varphi_{atm} + \varphi_{noise} \quad (1)$$

$$\varphi_{flat} = -\frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{B_n \cdot s}{R \cdot \tan \theta} \quad (2)$$

$$\varphi_{DEM} = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{B_n}{R_0} \cdot \frac{\Delta \varphi}{\sin \theta} \quad (3)$$

$$\varphi_{disp} = d \cdot \frac{4\pi}{\lambda} \quad (4)$$

Accordingly, the calculated interferogram takes into account the flat earth phase φ_{flat} (curvature of the earth), topographic phase φ_{DEM} (topographic surface of the earth), atmospheric conditions φ_{atm} (change in humidity, temperature and pressure between the two gains) and other noise φ_{noise} (change in scatterers, different viewing angle and volume scattering), and finally possible surface deformation φ_{disp} , which occurred between the two preparations (Vrankić, Grgić, & Bašić, 2022). TOPSAR-Deburst is a function for merging individual IW image strips into one.

The interferometric phase most often contains noise and distortion from temporal and geometric decorrelation, bulk scattering and other processing errors. Phase information in the de-correlated regions cannot be recovered, but the quality of the bands present on the interferogram can be improved by applying specialized phase filters such as the Goldstein filter to improve the signal-to-noise ratio.

$$H(f_x, f_y) = S\{[Z(f_x, f_y)]^a * Z(f_x, f_y)\}, \quad (5)$$

where f_x and f_y respectively represent the spatial frequencies in the range and azimuth α is the filter parameter, $Z(f_x, f_y)$ represents the Fourier spectrum of each filtering window, and $S\{\cdot\}$ is the smoothing operator that is

usually achieved with a low-pass filter. Spots are defined as small windows of an interferogram with overlap to maintain continuity at the boundaries. The α parameter, taking the value in the range [0, 1], indicates the desired level of efficiency of the filtering operation. For $\alpha = 0$, we have $H(fx, fy) = Z(fx, fy)$, which means no filtering (Feng et al., 2016).

In order to relate the interferometric phase to the topographic relief on the interferogram, the phase difference between adjacent pixels is integrated, allowing the actual relief changes to be measured (Matano, 2019). The phase deployment required for this process is typically performed using external software such as SNAPHU, which uses a network flow algorithm to find the most likely expanded values. In addition, the interferometric phase is derived on the basis of first-order MNCs using adaptive window size, and the interferogram is pre-processed by filtration to eliminate strong noise that can cause serious errors (Sun et al., 2020).

Two-dimensional phase unfolding is the process of recovering unambiguous phase data from a two-dimensional array of phase values known only modulo 2π rad. SNAPHU is an implementation of the statistical cost algorithm and network flow for phase deployment proposed by Chen and Zebker (2002). This algorithm sets

the phase deployment as a maximum posterior probability (MAP) estimation problem, the purpose of which is to calculate the most probable deployed solution from the observed input data. Since the statistics that relate the input data to the solution depend on the measured quantity, SNAPHU contains three built-in statistical models: for topography data, deformation data, and smooth general data (Chen et al., 2018).

An important step in determining the amount of soil deformation is to quantify the results of the expanded phase as a total displacement. The expanded phase represents the cumulative phase difference between SAR images and needs to be converted to an offset value for further analysis. To do this, the pixel equation is used, which takes into account the delta phase and the wavelength of the sensor, to calculate the total displacement in meters.

Results

This research will analyze and study the territory (fig. 3) of southeastern Turkey, the area through which the East Anatolian Fault passes – a large fault zone that forms a transform-type tectonic boundary between the Anatolian Plate and the northward-moving Arabian Plate.

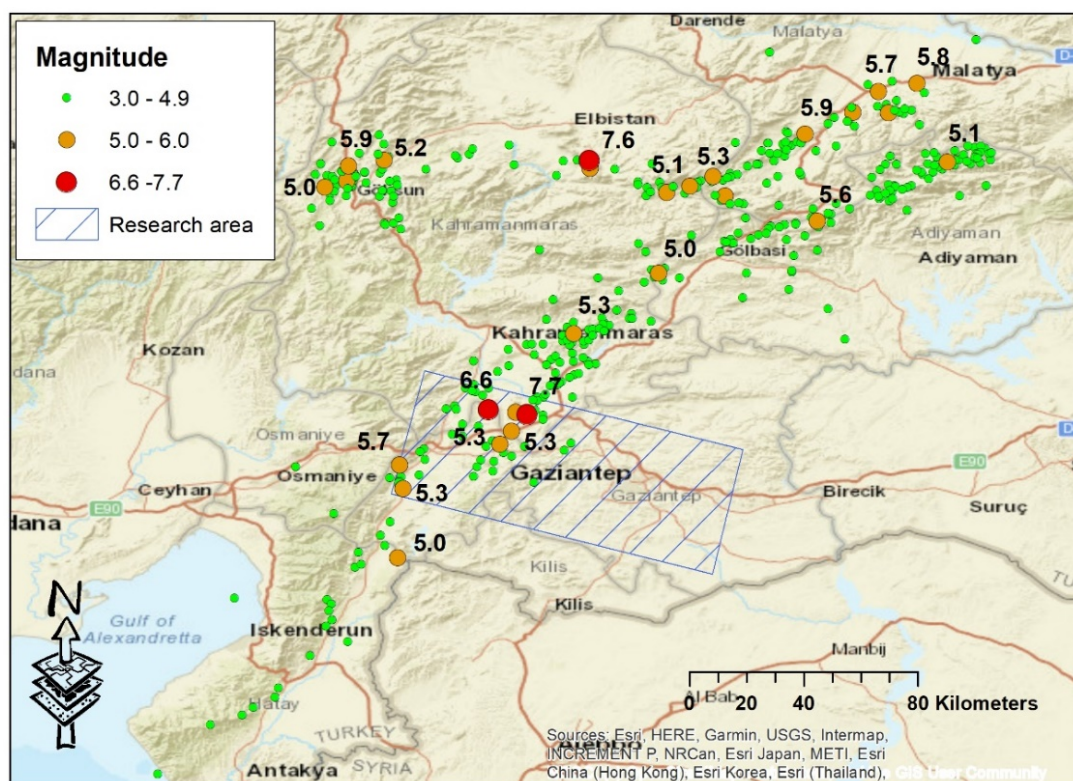


Fig. 3. Seismic events in Turkey 02/06/2023 (according to AFAD data)

In this research, we used data containing intensity and phase information, covering a width of 250 km in the interferometric wideband (IW) mode with a spatial resolution of 5 m by 20 m and polarized in VV+VH. The pre-earthquake datasets were acquired on January 17, 2023 and January 29, 2023, a week before the earthquake, and the post-earthquake dataset was acquired on February 10, 2023, 4 days after the earthquake (table 2).

Work with snapshots is done in the SNAP application. In order to obtain accurate results, in the process of processing radar interferometry data, two interferograms were obtained (fig. 4), which contain information on the deformation of the

Earth's surface. However, these interferograms must be corrected at the output, since they may contain errors caused by atmospheric noise, as well as random measurements.

They were then corrected using the Goldstein filtration method. This stage will create the final version of the interferogram in the range from $-\pi$ to π (fig. 4). Further actions will be related to the phase sweep and obtaining the numerical values of the surface displacement in real units of measurement.

The phase is deployed using an external Snaphu software module. The expanded phase offset data is presented in its own units of measure, so to interpret them in meters, it is necessary to quantify the results of the expanded phase as a

total offset. To do this, the pixel equation was used, which takes into account the delta phase and the wavelength of the sensor, to calculate the total displacement in meters. The result is two images showing the displacement of the surface before and after the earthquake.

The measurement methods used showed displacement as a result of seismic shock and numerous secondary shocks after it. Displacements are located in the area of the East Anatolian fault, which has deep linear faults (fig. 5).

Table 2

Characteristics of the images				
Date	Type	Polarization mode	Band	Time difference
January 17, 2023	SLC	VV + VH	C	12 days
January 29, 2023	SLC	VV + VH	C	
February 10, 2023	SLC	VV + VH	C	12 days

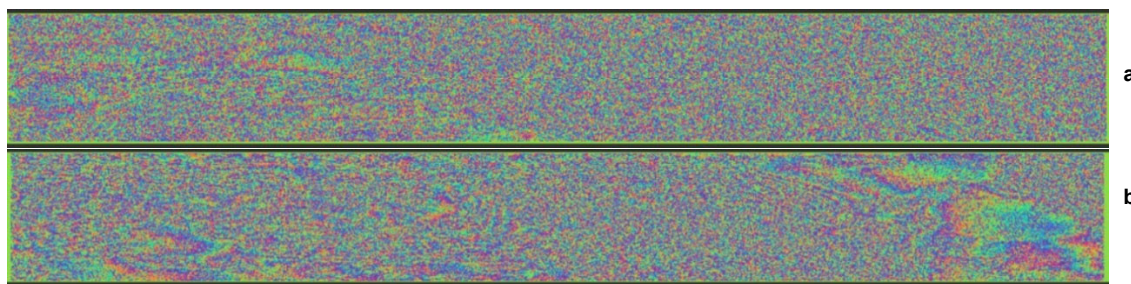


Fig. 4. Interferogram constructed from data from 17.01 to 29.01 (a), from 29.01 to 10.02 (b)

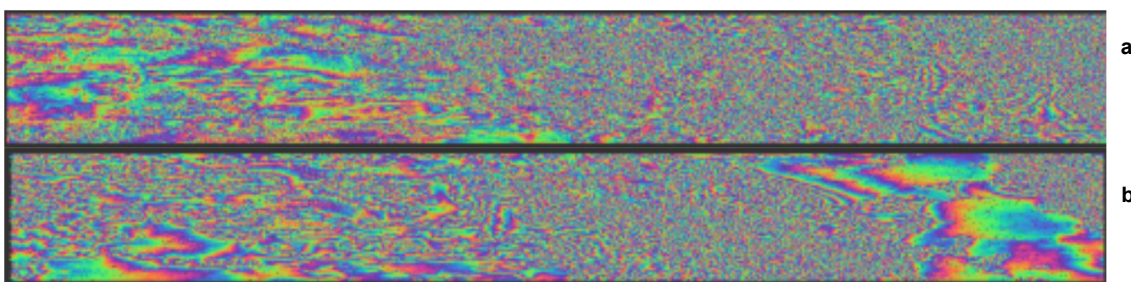


Fig. 5. Interferogram after Goldstein filtration from data from 17.01 to 29.01 (a) and from 29.01 to 10.02 (b)

East from the main epicenter of the earthquake expressed subsidence of the surface up to ± 50 cm. Fault break lines are visible on the resulting interferograms and cover a significant spatial range along the fault. The results of the study indicate the impact of the earthquake on the structure of the fault and can be used for further analysis of

its behavior. If we compare the displacement of the surface before the earthquake and after (fig. 6), we can see that the displacements before the earthquake are insignificant, with an amplitude of 30 cm, with minor subsidence up to 7 cm. After the earthquake, the amplitude of subsidence is up to 110 cm, and the fault line becomes clearly expressed.

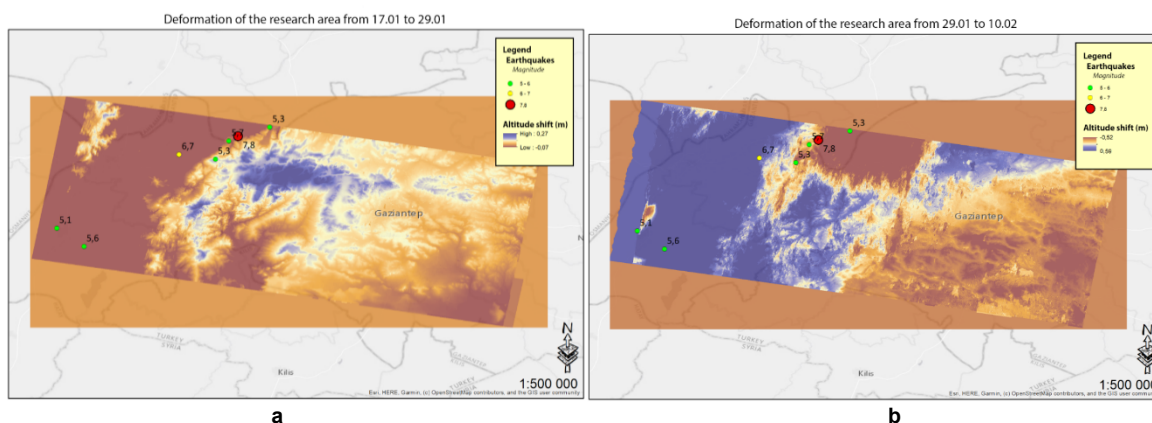


Fig. 6. Displacement of the surface of the territory during the time from 17.01 to 29.01 (a) and from 29.01 to 10.02 (b)

Discussion and conclusions

The research included a detailed study of the consequences of a series of earthquakes in Turkey using modern remote sensing methods and geographic information systems. To obtain accurate data on surface

displacement as a result of seismic events, Sentinel-1 satellite data processed in SNAP software was used and interferograms were created. To improve the accuracy of the results, a Goldstein filter was applied and the phase was deployed using an external Snaphu software module.

The results of the study showed that the greatest surface displacements were found in the area of the East Anatolian fault, with a maximum surface subsidence of up to 110 cm. In addition, it was found that earthquakes caused significant changes in the structure of the fault, which may affect further seismic activity in the region.

The results obtained are important for further analysis of fault behavior and assessment of risks associated with seismic activity in the region. Also, the application of InSAR technology has provided important information about the consequences of earthquakes in Turkey and can be a useful tool for monitoring seismic activity and assessing risks in other regions of the world.

Thus, this study confirms the importance of using modern technologies to monitor and study the effects of seismic activity, as well as to develop effective strategies for risk reduction and disaster mitigation.

Authors' contribution: Vitalii Zatserkovnyi – conceptualization, methodology, editing; Irina Tsiupa – creating models, data validation, writing (revision and editing); Hryhorii Ostapenko – methodology, creating models, formal analysis, writing (original draft); Mauro De Donatis – writing (revision), data validation; Leonid Ilyin – editing, data validation.

References

- Barut, R., Trinder, J., & Rizos, C. (2016). Analysing post-seismic deformation of izmit earthquake with insar, gnss and coulomb stress modelling. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B1, 417–421. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xli-b1-417-2016>
- Bianchini, S., Raspini, F., Solari, L., Soldato, M., Ciampalini, A., & Rosi, A. (2018). From picture to movie: twenty years of ground deformation recording over tuscany region (italy) with satellite insar. *Frontiers in Earth Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00177>
- Brunner, D., Lemoine, G., & Bruzzzone, L. (2010). Earthquake damage assessment of buildings using vhr optical and sar imagery. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(5), 2403–2420. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2009.2038274>
- Centre Sismologique Euro-Méditerranéen – Euro-Mediterranean Seismological Centre. https://www.emsc-csem.org/Earthquake_map/
- Chen, C., & Zebker, H. (2002). Phase unwrapping for large sar interferograms: statistical segmentation and generalized network models. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(8), 1709–1719. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2002.802453>
- Chen, Q., Li, T., Tang, X., Gao, X., & Zhang, X. (2018). Preliminary gaofen-3 insar dem accuracy analysis. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3, 173–177. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-3-173-2018>
- Dal Zilio, L., & Ampuero, J. P. (2023). Earthquake doublet in Turkey and Syria. *Commun Earth Environ* 4, 71 <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00747-z>
- Dewanto, B., Setiawan, M., & Nusantara, G. (2020). Opak fault deformation monitoring using sentinel-1 insar data from 2016-2019 in yogyakarta indonesia. *Elipsoida Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, 3(01), 46–54. <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2020.7758>
- Ding, X., Xu, S., Xie, Y., Ende, M., Premus, J., & Ampuero, J. (2023). The sharp turn: backward rupture branching during the 2023 mw 7.8 turkey earthquake. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3163216/v1>
- Engineering Seismology with Applications to Geotechnical Engineering (2015). Öz Yilmaz. *Investigation in Geophysics series*, No.17. USA. ISBN 078-0-931830-46-4
- Fan, S., Zhang, B., Moiseev, A., Kudryavtsev, V., Johannessen, J., & Chapron, B. (2023). On the use of dual co-polarized radar data to derive a sea surface doppler model—part 2: simulation and validation. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 1–9. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2023.3246771>
- Feng, Q., Xu, H., Wu, Z., You, Y., Liu, W., & Ge, S. (2016). Improved Goldstein Interferogram Filter Based on Local Fringe Frequency Estimation. *Sensors*, 16(11):1976. <https://doi.org/10.3390/s16111976>
- Fotiu, K. (2023). *Impact assessment of the catastrophic earthquakes of 6 february 2023 in turkey and syria via the exploitation of satellite datasets*. <https://doi.org/10.1117/12.2682926>
- Gaddes, M., Hooper, A., Bagnardi, M., Inman, H., & Albino, F. (2018). Blind signal separation methods for insar: the potential to automatically detect and monitor signals of volcanic deformation. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 123(11). <https://doi.org/10.1029/2018jb016210>
- Ghorbani, Z., Khosravi, A., Maghsoudi, Y., Mojtahedi, S., Javadnia, E., & Nazari, A. (2022). Use of insar data for measuring land subsidence induced by groundwater withdrawal and climate change in ardabil plain, iran. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17438-y>
- Gürbüz, A. (2020). Quaternary Tectonics as the Neotectonics in Turkey. *Geotecton.*, 54, 797–806. <https://doi.org/10.1134/S0016852120060060>
- Jia, Z., Jin, Z., Marchandon, M., Ulrich, T., Gabriel, A.-A., Fan, W., Shearer, P., Zou, X., Rekoske, J., ... & Fialko, Y. (2023). The complex dynamics of the 2023 kahramanmaraş, turkey, mw 7.8–7.7 earthquake doublet. *Science*, 381(6661), 985–990. <https://doi.org/10.1126/science.adi0685>
- Karbou, F., Veyssière, G., Coléou, C., Dufour, A., Gouttevin, I., Durand, P., ... & Grizonnet, M. (2021). Monitoring wet snow over an alpine region using sentinel-1 observations. *Remote Sensing*, 13(3), 381. <https://doi.org/10.3390/rs13030381>
- Korkmaz, K.A. (2009). Earthquake disaster risk assessment and evaluation for Turkey. *Environmental Geology*, 57, 307–320. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1439-1>
- Li, Z., Wright, T., Hooper, A., Crippa, P., González, P., Walters, R., ... & Parsons, B. (2016). Towards insar everywhere, all the time, with sentinel-1. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B4, 763–766. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xli-b4-763-2016>
- Liu, C. (2023). Complex multi-fault rupture and triggering during the 2023 earthquake doublet in southeastern türkiye. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41404-5>
- Matano, F. (2019). Analysis and classification of natural and human-induced ground deformations at regional scale (Campania, Italy) detected by satellite synthetic-aperture radar interferometry archive datasets. *Remote Sensing*, 11(23), 2822.
- Menderes, A., Erenler, A., & Sarp, G. (2015). Automatic detection of damaged buildings after earthquake hazard by using remote sensing and information technologies. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 257–262. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.063>
- Moiseev, A., Johnsen, H., Hansen, M., & Johannessen, J. (2020). Evaluation of radial ocean surface currents derived from sentinel-1 iw doppler shift using coastal radar and lagrangian surface drifter observations. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 125(4). <https://doi.org/10.1029/2019jc015743>
- Nägler, T., Rott, H., Hetzenecker, M., Wuite, J., & Potin, P. (2015). The sentinel-1 mission: new opportunities for ice sheet observations. *Remote Sensing*, 7(7), 9371–9389. <https://doi.org/10.3390/rs70709371>
- Oduoye, M., Nazir, A., Gharaibeh, R., Yoruk, E., Sulakci, A., Nafula, W., ... & Akilimali, A. (2023). Devastating earthquake in turkey: a call for global action. *International Journal of Surgery Global Health*, 6(2), e128–e128. <https://doi.org/10.1097/gh9.0000000000000128>
- Ouaadi, N., Ezzahar, J., Khabba, S., Er-Raki, S., Chakir, A., Ait Hssaine, B., Le Dantec, V., Rafi, Z., Beaumont, A., Kasbani, M., & Jarlan, L. (2021). C-band radar data and in situ measurements for the monitoring of wheat crops in a semi-arid area (center of Morocco). *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 3707–3731. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3707-2021>
- Prats-Iraola, P., Nannini, M., Scheiber, R., De Zan, F., Wollstadt, S., Minati, F., ... & Desnos, Y. L. (2015, July). Sentinel-1 assessment of the interferometric wide-swath mode. In 2015 IEEE international geoscience and remote sensing symposium (IGARSS) (pp. 5247–5251). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7327018>
- Rüeger, J. M. (2012). *Electronic distance measurement: An introduction*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-80233-1>
- Seyitoğlu, G., Esat, K., & Kaypak, B. (2017). The neotectonics of southeast turkey, northern syria, and iraq: the internal structure of the southeast anatolian wedge and its relationship with recent earthquakes. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26, 105–126. <https://doi.org/10.3906/yer-1605-21>
- Summerlin, T. (2022). *Measuring Ground Deformation Using Interferometry*. <http://hdl.handle.net/10150/665583>
- Sun, X., Zimmer, A., Mukherjee, S., Kottayil, N. K., Ghuman, P., & Cheng, I. (2020). DeepInSAR—A deep learning framework for SAR interferometric phase restoration and coherence estimation. *Remote Sensing*, 12(14), 2340.
- Turkey Department of Earthquake (AFAD). https://tdvms.afad.gov.tr/event_spec_data
- Vrankić, M., Grgić, M., & Bašić, T. (2022). Monitoring of geophysical processes in the area of western Herzegovina by satellite observations. *Electronic Collection of Papers of the Faculty of Civil Engineering*, (23). <https://doi.org/10.47960/2232-2022.23.12.36>
- Wang, K., Xu, X., & Fialko, Yu. (2017). Improving Burst Alignment in TOPS Interferometry With Bivariate Enhanced Spectral Diversity. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, PP. 1–5. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2767575>
- Wang, Z., Zhang, W., Taymaz, T., He, Z., Xu, T., & Zhang, Z. (2023). Dynamic rupture process of the 2023 Mw 7.8 Kahramanmaraş earthquake (SE Türkiye): Variable rupture speed and implications for seismic hazard. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL104787. <https://doi.org/10.1029/2023GL104787>
- Yague-Martinez, N., Prats-Iraola, P., González, F., Brcic, R., Shau, R., Gerdner, D., ... & Bamler, R. (2016). Interferometric processing of sentinel-1 tops data. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(4), 2220–2234. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2015.2497902>
- Zhao, J., Chen, Q., Yang, Y., & Xu, Q. (2023). Coseismic faulting model and post-seismic surface motion of the 2023 Turkey–Syria earthquake doublet revealed by insar and gps measurements. *Remote Sensing*, 15(13), 3327. <https://doi.org/10.3390/rs15133327>

Отримано редакцією журналу / Received: 10.12.23

Прорецензовано / Revised: 01.03.24

Схвалено до друку / Accepted: 29.05.24

Віталій ЗАЦЕРКОВНИЙ¹, д-р техн. наук, проф.
ORCID ID: 0009-0003-5187-6125
e-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com

Ірина ЦЮПА¹, канд. геол. наук
ORCID ID: 0000-0002-8350-6685
e-mail: irynatsiupa@knu.ua

Григорій ОСТАПЕНКО¹, студент
ORCID ID: 0000-0003-0042-7437
e-mail: grishakelvin@gmail.com

Мауро ДЕ ДОНАТИС², д-р філософії, доц.
ORCID ID: 0000-0002-9721-1095
e-mail: mauro.dedonatis@uniurb.it

Леонід ІЛЬІН³, д-р геогр. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-4180-0544
e-mail: ilyinleo@ukr.net

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Університет Урбіно Карло Бо, Урбіно, Італія

³Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна

АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ЗЕМЛЕТРУСІВ У ТУРЕЧЧИНІ 06.02.2023 ЗА ДАНИМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

В с т у п . Досліджено наслідки серії землетрусів, що відбулись 6 лютого 2023 року в Туреччині та спричинили масштабні руйнування й десятки тисяч жертв, а також стали найбільш смертоносними у світі за останні 10 років. Дослідження наслідків землетрусів мають важливе значення і можуть використовуватися у сфері управління надзвичайними ситуаціями та відновленні після природних катастроф, а також для поліпшення будівельних стандартів, розробки інфраструктури більш стійкої до землетрусів тощо.

М е т о д и . Дослідження виконано за допомогою сучасних методів дистанційного зондування та геоінформаційних систем. Для кількісної оцінки зміщення поверхні використано метод інтерферометрії із синтезованою апертурою (InSAR) на основі космічних знімків супутника Sentinel-1 у застосунку SNAP. Для підвищення точності результатів застосовувався фільтр Гольдштейна та виконано розгортання фази за допомогою зовнішнього програмного модуля Snaphu. Для компенсації спотворень даних здійснено корекцію місцевості за допомогою оператора Doppler Terrain Correction, щоб геометричне зображення було максимально наближеним до реального.

Р е з у л ь т а т и . Проаналізовано інтерферограми, отримані до та після землетрусів. Результати свідчать про значні деформації поверхні, особливо в районі Східноанатолійського розлому, з максимальним просіданням 110 см та більш вираженими лініями розлому. За даними інтерферограм можна дослідити, що землетруси спричинили значні зміни у структурі розлому, що може вплинути на подальшу сейсмічну активність у регіоні. Виконано побудову схем та карт, що відображають вплив землетрусів на поверхню та земну кору в південно-східній частині Туреччини.

В и с н о в к и . Дослідження демонструє можливості використання технології InSAR для моніторингу деформацій земної поверхні, спричинених нещодавніми землетрусами. Отримані дані можуть бути використані для оцінки руйнувань, визначення зон ризику та розробки заходів щодо зниження сейсмічної небезпеки.

К л ю ч о в і с л о в а : землетрус, Туреччина, InSAR, Sentinel-1, деформація земної поверхні, розлом, сейсмічна небезпека.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 2(105)

Відповідальний за випуск Олександр Меньшов
Chief publication manager O. Menshov

Комп'ютерна обробка статей О. Козіонова
Computer processing of the articles by O. Kozionova

Редактор І. Нечаєва

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, відповідної галузевої термінології, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали.

Opinions, statements, accuracy of the quotations, economic and statistical data, terminology, proper names and other information are made on the responsibility of the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 13,83. Наклад 300. Зам. № 224-11026.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Гл2.
Підписано до друку 28.06.24

Видавець і виготовлювач
ВПЦ "Київський університет"
Б-р Тараса Шевченка 14, м. Київ, 01030
☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 58; (38044) 239 31 28
e-mail: vpc@knu.ua; vpc_div.chief@univ.net.ua; redaktor@univ.net.ua
http: vpc.knu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02