

УДК 504+550+551+552+624

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103>

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); 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); Спасов 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 Волькмар , 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" 13.12.23 (протокол № 7)
Зареєстровано	Міністерством юстиції України Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 25418-15358 ПР від 03.02.23
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 внесено 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: vpc@knu.ua

BULLETIN

TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV

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

GEOLOGY

4(103)/2023

Established in 1958

UDC 504+550+551+552+624

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103>

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); 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); Shabaturo 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, Vasylkivska 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" 31.08.23 (protocol № 1)
Registered by	the Ministry of Justice of Ukraine Certificate of state registration № 25418-15358 ПП dated 03.02.23
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

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

ОРЛЕНКО Тетяна Моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні правобережжя Канівського водосховища	5
НІКІТЕНКО Олександр Поля напружень та геологічна структура західного замикання Горлівської антикліналі Донбасу. Частина 1. Структуриний паракенезис	14
ЖЕЛЕЗНЯК Микола, ІЩЕНКО Олександр, БОРТНИК Сергій Українські енциклопедії та словники в контексті поширення геологічних знань.....	19
ГРИГОРЧУК Костянтин, ГНІДЕЦЬ Володимир Палеоценові відклади західної частини Причорноморського мегапрогину: літофації, умови осадонагромадження, динаміка розвитку нафтогазових систем	26

ГЕОФІЗИКА

БАХМУТОВ Володимир, МЕЛЬНИК Галина, ГЛАВАЦЬКИЙ Дмитро, ПОЛЯЧЕНКО Євген Екскурси геомагнітного поля хрону Брюнес. Частина 1: Історичний огляд та сучасний стан досліджень	38
МАЛИЦЬКИЙ Дмитро, ГНИП Андрій, АСТАШКІНА Олександра, ЗАБРОДСЬКА Наталя, ПАК Руслан, ІГНАТИШИН Василь, ФУРМАН Віталій, НІКУЛІН Валерій Фокальні механізми сейсмічних подій на Марсі	49

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

НЕСТЕРОВСЬКИЙ Віктор, ДЕЯК Михайло, ТАРНОВЕЦЬКИЙ Андрій Літолого-мінералогічний склад акумулятивно-пляжевих відкладів Дністровсько-Дніпровського сегменту Чорного моря	55
---	----

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

МИХАЙЛОВ Володимир, ВІРШИЛО Іван, ЗАГНІТКО Василь, КРАВЧЕНКО Дмитро, ДУБИНА Олександр, СУКАЧ Віталій, ЧУЛКОВ Сергій Золоторудний район Tijirit в Мавританії	66
УЛИЦЬКИЙ Олег, КУРИЛО Марія, БАЛА Володимир Оцінка техногенного та екологічного ризику за критерієм еколого-економічної ефективності вуглевидобувних підприємств Донецької та Луганської областей	74
ЛИТВИНЮК Станіслав, ПАЮК Сергій Правові та методичні аспекти геолого-економічної оцінки запасів і ресурсів корисних копалин в Україні: стан та перспективи	83
ПОКАЛЮК Володимир, ВЕРХОВЦЕВ Валентин, ГУБІНА Вікторія, ЯЦЕНКО Віктор, ЗАБОРОВСЬКА Лариса, ЛАВРИНЕНКО Олена, МАЙБОРОДА Євген Брекчії обрушення – "новий" тип техногенних геологічних утворень/тіл/родовищ Криворізького залізрудного басейну	90

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

АЛІЄВ Чінгіз, КАЗІМОВА Латіфа Причини утворення радіонуклідів у ґрунтах та радіоекологічні умови на нафтових родовищах (на прикладі Апшеронського півострова)	98
ХЕВПА Зенон, ДОЛІН Віктор, ЯКОВЛЕВ Євгеній Оцінка розвитку деформацій земної поверхні на шахтному полі Стебницького калійного родовища за даними гідрогеологічного моніторингу	103

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

ДЕ ДОНАТІС Мауро, ПАПАФІКО Джуліо Ф., БОНІ Роберта, ФРАНЧІОНІ Мірко, МАРІНО Лучія, МОРЕЛІ Стефано, ВИЖВА Сергій, ЗАЦЕРКОВНИЙ Віталій Польове картування зсувів: IFFI-RESTART-форми для збору та управління даними	111
---	-----

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

ORLENKO Tetiana

Monitoring of vertical displacements of the earth surface of the right bank of the Kaniv reservoir.....5

NIKITENKO Oleksandr

Stress fields and geological structure of western closure of Horlivka anticline of Donbas.

Part 1. Structural paragenesis 14

ZHELEZNIAK Mykola, ISHCENKO Oleksandr, BORTNYK Sergii

Ukrainian encyclopedias and dictionaries in view of spreading geological knowledge 19

HRYHORCHUK Kostyantyn, HNIETS Volodymyr

Paleocene sediments of the western part of the Black sea megadepression:

lithofacies, conditions of sedimentation, dynamics of the development of oil and gas systems.....26

GEOPHYSICS

BAKHMUTOV Volodymyr, MELNYK Halyna, HLAVATSKYI Dmytro, POLIACHENKO Ievgen

Geomagnetic field excursions of the Brunhes chron. Part 1: A historical overview and current state of research 38

MALYTSKYI Dmytro, GNYP Andriy, ASTASHKINA Oleksandra, ZABRODSKA Natalia,**PAK Ruslan, IGNATYSHYN Vasil, FURMAN Vitaliy, NIKULIN Valery**

Focal mechanisms of seismic events on Mars.....49

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

NESTEROVSKYI Viktor, DEIAK Mykhailo, TARNOVETSKYI Andrii

Lithological and mineralogical composition of accumulative beach sediments

of the Dniester-Dnipro segment of the Black Sea 55

MINERAL RESOURCES

MYKHAILOV Volodymyr, VIRSHYLO Ivan, ZAGNITKO Vasyl, KRAVCHENKO Dmytro,**DUBYNA Oleksandr, SUKACH Vitaliy, CHULKOV Sergii**

Tijirit gold ores district in Mauritania.....66

ULYTSKYI Oleg, KURYLO Mariia, BALA Volodymyr

Assessment of technological and environmental risk according to the criteria of environmental

and economic efficiency of coal mining enterprises of the Dnitsk and Luhansk regions.....74

LYTVYNIUK Stanislav, PAIUK Sergii

Legal and methodological aspects of geological and economic assessment of mineral reserves and resources

in Ukraine: status and prospects.....83

POKALYUK Volodymyr, VERKHOVTSEV Valentyn, HUBINA Victoria, YATSENKO Viktor,**ZABOROVSKA Larisa, LAVRYNENKO Olena, MAIBORODA Evgen**

Collapse breccias – a "new" type of anthropogenic geological formations/bodies/deposits

in the Kryvyi Rih iron ore basin 90

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

ALIYEV Chingiz, KAZIMOVA Latifa

Reasons for the formation of radionuclides in the soil and radioecological conditions in the oil fields

(in Absheron peninsula).....98

KHEVPA Zenon, DOLIN Victor, YAKOVLEV Eugene

Assessment of the development of deformations on the earth's surface within the Stebnytsky potassium deposit

mine field by the data of hydrogeological surveillance.....103

GEOINFORMATICS

DE DONATIS Mauro, PAPPAFICO Giulio F., BONI Roberta, FRANCONI Mirko,**MARINO Lucia, MORELLI Stefano, VYZHVA Sergii, ZATSERKOVNY Vitalii**

Landslide field mapping: IFFI-RESTART forms for data acquisition and management 111

МОНІТОРИНГ ВЕРТИКАЛЬНИХ ЗМІЩЕНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ПРАВОБЕРЕЖЖЯ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

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

Проведено моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні правобережжя Канівського водосховища на ділянці Витачів–Стайки з використанням методики диференціальної радарної інтерферометрії (DinSAR). За результатами спостережень протягом весняного періоду з 2015 по 2023 роки відображено активні зсувні ділянки. Стисло описано метод DinSAR з акцентом на етапах фільтрації даних для картографування активізації зсувів. Зафіксовано високу кореляцію даних і підтверджено наявність зон активних зміщень на березі водосховища. Поширення та інтенсивність проявів зсувів зумовлені особливостями геологічної та геоморфологічної будови території, її тектонічних, неотектонічних та сейсмічних режимів, а також гідрологічними та кліматичними умовами. Визначено обмеження методу, що виникають унаслідок часової декореляції радіолокаційного сигналу в районах з великою кількістю рослинності. Через значну декореляцію отриманих результатів заліснених та обводнених ділянок об'єднано методику DinSAR, цифрову модель рельєфу (DEM), аналіз карт базисних поверхонь та результати обчислень спектральних індексів для виявлення ділянок активних зсувів, спричинених перезволоженням породних комплексів дніпровських схилів. Проведені дослідження демонструють доцільність використання DinSAR для виявлення та моніторингу деформації поверхні.

Ключові слова: небезпечні геологічні процеси, зсуви, моніторинг, радарна інтерферометрія, ГІС.

Вступ

Проблема дослідження зсувів актуалізується в умовах інтенсивного антропогенного впливу та кліматичних змін. Зсуви виникають унаслідок втрати рівноваги ґрунтів та підстильних порід, чим більша крутизна корінного схилу, тим швидше рухається тіло зсуву. Геологічні методи дослідження зсувів передбачають створення геодезичної основи на зсувонебезпечних ділянках і періодичні безпосередні вимірювання. Серед досліджуваних показників: координати зсувів, висоти геодезичних знаків, встановлення меж та об'ємів зсувних мас, визначення величин сповзання земляної маси в плані та по висоті (Кравець, 2020), швидкість та напрямок зсувів.

Спостереження за зсувами геологічними методами є трудомістким і небезпечним. Дистанційний моніторинг зсувних процесів забезпечує раннє виявлення потенційно небезпечних зсувних ділянок. Моніторинг стану схилів, з використанням радіолокаційних космічних даних та інтерферометричних методів їх обробки, допомагає визначити їхню динаміку та ідентифікувати ризики, пов'язані з можливими зсувами.

Синтетично-апертурна радіолокація (SAR) відіграє ключову роль в оперативному моніторингу зсувів завдяки можливостям дистанційного спостереження – незалежно від наявності хмар, широкого поля огляду та здатності сканування поверхні цілодобово. Зокрема, диференціальна радарна інтерферометрія (DinSAR) широко використовується для раннього виявлення, моніторингу та оцінки ризиків, пов'язаних зі зсувами.

Методика радарної інтерферометрії з диференціальною синтетичною апертурою (DinSAR) є технологією мікрохвильового дистанційного зондування, яка дає змогу досліджувати явища деформації поверхні з високою точністю, від сантиметра до міліметра (Stankevich et al., 2020), та зі значним просторовим охопленням. Зокрема, в нашому дослідженні використано різницю фаз, тобто сформовано інтерферограму як різницю між двома SAR-зображеннями, що мають відношення до часово розділених спостережень досліджуваної області та забезпечують вимірювання проекції деформації ґрунту в напрямку лінії прямої видимості радара (LOS, line of sight).

Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) є основним джерелом даних для представлення земної поверхні, яке включає висотні дані (Бурштинська та ін., 2007) для різних точок земної поверхні. У дослідженні модель рельєфу, тобто DEM, отримано за даними супутника Sentinel-1. Для створення моделі рельєфу висоти точок земної поверхні (гори, долини, водні поверхні та ін.) підлягають інтерполяції та обробці для видалення помилок і надання моделі більшої точності. На основі оброблених даних формується DEM, де для кожної точки вказується її висота відносно еталонного рівня (середній рівень моря). Використання DEM дозволяє ідентифікувати ділянки зі значними висотними змінами та нахилами, порівняння DEM, отриманих в різночасові періоди, дає змогу виявляти зміни в рельєфі, пов'язані зі зсувами.

У процесі дослідження правобережжя Канівського водосховища використано *структурно-морфометричні методи* для аналізу тектогенезу та морфогенезу. Зазвичай долини водотоків успадковують активні розломні порушення, напрямки рухів яких збігається з векторами градієнтів геопотенціалів. Дослідження долинної мережі проводили (Іванік та ін., 2020; Tustanovska et al., 2020).

Геоморфологічний зміст карт базисних поверхонь полягає в тому, що вони відображають форму і нахил поздовжніх річкових долин, по яких ці поверхні побудовані, поздовжній профіль річки є чутливим індикатором геоекологічних змін (Пересацько, 2008).

Активні зсувні процеси призводять до руйнування та пошкодження рослинного покриву на певних ділянках. *Вегетаційний індекс* Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) може зафіксувати масштабні зміни стану рослинності, вказуючи на місця потенційних зсувів (Niraj et al., 2023). *Вегетаційні індекси* використовуються як додаткові дані для підтвердження результатів, отриманих іншими методами дослідження небезпечних ерозійних геологічних процесів.

Метою даного дослідження є супутниковий гео-моніторинг зсувонебезпечних схилів за даними диференціальної радарної інтерферометрії та ідентифікація нових або активізованих, раніше стабілізованих зсувів.

У геоструктурному відношенні територія досліджуваної ділянки Витачів–Стайки, Середнього Придніпров'я розташована в зоні зчленування північно-східного схилу Українського щита з Дніпровсько–Донецькою западиною (Snitynskyi et al., 2020). Особливістю рельєфу досліджуваної території є суттєвий перепад висот, коливання базису ерозії та кутів нахилу схилів. Багато вчених приділяють значну увагу класифікації типів зсувів (Байрак, 2018; Пазинич, 2017) та розумінню механізму їх утворення та активізації.

У роботах (Ліщенко та ін., 2017) закладено основи супутникового моніторингу зсувонебезпечних територій на базі ГІС-технологій. Важливим аспектом досліджень є вивчення конкретних регіонів, де зсуви найактивніші. Для регіону Середнього Придніпров'я у дослідженнях (Демчишин, 2004) надано розгорнуту інформацію про розвиток, причини, класифікацію зсувів та розроблено стратегії мінімізації ризику для місцевого населення.

Більшість проведених досліджень має регіональний характер. Головною метою цих досліджень є аналіз геологічних і геоморфологічних явищ дрібного масштабу та створення карт, що відображають поширення екзогенних геологічних процесів.

Проведення детальних і спеціалізованих досліджень для вивчення небезпечних зсувів на конкретних ділянках вказує на необхідність і доцільність здійснення комплексного аналізу факторів, що впливають на їхнє формування. Це значно підвищує об'єктивність як загальної оцінки цих процесів, так і можливість прогнозування їхнього розвитку.

За попередніми дослідженнями (Беспалова, 2001) виділяється два типи зсувів на правобережжі Канівського водосховища:

- I тип зсувів – геологічний розріз включає лесоподібні суглинки четвертинного віку, неогеново-нижньочетвертинні бурі й червоно-бурі глини, строкаті глини неогену, піски новопетровської світи неогену, берекської та межигірської світ, мулові ґрунти обухівської світи та глини. Для цього типу зсувів характерно підвищене гіпсометричне положення мергельних шарів. Процес зсуву розгортався у декілька видів структурних зсувів, зокрема циркоподібних. Верхня частина схилу має форми видавлювання, які переходять у пластичні зсуви.

- II тип зсувів – геологічна основа включає відклади бурих і строкатих глин, пісків неоген-палеогенового віку. Товщина лесового горизонту менша ніж 10,5 м у нижній частині схилу, нижче залягають глинисті алевроїти обухівської світи. У даному випадку формуються фронтальні зсуви з площиною зсуву. Зазначені типи зсувів відрізняються спільними геологічними особливостями та характером розвитку зсувних процесів.

Передумовами для активних вертикальних зміщень є структура схилів та геологічні умови, водночас тригерним фактором виступають тривалі періоди екстремальних опадів, а також коливання рівня ґрунтових вод та рівня р. Дніпро. Зсуви досліджуваної території пов'язані з гідрофільними бурими або строкатими глинами, перезволоження яких спричиняє активізацію зсувів. Протягом останніх десяти років не повідомлялося про значні за обсягом зсувні процеси.

У нашому дослідженні для завірки сталого рівня земної поверхні було обрано контрольні ділянки, які є ідеальним прикладом для вимірювання сталого рівня земної поверхні, оскільки вони не використовуються в сільському господарстві, не обробляються та не зазнають антропогенного впливу, тому їх рельєф залишається незмінним упродовж часу. Завіркові поля розташовані на

вододільних вирівняних поверхнях лесового плато без деревної рослинності, на сірих опідзолених ґрунтах, з невисоким багаторічним трав'янистим покривом, що знаходиться під перелогами – ділянками, які довгий час не були залучені до сільськогосподарського використання.

Реперні поля, зарослі різноманітними дикорослими рослинами, переважно злаково-різнотравними асоціаціями, являють собою рудеральні ценози, ці землі не оброблювали десятиків років. Коливання гіпсометричного рівня поверхні в межах даних ділянок не перевищує 0,3 см за рік. Досліджувана територія розчленована потужною яружно-балковою мережею, більша частина дніпровських схилів ускладнена зсувними формами та ерозійно-денудаційними явищами і має дуже хвилясту верхню бровку. Основну кількість зсувів зареєстровано в межах трьох-, п'ятикілометрової смуги корінного берегу, розчленованого порівняно густою та глибокою яружною сіткою.

Для визначення вертикальних зміщень у нашому дослідженні було обрано дев'ять тестових точок. У межах усіх точок спостерігаються прояви екзогенних геологічних процесів, таких як зсуви та ерозія, що впливають на рельєф схилів; вплив природних факторів, таких як опади, водні потоки та вітер, є загальним для всіх точок, що сприяє активізації небезпечних геологічних процесів; для всіх зсувів характерна наявність глинистих, суглинкових та делювіальних ґрунтів, схильних до зсувів; частина ділянок природно стабілізована завдяки наявності рослинного покриву; зсувні процеси підсилюються внаслідок антропогенного впливу, наприклад видобутком глини у кар'єрах.

Опис тестових, зсувних ділянок. Розвиток екзогенних геологічних процесів характерний уздовж правобережжя Канівського водосховища. Тестовий полігон належить до Києво-Стайківського зсувного району (Демчишин, 1992). Межі району визначаються від населеного пункту Вишгород до Ходорова з грабовими дібровами на неогеновому плато, він складається з таких елементів рельєфу, як вододільна поверхня, ерозійна мережа та крутосхилі поверхні. Для здійснення моніторингу вертикальних зміщень земної поверхні було обрано дев'ять тестових ділянок (рис. 1), на які вплинули активні деформації поверхні та п'ять контрольних ділянок, які не зазнають зсувних процесів (завіркові поля).

Точка 1 (рис. 1а): верхня частина схилу являє собою заліснену ділянку з неглибокими верховими опливінами ґрунту та ерозійними розмивами у структурі суглинку. Глибина врізу близько 8 м. Південно-східна експозиція відкритої ділянки з акумуляцією делювію в днищі;

Точка 2 (рис. 1б): це активна зсувна ділянка зі свіжою стінкою відриву у середній частині схилу, відслонення якої зафіксовано у нижньому плейстоценовому шарі та пісках міоцену. Стінка відриву до 7 м, ширина зсувної ділянки до 20 м. Тіло зсуву у вигляді делювіально-колювіального потоку;

Точка 3 (рис. 1в): характеризується невеликою зсувною ділянкою у вигляді потоку. Верхня частина зсувної ділянки ще зберігає стінку відриву, але делювіальні відклади вже поросли кущами та деревами віком до 5 років, що є причиною природної стабілізації ділянки;

Точка 4 (рис. 1г): невеликий зсув у гребеневій частині схилу (1-го типу), між двома ерозійними пониженнями з обох боків. Стінка відриву добре простежується, має висоту до 4 м. Нижче залягає делювіальний шельф із суглинків з горбистою поверхнею частково порослою кущами;

Точка 5 (рис. 1д): особливістю цієї точки є велике відслонення у нижній частині схилу над колишнім мергельним кар'єром, який заповнений водою. Розміри відкритої

ділянки сягають 30 м. Спостерігається сильне зволоження та виходи підземних вод у півніжній схилу з-під наглинку харківської світи. Відслонюється вже частково переміщений глинистий горизонт плейстоцену червоно-бурих та строкатих глин, а також малопотужні піски та слабозцементовані пісковики новопетрівської серії та дуже зволожені пластичні сіро-блакитні глини верхнього палеогену (харківська світа). У нижній частині розташовані колювально-делювіальні рихлі породи – делювіального шлейфу, сильно насичені водою;

Точка 6 (рис. 1е): має сильно розчленований схил у результаті підрізання кар'єром, характеризується перемикуванням гребенеподібних та яружних форм рельєфу. Відклади нижньої частини схилу є більш стійкою частиною зсуву – плейстоценовими строкатими глинами. Нижчий рівень займають ослипні міоценові піски, під ними розташовані пластичні вологі глини верхнього палеогену. Ділянка має вигляд "бедленду" із загостреними гребнями. У нижній частині акумулюються пролювіально-делювіальні пухкі відклади, що зазнають сильної ерозії та опливання;

Точка 7 (рис. 1е): активний зсув, нижня частина зсувного тіла перекрита колювально-делювіальним матеріалом, що постійно рухається, за рахунок обвалювання, ерозії та зсування;

Точка 8 (рис. 1ж): верхня частина схилу досліджуваної ділянки представлена фронтальним зсувом 1-го порядку, лесоподібний суглинок у стінці відриву має стовпчасту структуру, відслонення зафіксовано на відкладах середнього та верхнього плейстоцену. Присхилова поверхня поросла деревною рослинністю, має верхню хвилясту бровку. Площа оголених відкладів сягає 80 м;

Точка 9 (рис. 1з): стінка відриву зсуву на ділянці під номером дев'ять сформована гребенеподібними стовпчастими останцевими формами лесоподібних суглинків у верхній частині схилу, що сильно вивітрюється та руйнується під дією ерозії.

Польові роботи на описаних вище ділянках проводилися у квітні 2023 р. Під час польових робіт отримано дані про стан рослинності досліджуваного регіону, літологію відкладів, крутизну схилів та зсувну активність. Графік польових робіт був узгоджений з датами прольоту супутника Sentinel-1A.



Рис. 1. Зсуви у межах північної частини ділянки Витачів–Стайки

Аналіз вертикальних зміщень земної поверхні в межах полігону Витачів–Стайки. Для правобережжя Канівського водосховища характерна густа рослинність, унаслідок чого відбитий сигнал повністю змінюється за короткий проміжок часу. Тому періодом дослідження було обрано весняні місяці березень–квітень, для яких характерний низький рівень густоти рослинності та підвищена кількість опадів. На зворотний сигнал

розсіювання, отриманий супутником Sentinel-1, та якості сформованої інтерферограми впливають вид розчленування рельєфу, його ступінь, тип рослинності, ступінь зволоження поверхні, характер мінеральних та органічних пухких відкладів (Krill, Shekhunova, 2019).

Вхідними даними, що використані в дослідженні, є пара радарних зображень та відповідні навігаційні дані. Для формування коректної інтерферограми здійснено

підбір пари радіолокаційних зображень супутника Sentinel-1. Головними параметрами вибору є коротка часова базова лінія – час між першим і другим зображенням становить 12 днів, другим ключовим параметром є відповідність перпендикулярної базової лінії – відстань між положенням супутника на момент отримання зображення має становити від 300 до 500 м. Орбіта прольоту супутника є низхідною за весь період дослідження. Дотримання цих вимог забезпечило отримання правильного кута нахилу між обома знімками та дозволило отримати топографічні варіації ефектів. Обробка радарних даних супутника Sentinel-1 проводиться в програмному середовищі з відкритим доступом SNAP (step.esa.int/main/snap).

Моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні здійснено за такою послідовністю.

Підбір радіолокаційних знімків супутника Sentinel-1, з урахуванням параметрів орбіти, напрямку знімання супутника, часових характеристик та значення базових ліній; корекція знімків відповідно до орбітальних параметрів, а також вилучення для подальшого дослідження смуг радарного знімку, що містять область дослідження; застосування модуля спільної кореєстрації зображень та створення їх стеку з підвищенням спектральної яскравості даних та, як результат першого етапу, формування вихідної інтерферограми. Наступним кроком є видалення топографічної фази, усереднення отриманих

інтерферометричних значень з використанням модуля Multilooking. Фільтрація отриманих даних за методом Goldstein забезпечує нівелювання шуму на зображенні. Розгортка інтерферометричної фази була проведена із застосуванням модуля Snapu у програмному середовищі SNAP. Наступний крок це трансформація отриманих значень фази (в радіанах) у фізичні величини (метри). Коректне значення результатів розгорнутої фази досягається із застосуванням опції маскуванню областей низької когерентності. Коефіцієнт 0,3 є мінімальним для застосування фільтрації, оскільки відповідає рослинним і водним об'єктам у межах досліджуваної ділянки. Оскільки тестова ділянка це берег водосховища, поріг фільтрації підвищено до значень 0,4 та 0,5 (Орленко, 2023). Також необхідним є вирівнювання отриманих результатів та вибір точок, зміщення яких дорівнює нулю. Це поля, що не обробляються з 2013 р. та мають сталий рівень рослинності під час весняного періоду. Проведено повторну корекцію результатів вже з урахуванням значень на цих ділянках. Фінальним кроком створення картосхеми вертикальних зміщень земної поверхні (рис. 2) є геометрична корекція отриманого результату та визначення величини зміщень кожної досліджуваної точки.

Отримана картосхема зміщень на рис. 3 відображає зміну відстані вздовж прямої видимості від датчика до земної поверхні в кожній з обраних тестових точок.

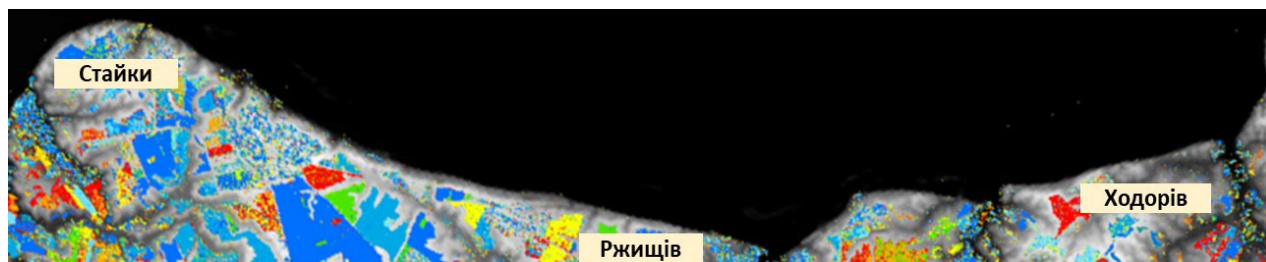


Рис. 2. Картосхема поширення вертикальних зміщень земної поверхні на ділянці Витачів–Ходорів

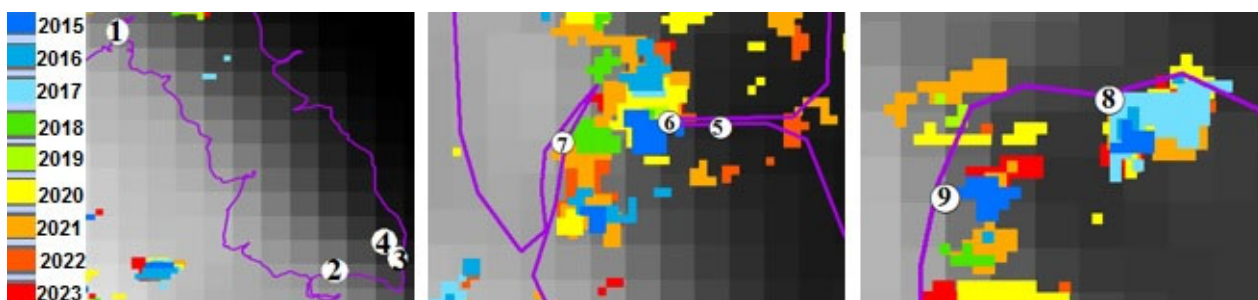


Рис. 3. Активні вертикальні зміщення в дослідних точках з 2015 по 2023 роки, фіолетова лінія – фрагменти дослідницького маршруту

Згідно з отриманими даними за період з 2015 по 2023 роки точки 1–5 є неактивними, це стабілізовані зсувні ділянки зі значною кількістю рослинності. Точки під номером 6–9 є активними протягом усього періоду розрахунків.

За графіками вертикальних зміщень точок 2 та 9, (рис. 4) можна зробити висновок про цілковиту стабілізацію точки під номером 2 та активність точки 9 впродовж усього періоду спостережень. Найбільше зміщення для зсувної ділянки номер 9 зафіксовано у 2017 р., значення якого досягло 10 см. Позитивні значення зміщення (рис. 4) вказують на те, що поверхня перемістилася вгору або віддалилася від лінії видимості супутника. У контексті дослідження зсувних процесів позитивне

зміщення означає, що зсувне тіло виштовхується нагору, оскільки це підняття є однією з можливих причин зміни фази сигналу.

Від'ємні значення зміщень означають, що поверхня змістилася вниз або ближче до лінії видимості супутника. Для зсувів негативне зміщення свідчить про осідання ґрунтів. Цей процес відображається у вигляді сповзання матеріалу вниз або його ущільнення. Отримані числові значення зміщень демонструють, наскільки зрушилася земна поверхня порівняно із завірковими ділянками. У даному дослідженні зміщення вимірюються в сантиметрах, чим більші значення, тим більш значним є рух ґрунтового покриву.

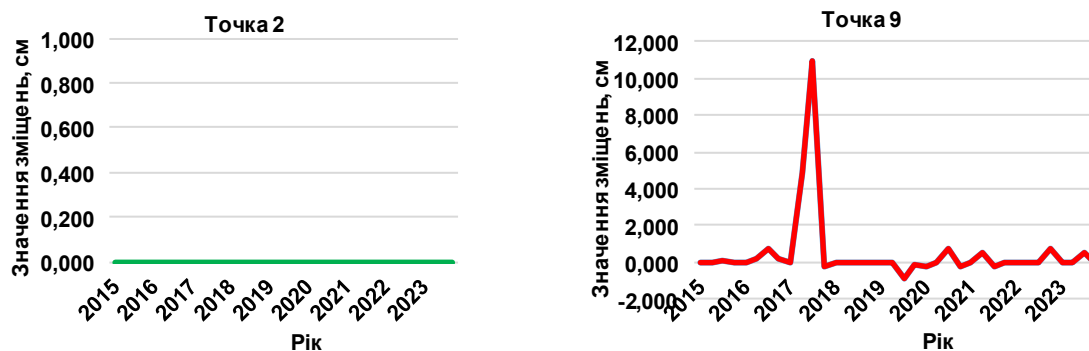


Рис. 4. Графік вертикальних зміщень точок 2 та 9

Застосування DEM для аналізу зсувів. Для створення цифрової моделі рельєфу за даними Sentinel-1 (Liu, 2008; Pham, 2001; Renard, 1997), було обрано пари радіолокаційних зображень за 12 та 24 жовтня 2017 р. і 29 вересня та 11 жовтня 2021 р. Дані про абсолютну висоту поверхні, джерелом яких є сервіс Alaska Satellite Facility – Distributed Active Archive Center (<https://asf.alaska.edu/how-to/data-tools/data-tools/>) порівнювалися з даними, цифрової моделі рельєфу (ЦМР), який був побудований на основі топокарт з геодезичною прив'язкою до опорних точок для території правобережжя Канівського водосховища. Крок основних горизонталей ЦМР становив 5 м. Створення DEM включає видалення шумів, корекцію систематичних похибок, видалення дерев, будівель та інших об'єктів, які не пов'язані з поверхнею землі. Для отримання повної DEM дані інтерпольовано між точками вимірювань та створено гладку поверхню. Одержана DEM використовувалася для аналізу рельєфу та виявлення ознак зсувів (рис. 5), включно з виявленням нахилів та аномалій рельєфу, які свідчать про можливі зсуви.

Виявлено, що абсолютні усереднені відмітки поверхні отримані внаслідок побудови DEM розбігаються з абсолютними відмітками поверхні, порівняно з даними топографічних карт зафіксовано їх перевищення на 26–30 м, але загальна картина простягання цих ізогіпс більш менш чітко повторює горизонталі, отримані з ЦМР, хоча їх рисунки не збігаються. Аналіз даних отриманих із Sentinel-1 та виконаних розрахунків і перетворень показав, що невисоке просторове розрізнення даної зйомки не дало можливість достовірно встановити місця активізованих ділянок схилів і нестабільних ділянок через незначні і регулярні амплітуди коливань, які присутні як на зсувних, так і на стабільних поверхнях. Найбільших коливань в аналізованих значеннях зазнають схили, але їхнє горизонтальне розчленування слабо проявляється. Тому потрібно застосовувати не тільки DEM для оцінки розвитку зсувних процесів, але й залучати методику побудови карт активізації вертикальних зміщень за даними Sentinel-1 і карт базисних поверхонь за даними SRTM.

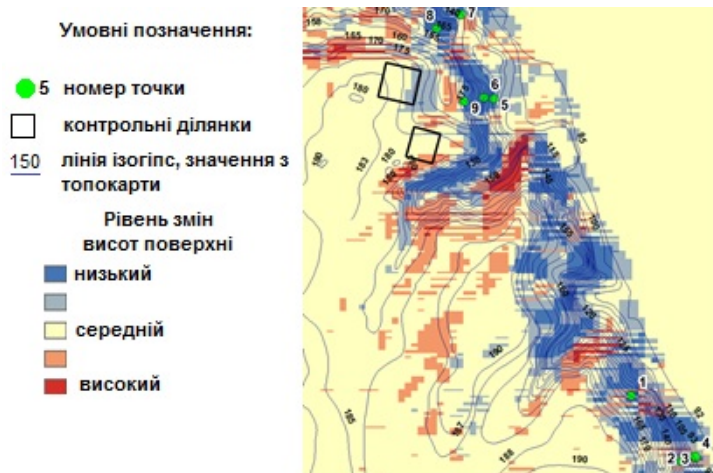


Рис. 5. Картохема різниці DEM за 2017 та 2021 роки

Геоморфологічні дослідження. Для аналізу тектоногенезу і морфогенезу використано структурно-морфометричні методи, що дає змогу побудувати карту ураженості території зсувними процесами та густоти ерозійного розчленування території. Територія Канівського водосховища має значну протяжність і значну кількість рослинності у вегетаційний період. Побудова картосхем базисних поверхонь для досліджуваного регіону виконувалася на основі карт порядків долин третього та четвертого порядку водотоків у програмному середовищі ArcGIS, які відповідають саме за формування берегів Канівського

водосховища. Долини першого та другого порядку не були залучені до аналізу через їхню невелику довжину і розвиток переважно у пухких лесових покривах, а отже слабкий зв'язок з тектонічною тріщинуватістю геологічного субстрату.

Для побудови карти порядків долин і вододілів було використано топографічну основу дрібного, середнього і великого масштабів та космоснімки з якісним та верифікованим зображенням рельєфу території. Як джерело супутникових даних про рельєф території навколо Канівського водосховища, було використано топографічні

дані високої розрізненості, отримані за допомогою програми NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) у 2000 р. (Farr et al., 2007). У межах досліджуваного регіону було використано топографічні карти регіону досліджень масштабу 1 : 25000. Карти в растровому форматі завантажувалися в середовище ArcGis-Online зі створенням геопросторової прив'язки із застосуванням програмного модуля Georeferencing. Для коректного відображення даних автор застосовував географічну координатну систему World Geodetic System 1984 Zone 36-N.

Для побудови карт порядків водотоків використано набір інструментів пакета "Hydrology", який міститься у програмному комплексі ArcToolbox у модулі Spatial Analyst. На етапі попередньої обробки створено шейп-файл досліджуваної території та застосовано функцію "Clip" для вилучення досліджуваного полігону з мозаїчного зображення SRTM. Алгоритм формування карти порядків водотоків полягає в послідовному використанні операцій: "Fill" (заповнення понижень у ґриді), "Flow Direction" (напрямок стоку для кожного пікселя цифрового зображення), "Flow Accumulation" (аккумулятивний потік на основі поверхні ухилу). Наступним кроком є продовження роботи з командами блоку "Hydrology" та

використання функції "Stream Order". Визначено порядок водотоків у растровій моделі. Фінальним кроком є гідрологічне моделювання растрової моделі мережі потоків з конвертацією у векторну модель ("Stream to Feature") та визначення для кожного елементу мережі його порядку.

Застосуванням інструменту "Fishnet" створено клас об'єктів, що містить мережу прямокутних комірок. Для створення сітки використано три основні набори інформації: просторовий розмір ажурної сітки, кількість рядків і стовпців. Розмір сітки виконаного проєкту залежить від розмірів досліджуваного полігону, який становить 123 м x 82 м, відповідно сітка поділена на 25 колонок та 17 рядків. Наступним кроком є обрахування статистичних даних щодо кількості та протяжності створених порядків водотоків.

Після об'єднання даних побудовано карту ізоліній та застосовано інтерполяційний інструмент "Tpo to Raster", спеціально розроблений для створення гідрологічно правильних цифрових моделей рельєфу. За даними довжин водотоків побудовано картосхему базисних поверхонь (рис. 6) та визначено на ній водотоки 3-го та 4-го порядків довжин водотоків з координатами їх витоків.

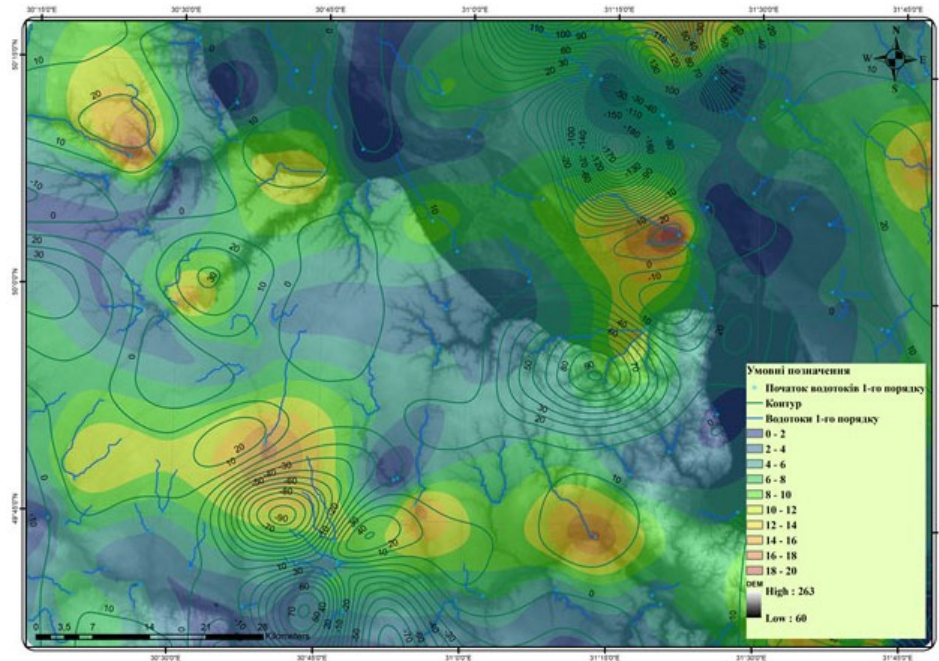


Рис. 6. Картосхема базисних поверхонь Правобережжя Канівського водосховища

Згідно з результируючою картою базисних поверхонь водотоків 3-го порядку найбільш геодинамічно активні зони характерні для м. Українка, м. Канів та Трахтемирівського півострова.

Дослідний полігон Витачів–Стайки має середній рівень геодинамічної активності, що також визначає певний вплив на інтенсифікацію зсувних процесів.

Особливо несприятливими ділянками є місця перетину геодинамічних зон різного напрямку, а саме, зон глибинних розломів, активних на сучасному геологічному етапі розвитку та зон розущільнення гірських порід, які не проявляються у чітко виражених глибинних розломах. Висока проникність гірських порід є одним із чинників підйому ґрунтових вод, що веде до підтоплення територій, порушення фундаментів будівель, підземних комунікацій та інших об'єктів, і як наслідок – підвищується ризик зсувних процесів.

Розрахунок спектрального індексу NDVI. Індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) є важливим інструментом для визначення динаміки зсувних процесів. Збільшення або зменшення NDVI протягом певного періоду може вказувати на динаміку зсувних процесів. Наприклад, раптове зниження NDVI після стабільного періоду свідчить про наявність зсуву та збільшення антропогенного впливу на довкілля. Для розрахунків спектральних індексів було використано знімки супутника Landsat-8 з 2015 по 2023 роки, за період березень–квітень, згідно з проведеними інтерферометричними дослідженнями, з просторовою розрізненістю 30 м. Використано було тільки знімки Landsat, оскільки запуск Sentinel-2, з вищим рівнем просторової розрізненості, відбувся лише у 2016 р. та перші знімки досліджуваного регіону датовані весною 2017 р. Саме тому для коректного порівняння результатів було

розраховано індекси за даними супутника Landsat (Лубський та ін. 2023).

Значення індексу NDVI (рис. 7) коливається від $-0,15$ до $0,96$. Зменшення значень NDVI спричиняє збільшення значень спектрального відбиття у видимому діапазоні та зменшення відбиття у NIR-діапазоні через знищення рослинності, деградацію землі або оголеного ґрунту. Області з негустою рослинністю, такі як деградовані луки та чагарники, мають низькі значення NDVI ($0,2-0,5$). Значення NDVI високі на ділянках із високою густотою рослинності на правобережжі Канівського водосховища.

Загалом результати застосування індексу NDVI демонструють зменшення кількості рослинності в межах дослідної ділянки Витачів–Стайки, зокрема в точках 5–9, які пов'язані з кар'єром з видобутку глини.

Прогнозування розвитку зсувних процесів у межах правобережжя Канівського водосховища. Для ідентифікації зон підвищеної зсувної небезпеки було проаналі-

зовано дані, включаючи дані ЦМР (цифрова модель рельєфу), DEM (цифрова модель рельєфу, отримана за даними Sentinel-1) в поєднанні з геодинамічною активністю, показниками вертикальних зміщень земної поверхні та станом рослинного покриву на досліджуваній території. На основі цього комплексного аналізу було зроблено висновок щодо поширення та стабілізації зсувних процесів.

Картосхему поширення активних зсувних процесів правобережжя Канівського водосховища наведено на рис. 8 за візуальним аналізом отриманих даних у середовищі QGIS, у результаті злиття теоретичних, практичних і розрахункових даних. Крім того, внаслідок зіставлення картосхеми вертикальних зміщень земної поверхні, DEM (де зафіксовані зміни абсолютних висот), картосхеми базисних поверхонь 3-го порядку водотоків та розподілу індексу NDVI, було детально виділено ділянки поширення активних зсувних процесів правобережжя Канівського водосховища.

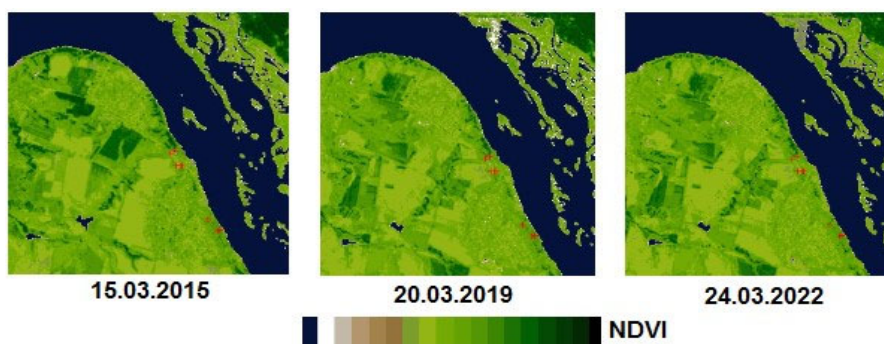


Рис. 7. Просторовий розподіл значення NDVI в межах дослідного полігону

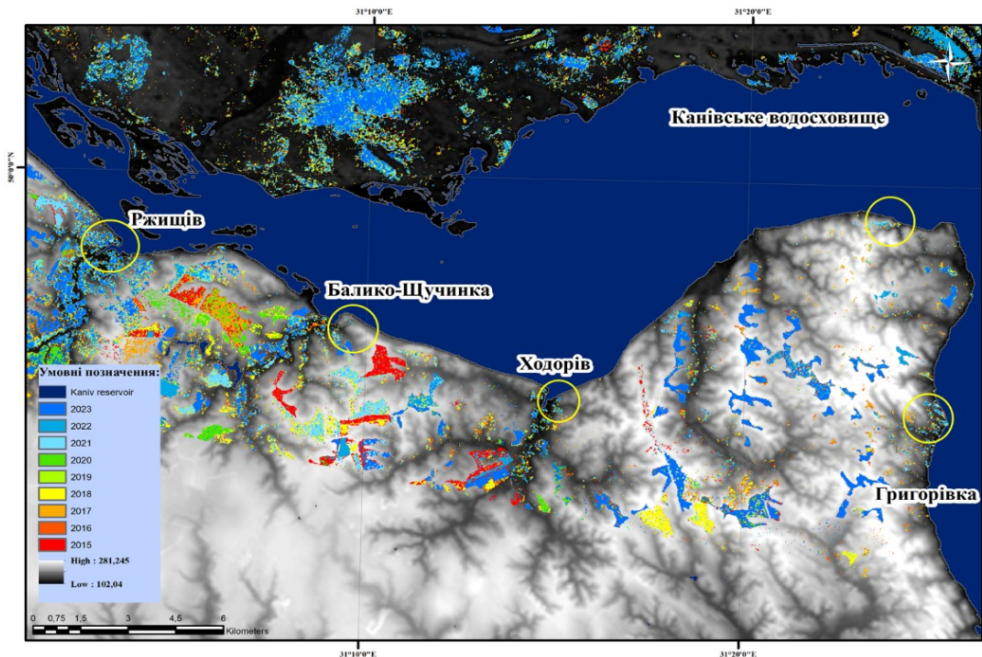


Рис. 8. Картосхема поширення активних зсувних процесів правобережжя Канівського водосховища

Отже, досліджено динаміку активізації зсувів правобережжя Канівського водосховища. Активними потенційними ділянками зсувів є околиці міста Ржищів (рис. 9а), околиці селища Балико-Шучинка (рис. 9б), околиці села Ходорів (рис. 9в), фрагмент на півострові Трахтемирів

(рис. 9г), околиці села Григорівка (рис. 9д). У більшості випадків активний зсув, той що відбувся нещодавно або процес відбувається й надалі, проявляється на результатному зображенні внаслідок процесів відслонення геологічних порід і сповзання значних мас ґрунту.

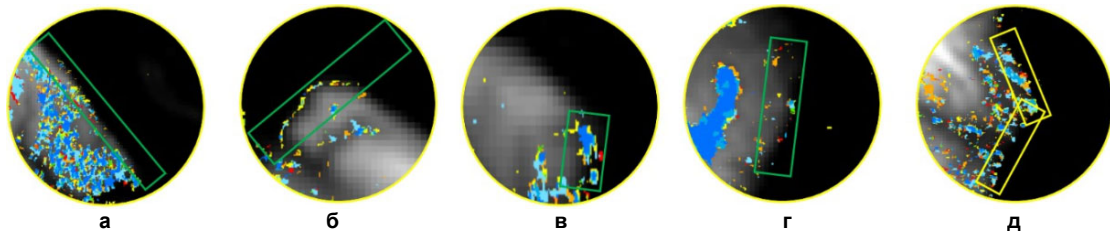


Рис. 9. Збільшений масштаб ділянок з підвищеним ступенем ризику зсувів:
а – околиці міста Ржищів, б – околиці селища Балико-Щучинка, в – околиці села Ходорів,
г – фрагмент на півострові Трахтемирів, д – околиці села Григорівка

Висновки

Отже, комплексне застосування геологічних, геоморфологічних, даних дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій надало можливість виявити ділянки активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів. Побудовано карту вертикальних зміщень земної поверхні для весняного періоду з 2015 по 2023 роки. Швидкість деформації на дослідних ділянках лежить у діапазоні від 1 до 15 см на рік, водночас повільний рух характерний саме для схилів. Аналіз DEM отриманої за даними Sentinel-1 показав, що невисоке (10 м) просторове розрізнення даної зйомки не дало змогу достовірно встановити місця активізованих ділянок схилів і нестабільних ділянок через незначні і регулярні амплітуди коливань, які присутні як на зсувних, так і на стабільних поверхнях. Встановлено регулярну відмінність у показаннях на схилах різних експозицій. Найбільших коливань в аналізованих значеннях зазнають схили, але їх горизонтальне розчленування слабо проявляється. Тому необхідним є застосування не тільки DEM для оцінки розвитку зсувних процесів, але й залучення методики побудови карт активізації вертикальних зміщень за даними Sentinel-1. Згідно з результуючою картою базисних поверхонь водотоків 3-го порядку найбільш геодинамічно активні зони характерні для м. Українка, м. Канів та Трахтемирівського півострова. Дослідний полігон Витачів–Стайки розташований у межах геодинамічної аномалії, що може бути одним із факторів розвитку зсувних процесів і має певний вплив на їхню інтенсифікацію. Проаналізовано динаміку збільшення та зменшення кількості рослинного покриву в межах зсувних ділянок, зафіксовано її зменшення в місцях активних зсувів та незначні коливання для стабільних точок зсувів. Рослинність на правобережжі Канівського водосховища виступає стабілізуючим фактором схилів. Збіг усіх чотирьох досліджуваних показників на тестовій ділянці означає високий рівень геологічної небезпеки, якщо показники збігаються, при цьому маючи близько до нуля значення, ділянка неактивна – ризик низький. Якщо значення одного або двох показників відмінні від нуля, це означає середній рівень небезпеки. За градацією ризиків досліджуваної території створено прогнозну карту потенційно-небезпечних зсувних ділянок правобережжя Канівського водосховища, на яких збігаються дані розрахованих параметрів, серед них околиці м. Ржищів, м. Ходорів, с. Григорівка, с. Балико-Щучинка та півострів Трахтемирів.

Список використаних джерел

- Байрак, Г. (2018). *Методи геоморфологічних досліджень*. ЛНУ імені Івана Франка.
- Беспалова, О. М. (2001). Типи зсувних зміщень правобережжя Середнього Дніпра як відображення мікроструктури глинистих ґрунтів. *Збірник наукових праць інституту геологічних наук НАН України*, 82–90.
- Бурштинська, Х., Василюха, І., Коваль, П. (2007). Технологія побудови цифрової моделі рельєфу для створення плану дна ріки. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, 69, 135–144.

Демчишин, М. Г. (2004). *Техногенні впливи на геологічне середовище території України*. Гнозис.

Демчишин, М. Г. (1992). *Современная динамика склонов на территории Украины*. Наук. думка.

Іванік, О., Тустановська, Л., Кравченко, Д., Гадяцька, К. (2020). Адаптація методики структурно-морфометричного аналізу до середовища ГІС для палеогеоморфологічних досліджень Канівського Придніпров'я. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(89), 6–11. doi:10.17721/1728-2713.89.01.

Кравець, О. Я. (2020). Використання геоінформаційних технологій для дослідження зсувних процесів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 30(2), 113–117. <https://doi.org/10.36930/40300220>.

Ліщенко, Л. П., Пазинич, Н. В., Філіпович, В. Є. (2017). Супутниковий моніторинг розвитку зсувних процесів в Придніпровській зоні м. Києва. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 15, 11–22. doi:10.36023/ujsr.2017.15.111.

Лубський, М., Орленко, Т., Пестова, І., Андреев, А., Лисенко, А. (2023). Оцінка індикаторів опустелювання регіону Олешківські піски за довготривалими часовими рядами даних супутникового знімання Landsat. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 10(1), 17–28. doi:10.36023/ujsr.2023.10.1.229.

Пазинич, Н. В. (2017). Дослідження та прогнозування зсувних явищ Придніпровської зони м. Києва на основі матеріалів дистанційного зондування Землі та геоморфологічних методів. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 13, 10–16. doi:10.36023/ujsr.2017.13.104.

Пересадко, В. А., Лобанова, Ю. Ю. (2008). *Методичні вказівки з побудови карт різнопорядкових долин, базисних поверхонь та залишкового рельєфу для студентів геолого-географічного та екологічного факультетів*. ХНУ імені В. Н. Каразіна.

Орленко, Т. А. (2023). Методика дистанційного моніторингу вертикальних зміщень земної поверхні за даними радарної інтерферометрії. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 10 (3), 16–20. doi:10.36023/ujsr.2023.10.3.247.

Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Alsford, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2). doi:10.1029/2005rg000183.

Kril, T., Shekhunova, S. (2019). Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. *13th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. doi:10.3997/2214-4609.201903176.

Niraj, K. C., Singh, A., Shukla, D. P. (2023). Effect of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) on GIS-Enabled Bivariate and Multivariate Statistical Models for Landslide Susceptibility Mapping. *J. Indian Soc. Remote Sens.*, 51, 1739–1756. doi:10.1007/s12524-023-01738-5.

Sentinel Application Platform (SNAP). (н.д.). <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>.

Snitynskyi, V., Khirivskyi, P., Hnativ, I., & Hnativ, R. (2020). Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian Region Rivers. *Theory and Building Practice*, 1, 9–15. doi:10.23939/tbtp2020.01.009.

Stankevich, S., Piestova, I., Kozlova, A., Titarenko, O., & Singh, S. K. (2020). Satellite radar interferometry processing and elevation change analysis for Geoenvironmental Hazard Assessment. *Techniques for Disaster Risk Management and Mitigation*, 125–139. doi:10.1002/9781119359203.ch10.

Tustanovska, L. V., Ivanik, O. M., Shovkoplyas, T. V., Hadiatska, K. P., Krucheniuk, Y. A. (2020). Geoinformation assessment of Kanivsky Prydniprov'ye Paleorelief by structural morphometry. *International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*. doi:10.3997/2214-4609.2020geo048.

References

- Bayrak, H. (2018). *Methods of geomorphological research*. Ivan Franko National University [in Ukrainian].
- Bespalova, O. M. (2001). Types of landslide displacements of the right bank of the Middle Dnieper as a reflection of the microstructure of clayey soils. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 82–90 [in Ukrainian].
- Burshtynska, H., Vasyliukha, I., Koval, P. (2007). Methodology of construction of Digital Elevation Models of river bottom. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 69, 135–144 [in Ukrainian].
- Demchyshyn, M. H. (2004). *Technogenic influences on the geological core territory of Ukraine*. Gnosis [in Ukrainian].

- Demchyshyn, M.H. (1992). *Modern dynamics of slopes on the territory of Ukraine*. Nauk. dumka [in Ukrainian].
- Ivanik, O., Tustanovska, L., Kravchenko, D., Hadiatska, K. (2020). Adaptation of the method of structural-morphometric analysis to the GIS environment for paleogeomorphological studies of the Kaniv Dnieper. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (89), 6–11. doi:10.17721/1728-2713.89.01 [in Ukrainian].
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2). doi:10.1029/2005rg000183.
- Kravets, O. Ya. (2020). The use of geoinformation technologies in the study of landslide processes. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(2), 113–117. <https://doi.org/10.36930/40300220> [in Ukrainian].
- Kril, T., Shekhunova, S. (2019). Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. *13th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. doi.org/10.3997/2214-4609.201903176.
- Lisichenko, L., Pazynych, N., & Filipovych, V. (2018). Satellite monitoring of landslide development in the Pridneprovskaya Zone of Kyiv. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 15, 11–22. doi:10.36023/ujrs.2017.15.111 [in Ukrainian].
- Lubskyi, M., Orlenko, T., Piestova, I., Andreiev, A., & Lysenko, A. (2023). Evaluation of indicators for desertification risk assessment of Oleshky Sands Desertification based on Landsat Data Time Series. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 10(1), 17–28. doi:10.36023/ujrs.2023.10.1.229 [in Ukrainian].
- Niraj, K. C., Singh, A. Shukla, D. P. (2023). Effect of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) on GIS-Enabled Bivariate and Multivariate Statistical Models for Landslide Susceptibility Mapping. *J. Indian Soc. Remote Sens.*, 51, 1739–1756. doi.org/10.1007/s12524-023-01738-5.
- Orlenko, T. A. (2023). Vertical displacement monitoring technique using radar interferometry data. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 10(3), 16–20. doi.org/10.36023/ujrs.2023.10.3.247 [in Ukrainian].
- Pazynych, N. (2017). Research and forecasting of landslide phenomena of the DNIPER zone of Kyiv based on the remote sensing data and Geomorphological Studies. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 13, 10–16. doi:10.36023/ujrs.2017.13.104 [in Ukrainian].
- Peresadko, V. A., Lobanova, Yu. Yu. (2008). *Methodical guidelines for the construction of maps of different-order valleys, base surfaces and residual relief for students of geological, geographical and ecological faculties*. KhNU named after V. N. Karazin [in Ukrainian].
- Sentinel Application Platform (SNAP). (n.d.). <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>.
- Snitynskyi, V., Khirivskyi, P., Hnativ, I., & Hnativ, R. (2020). Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian Region Rivers. *Theory and Building Practice*, 1, 9–15. doi:10.23939/jtbp2020.01.009.
- Stankevich, S., Piestova, I., Kozlova, A., Titarenko, O., & Singh, S. K. (2020). Satellite radar interferometry processing and elevation change analysis for Geoenvironmental Hazard Assessment. *Techniques for Disaster Risk Management and Mitigation*, 125–139. doi:10.1002/9781119359203.ch10.
- Tustanovska, L. V., Ivanik, O. M., Shovkoplyas, T. V., Hadiatska, K. P., Krucheniuk, Y. A. (2020). Geoinformation assessment of Kanivsky Prydniprov'ye Paleorelief by structural morphometry. *International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*. doi:10.3997/2214-4609.2020geo048.

Отримано редакцією журналу / Received: 15.06.23

Прорецензовано / Revised: 09.09.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Tetiana ORLENKO, PhD Student

ORCID ID: 0000-0002-4933-7750

e-mail: tetianaorlenko@ukr.net

State Institution "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the IGSoF of the NAS of Ukraine", Kyiv, Ukraine

MONITORING OF VERTICAL DISPLACEMENTS OF THE EARTH SURFACE OF THE RIGHT BANK OF THE KANIV RESERVOIR

Monitoring of vertical displacements of the earth's surface on the right bank of the Kaniv Reservoir in the Vytachiv-Stajky region was carried out using the differential radar interferometry (DinSAR) technique. According to the results of observations during the spring period from 2015 to 2023, active landslide areas are displayed. The DinSAR method is briefly described, emphasising data filtering steps for landslide activation mapping. A high data correlation was recorded, and the presence of zones of active shifts on the shore of the reservoir was confirmed. The spread and intensity of landslide manifestations are determined by the peculiarities of the geological and geomorphological structure of the territory, its tectonic, neotectonic and seismic regimes, and hydrological and climatic conditions. Limitations of the method arising from the temporal decorrelation of the radar signal in regions with a large amount of vegetation are determined. Due to the significant decorrelation between the obtained results of forested and watered areas, the DinSAR technique, a digital elevation model (DEM), analysis of base surface maps and the results of spectral index calculations were combined to identify regions of active landslides caused by waterlogging of the Dnieper slopes. The study demonstrates the feasibility of using DinSAR to detect and monitor surface deformation.

Keywords: dangerous geological processes, landslides, monitoring, radar interferometry, GIS.

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 [551.242.1.03+622.831.1](477.6)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.02>

Олександр НІКІТЕНКО, асп., пров. геолог
ORCID ID: 0000-0001-7911-0760
e-mail: paleontologist78@gmail.com
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна
ТОВ "Бренд-Вік ЛТД", Київ, Україна

ПОЛЯ НАПРУЖЕНЬ ТА ГЕОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ЗАХІДНОГО ЗАМИКАННЯ ГОРЛІВСЬКОЇ АНТИКЛІНАЛІ ДОНБАСУ ЧАСТИНА 1. СТРУКТУРНИЙ ПАРАГЕНЕЗИС

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

На основі кінематичних методів дослідження тріщино-розривних структур у поєднанні з традиційними геолого-структурними методами вивчено структурно-тектоніфізичні особливості і закономірності формування геологічної структури західного периклінального замикавання Горлівської антиклінали Донбасу. Вивчено кінематику, морфологічні особливості і вікові взаємовідношення тектонічних розривів досліджуваного району. Виділено структурний парагенезис деформаційних елементів гірського масиву.

Ключові слова: геологічна структура, зсуви, зсувна зона, штрихи ковзання, структурний парагенезис.

Вступ

Постановка проблеми. Знання закономірностей і механізмів утворення, просторового розташування тектонічних дислокацій має важливе теоретичне значення – створення фізичної теорії розвитку деформаційних процесів у земній корі, і прикладне – використання при пошуках і розвідці родовищ корисних копалин або прогнозуванні гірничо-геологічних умов їх розробки. Це є актуальним для вуглевидобувних підприємств, розташованих у межах великої складно побудованої деформаційної структури – Горлівської антиклінали Донецького басейну, у зв'язку з потребою освоєння глибших горизонтів, що супроводжується виникненням ряду ускладнювальних чинників.

Аналіз попередніх досліджень. Оцінці геологічної структури західної частини Горлівської антиклінали Донбасу, як її крил з численними вуглевидобувними підприємствами, так і присклепінної частини, в якій розташоване Микитівське рудне поле, присвячені дослідження О.О. Бабица, Ю.В. Буцика, О.М. Добрянського, В.Є. Забигаїла, Є.Є. Захарова, Р.М. Корольова, В.О. Корчемагіна, В.В. Лукінова, І.Л. Нікольського, І.А. Очеретенка, Л.І. Пімоненко, М.І. Погребнова, В.С. Попова, В.Ф. Приходченка, Н.В. Сахневич, В.С. Токовенка та інших геологів. Відносна проста загальна будова Горлівської антиклінали ускладнена розривними і складчастими формами тектоніки. Щодо осі основної складчастої структури головними системами великих розривів є поздовжні (у присклепінних ділянках), діагональні (переважно на крилах), субширотні і субмеридіональні системи здебільшого насувів, малоамплітудних – діагональні системи як скидів, так і насувів, що згруповані в зони, більшість яких пов'язана із середньо- та великоамплітудними насувами поздовжнього простягання (Приходченко, 1998). З урахуванням особливостей розподілу і морфології малоамплітудних розривів і параметрів вторинної складчастості західна частина південного крила Горлівської антиклінали розглядається як область тангенціального стискання, північного – область розтягування (Забигаїло і др., 1994). Найбільш дислокованою є склепінна частина Горлівської антиклінали, характерною особливістю якої є широкий розвиток дрібних складчастих структур другого порядку. Відзначається, що структурні форми Микитівського рудного поля підпорядковуються певним закономірностям, пов'язаним насамперед із чітко вираженою кулісоподібністю у будові їх взаємного розташування, що є слушним для елементів різного ієрархічного рівня: ряду ешелонованих купольних структур, поздовжніх і діагональних

розривів, тріщинних зон, причому за крутоспадними розривами північно-західного орієнтування практично повсюдно фіксуються праві зсуви, а за субмеридіональними і північно-східними – ліві (Емец і др., 1986; Корчемагін, 1970; Нікольський і др., 1960, 1983, 1991; Панов і др., 1983).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на детальну вивченість західної частини Горлівської антиклінали щодо структурного парагенезису деформаційних елементів, полів напружень, а також механізму структуроутворення, слід зазначити, що зона західного периклінального замикавання Горлівської антиклінали залишається менш вивченою. Останнім часом, у міру розвитку гірничих робіт у межах поля шахти "Новодзержинська", яка розташована на самому західному периклінальному замиканні Головної антиклінали, здійснювалися структурно-тектоніфізичні дослідження, в результаті яких отримано нові дані про геологічну структуру цього району і кінематику розривів.

Формулювання цілей статті. Основною метою досліджень є вивчення структурно-тектоніфізичних особливостей і закономірностей формування геологічної структури і тектонічних розривів західного периклінального замикавання Горлівської антиклінали для прогнозу гірничо-геологічних умов розробки вугільних родовищ. Основними завданнями є: (1) вивчення кінематики, морфологічних особливостей та вікових взаємовідношень тектонічних розривів; (2) виокремлення структурних парагенезисів деформаційних елементів гірського масиву і визначення механізму їх утворення.

Методи дослідження. Методичною основою досліджень є кінематичні методи вивчення тріщино-розривних структур у поєднанні з традиційними геолого-структурними методами: (а) структурно-морфологічний аналіз тектонічних елементів досліджуваного регіону; (б) польові структурно-тектоніфізичні спостереження в гірничих виробках з докладним документуванням морфології та кінематики деформаційних елементів гірського масиву; (в) тектоніфізичні і статистичні методи аналізу тріщино-розривних структур із застосуванням сітки стереографічних проєкцій і спеціалізованих програмних продуктів. Вихідними даними для кінематичних реконструкцій є просторові і кінематичні характеристики тектонічних порушень, отримані впродовж польових тектоніфізичних досліджень гірничих виробок у межах шахтного поля шахти "Новодзержинська".

Виклад основного матеріалу дослідження. Горлівська антикліналь є лінійною, майже симетричною складкою, що простежується з південного сходу до

© Нікітенко Олександр, 2023

північного заходу за азимутом 290–300° на відстань близько 30 км (рис. 1). Кути падіння порід на крилах антикліналі становлять 55–65° (південне крило є дещо похилішим). Західне замикання антикліналі відокремлюється від крил Північним і Головним насувами на півночі і на півдні відповідно. Статистично основну масу розривних зміщень антикліналі становлять згідні праві підкидо-зсуви, менше поширеними є ліві підкидо-зсуви і скидо-зсуви, праві скидо-зсуви, а також поперечні підкиди і скиди; оригінальними є підсуви і відсуви з різним напрямком падіння зміщувачів. Незалежно від величини стратиграфічної амплітуди, розриви утворюють кілька чітко виражених систем. Так, у західній частині Горлівської антикліналі на її південному крилі розриви здебільшого утворюють дві діагональні системи, серед яких найчисленнішими є субширотні підкидо-зсуви, зсуви, менше – північно-західні підкидо-зсуви (рис. 1а), на північному крилі – переважно діагональні підкидо-зсуви широтного простягання, а також діагональна система північно-західних підкидо-зсувів і дві системи північно-східних скидів (рис. 1б). Винятком є близпериклінальна частина північного крила складки, де домінують скиди і скидо-зсуви: поперечні південно-східні скиди, система субмеридіональних скидо- і підкидо-зсувів, діагональні системи підкидо- і скидо-зсувів субширотного простягання (рис. 1в) (Погребнов и др., 1985). Окрім розривів будова склепіння антикліналі ускладнена через майже рівні інтервали (у середньому 1,7 км) у центральній частині Микитівського рудного поля, чотири крупніших – приблизно на рівних відстанях (3–3,5 км) до сходу і заходу від центральної частини рудного поля (рис. 1). Перші, добре виражені у рельєфі як підняття, різко обмежуються від крил антикліналі поздовжніми розривами; їх шарніри становлять із віссю антикліналі кут 30–60°. Другі – не виражені у рельєфі, обмежені розривами тільки від південного крила і безпосередньо переходять до північного крила; їх шарніри простежуються під кутом 20–25° до осі антикліналі (Корчеманін, 1970).

Поле шахти "Новодзержинська" розташоване на західному периклінальному замиканні Горлівської антикліналі, яка тут кулісоподібно з'єднується з Дружківсько-Костянтинівською антикліналлю (рис. 1, 2). У геологічній будові шахти беруть участь відклади світ C_2^7 , C_2^6 і C_2^5 середнього карбону; за літологічним складом вугленосні відклади представлені перешаруванням аргілітів, алевролітів, пісковиків, які включають пласти впаляків невеликої товщини та вугільних пластів і прошарків. Складка на цій ділянці має конічну геометрію, породи плавно вигинаються зі змінням простягання від субширотного до субмеридіонального, а далі до південно-східного, похило (у середньому 22–25°), занурюючись до північно-північного заходу і до південного заходу. Осьова поверхня нахилена до південного заходу, шарнір складки поступово занурюється в північно-західному напрямку під кутами 5–7°. Від крил складки шахтне поле обмежується тектонічними розривами, північною межею якого є Алмазний скид північно-західного орієнтування з крутоспадним до півночі зміщувачем, південно-східною – широтний Головний насув, зміщувач якого занурюється до півдня. За обома порушеннями встановлено значні правозсувні рухи. Поле шахти ускладнене диз'юнктивними порушеннями різних напрямків і різних порядків, які за своїм положенням до простягання осі Головної антикліналі розподіляються на два типи: поздовжні, приурочені до осьової частини антикліналі; поперечні – розвинені здебільшого в північному крилі.

За особливостями геологічної будови – витриманістю, товщиною і якістю вугільних пластів, складною

тектонічною будовою, відносно простими гірничо-геологічними умовами розробки – поле шахти належить до II групи складності. Складна тектонічна будова площі, ступінь метаморфізму вугільних пластів і глибина їх залягання визначають характер метаносності шахтного поля: зона метанового вивітрювання сягає глибини 100–120 м, природна газососність коливається від помірної до високої. Тобто відпрацьовування всіх вугільних пластів відбувається в зоні метанових газів, супроводжуючись постійним підвищенням виділенням метану, епізодичними короточасними суфлярами, газопроявами в зонах тектонічних порушень. Шахта є надкатегорійною за метаном і небезпечною за вугільним пилом (Валентей, 1986).

З огляду на особливості геологічної будови поле шахти було розділене на два структурних блоки, розмежовані зоною Осьового насуву, зміщувач якого в межах шахтного поля має похиле південне падіння: перший блок, I – з переважно північним і другий блок, II – з переважно південно-західним падінням порід (рис. 2). Простіший за тектонічною будовою другий блок за простяганням обмежений зміщувачами Осьового і Головного насувів на північному заході і південному сході відповідно. Залягання порід тут слабохвилясте, диз'юнктивна порушеність незначна. Перший блок характеризується складнішою геологічною структурою. Він насичений численними розривами та інтенсивними плікативними дислокаціями. Серед диз'юнктивів переважають розриви трьох просторових орієнтувань (рис. 2а): крутоспадні меридіональні (азимут падіння $272^\circ \angle 80^\circ$) і північно-західні (аз. пад. $40^\circ \angle 75^\circ$), а також похилі північно-західного простягання (аз. пад. $205^\circ \angle 40^\circ$).

За характером тектонічних дислокацій перший блок, у свою чергу, також було розділено на два домени (рис. 2). Один з них, Д₁, охоплює східну частину блоку, де розвинена потужна (ширина до 300 м) зона крутоспадних розривів північно-західного орієнтування (аз. прост. $305\text{--}310^\circ$), яка гірничими і розвідувальними роботами трасується на схід до склепіння Головної антикліналі (500–800 м за окремими розривами), де об'єднується з Осьовим насувом. Вона складена декількома субпаралельними кулісоподібно розташованими зміщувачами (відстань між кулісами 100–150 м), що круто падають переважно на північний схід (аз. пад. $40^\circ \angle 70\text{--}80^\circ$) (рис. 2, Д₁). Нормальна амплітуда зміщення за окремими найкрупнішими зміщувачами становить 10–20 м. Штрихи, заміряні на поверхнях зміщувачів цих порушень, мають кут нахилу 10–30°, що з урахуванням видимого зміщення маркерів дає змогу охарактеризувати їх як праві скидо-зсуви. Простір між цими розривами розсічений системою практично ортогональних до них лівих скидо-зсувів, які морфологічно являють собою крутоспадні розриви північно-східного простягання (аз. прост. $20\text{--}25^\circ$) з нормальними амплітудами зміщення до 5–7 м. За простяганням ці порушення простежуються на 400 м і обмежуються зазвичай зміщувачами основних правих зсувів. Враховуючи кінематику і просторове орієнтування, ці дві системи розривів, північно-західні праві і північно-східні ліві скидо-зсуви, можна вважати спряженою парою сколів.

Структура західної частини першого блоку зумовлюється насамперед виявленою тут гірничими роботами брахіантклінальною складкою (рис. 2, Д₂), яка починає чітко простежуватися за даними гірничих робіт на глибинах понад 450 м і в сучасному ерозійному зрізі не відображена. На сучасній глибині розвитку гірничих робіт чітко фіксується перикліналь (особливо за пластами I_5 , I_4^e , I_3 , I_2^1) і північне крило складки, її південне крило зрізане системою похилих розривів, що належать до системи Осьового насуву. На стереограмі (рис. 2г) полюси площин

нашарування розсіюються за малокруговою траєкторією, чітко фіксуючи конічний характер цієї складки, основні геометричні елементи якої характеризуються таким заляганням: шарнір – аз. пад. $275^{\circ}/20^{\circ}$; осьова поверхня – аз. пад. $188^{\circ}/82^{\circ}$. Перегин слоїв у склепінні плавний, усереднені елементи залягання порід у крилах:

аз. пад. $347^{\circ}/34^{\circ}$ (північне) і $267^{\circ}/18^{\circ}$ (південно-західне). За своїми розмірами ($1,4 \times 0,6$ км за гор. –502 м), геометричними параметрами і просторовим орієнтуванням ця купольна складка подібна до куполоподібних складок Микитівського рудного поля і розташованих на захід від нього Диліївської та Держинської брахіантиклінальних складок.

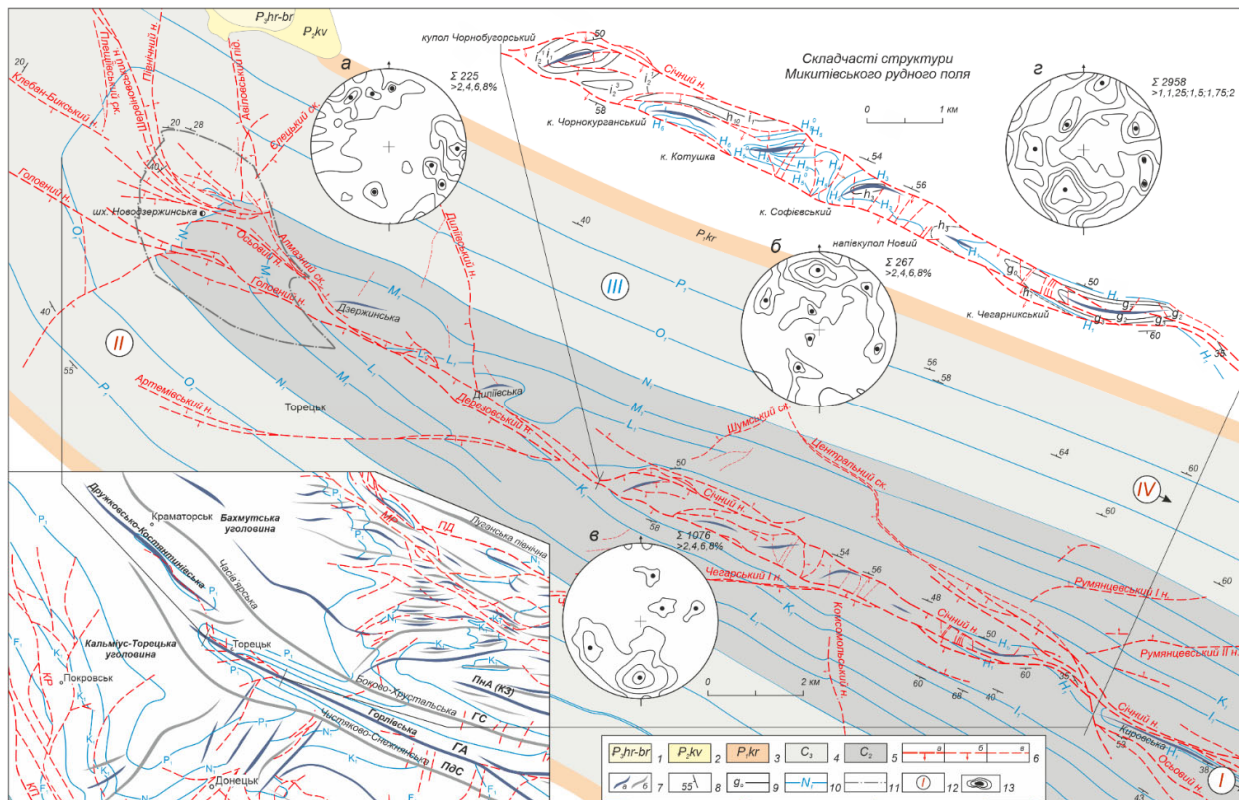


Рис. 1. Геолого-структурна карта західної частини Горлівської антикліналі

Пояснення до рис. 1:

Геолого-структурна карта західного замикання Горлівської антикліналі (за Левенштейн, 1977) і тектонічна схема палеозойського структурного поверху Донецького басейну (за Попов, 1963) (врізка знизу ліворуч): ГА – Головна антикліналь; ПНА (КЗ) – Північна антикліналь (Ковпаківсько-Замчалівська); ГС – Головна синкліналь; ПДС – Південна синкліналь; ПД – Північнодонецький насув; М – Мар'їнський насув; К – Красноармійський насув; КП – Криворізько-Павлівський скид.

1 – верхній палеоген; 2 – верхній еоцен; 3 – нижня перм; 4 – верхній карбон; 5 – середній карбон; 6 – тектонічні розриви та їх характеристики (н. – насув, ск. – скид, під. – підкид); а – регіональні, б – локальні і покривальні, в – невідновленого типу; 7 – осі: а – антикліналей (флексур), б – синкліналей; 8 – елементи залягання порід (напрямок і кут падіння); 9 – вугільні пласти та їх індекси; 10 – вапняки та їх індекси (границі свит карбону); 11 – межі поля шахти "Новодзержинська" (горизонт – 585 м); 12 – тектонічні зони (I – область великого тангенціального стискання, II і IV – області тангенціального стискання; III – область розтягування); 13 – ізолінії щільності розподілу полюсів розривів.

Стереограми орієнтування тріщинно-розривних структур (а-в) (Корчемагин, 1970; Погребнов и др., 1985.): а – північне крило Горлівської антикліналі (Горлівсько-Микитівська ділянка, у безпосередній близькості від перикліналі складки); б – північне крило Горлівської антикліналі (Горлівсько-Микитівська ділянка); в – південне крило Горлівської антикліналі (Горлівсько-Єнакієвська ділянка), а – Микитівське рудне поле

Характер тектонічної порушеності порід цього блоку дещо відрізняється від структурного рисунку, спостережуваного у зазначеній вище зсувній зоні. Тут переважають поздовжні осі брахіантикліналі похилі насуви, що падають назустріч один одному (аз. пад. $190-200^{\circ}/20-30^{\circ}$ та $360^{\circ}/30^{\circ}$), які належать до системи Осьового насуву. Нормальна амплітуда зміщення за окремими порушеннями сягає 20 м. Штрихи на поверхнях зміщувачів орієнтовані переважно за падінням. У крилах насувів розвинені численні крутоспадні розриви, найбільші і протяжні з яких (з амплітудою 3–4 м) мають північно-західне орієнтування (аз. пад. $60^{\circ}/75^{\circ}$). Серед дрібніших, з амплітудами від дециметрів до 1,0–1,5 м, розвинених переважно в західних крилах похилих насувів, переважають меридіональні і північно-східні розриви (аз. пад. $270^{\circ}/70-75^{\circ}$ і $310^{\circ}/70^{\circ}$, $110^{\circ}/55-60^{\circ}$ відповідно), характерною особливістю яких

є незначна довжина за простяганням (рис. 2а). Зароджуючись у вигляді тектонічних тріщин за кілька дециметрів – перші метри від основного зміщувача, вони швидко, на протязі декількох метрів, досягають максимальної амплітуди і через 20–30 м за простяганням повністю затухають. Кінематика розривів різноманітна – від зсувів до скидів; кількісно переважають скидо-зсуви. Для основних зміщувачів північно-західного простягання встановлена правозсувна складова, для покривальних північно-східних – лівозсувна. Полюси цих розривів формують кілька максимумів, що розсіюються вздовж спільного поясу симетрії, просторове орієнтування якого близьке до елементів залягання Осьового насуву (рис. 2б). Статистичний аналіз орієнтування штрихів і борозн на поверхнях дзеркал ковзання, заміряних у цій зоні, також виявляють симетрію цих лінійних елементів відносно положення поверхні

Осьового насуву: вони утворюють кілька поясів, один з яких збігається зі слідом поверхні основного зміщувача, а два інші малокругових пояси мають спільну вісь симетрії, що лежить у площині насуву (рис. 2в). Наведені дані дають змогу припустити, що посування за всією сукупністю

розривів у виділеному домені були підпорядковані генеральному зміщенню породного масиву за площиною основного розриву (Павлов и др., 2011; Nikitenko, & Chernysh, 2015; Volkova et al., 2016).

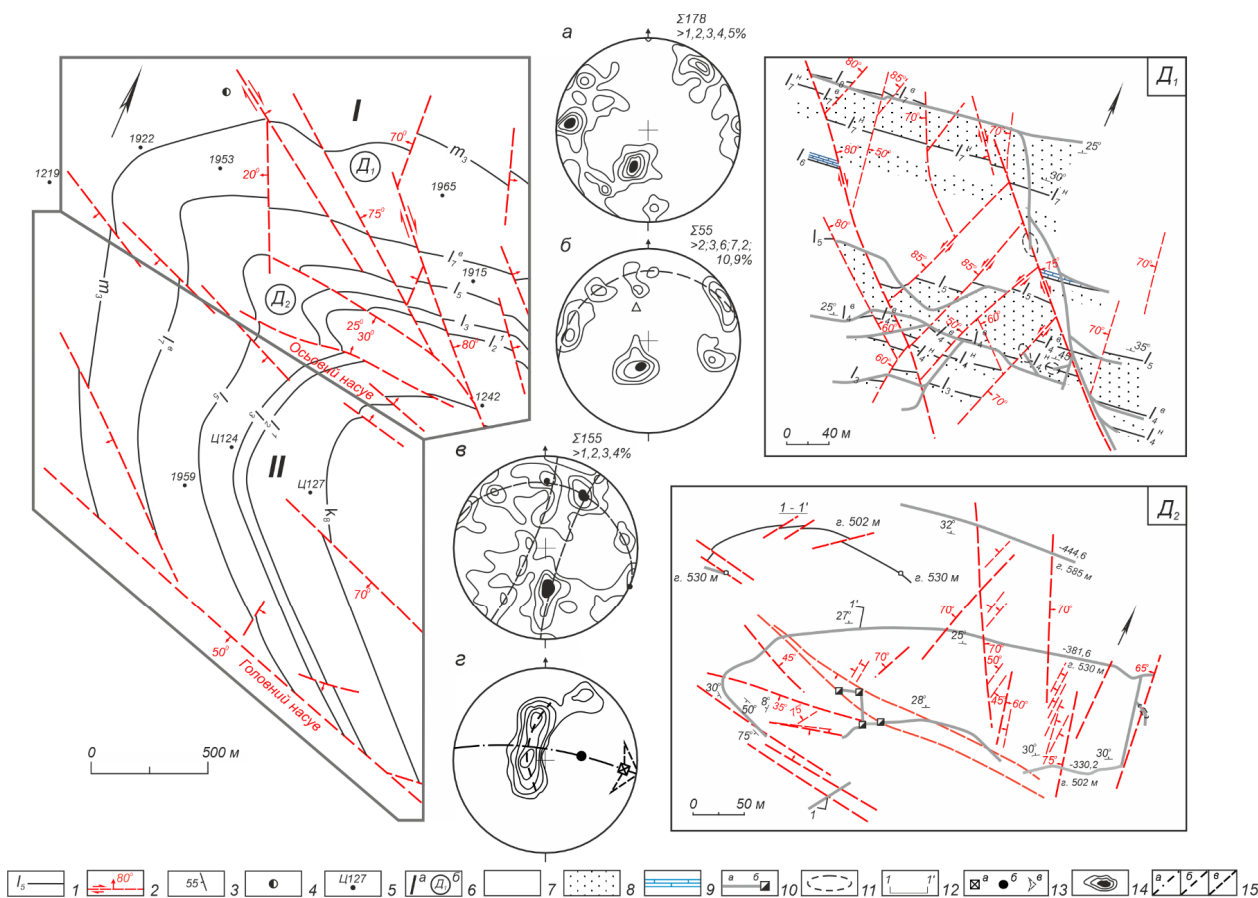


Рис. 2. Геологічна структура західного периклінального замикання Горлівської антикліналі

Пояснення до рис. 2:

Структурна схема поля шахти "Новодзержинська" (за планом горизонту –502 м; ліва частина рисунку): 1 – вугільні пласти та їх індекси; 2 – тектонічні розриви (напрямок і кут падіння зміщувача, напрямки зсувних рухів); 5 – елементи залягання порід (напрямок і кут падіння); 6 – шахтний стовбур; 7 – розвідувальні свердловини; 8 – структурні елементи: а – блоки, б – домени.

Морфологія зсувної зони (D_1), брахіантиклінальна складка і тектонічні розриви зони Осьового насуву (D_2 ; викопіювання з плану гірничих робіт по пласту I_2^1): 7 – аргіліти і алевроліти; 8 – пісковики; 9 – вапняки; 10 – гірничі виробки: а – горизонтальні (штреки), б – вертикальні (підняття); 11 – завали гірничих виробок; 12 – лінія розриву.

Стереограми орієнтування тріщинно-розривних структур (а-в) і розподілу полюсів площин нашарування (г): а – тектонічні розриви I блоку, б – тектонічні розриви зони Осьового насуву, в – орієнтування штрихів і борозн ковзання на дзеркалах у зоні Осьового насуву, г – геометричні елементи брахіантиклінальної складки (домени D_2) (зверху праворуч вказано кількість вихідних даних і інтервал оконтурювання).

13 – шарнір (а) складки, вісь конуса (б) і трикутник β -перетинів (в); 20 – ізолінії щільності розподілу полюсів розривів і площин нашарування; 21 – осьова (а) поверхня складки і площина нашарування (б), слід поясів симетрії (в).

Висновки

Просторове положення, морфологія і кінематика описаних деформаційних структур свідчить про прояв поздовжніх осей антикліналі правих зсувних зміщень у формуванні структури західного периклінального замикання Горлівської антикліналі. Ознаками прояву зсувної деформації є спряженість зсувних зміщень за поперечними і поздовжніми до осей антикліналі розривами, кулісоподібність у будові і розташуванні основних структурних деформаційних елементів. До структур, що свідчать про прояв таких деформацій на досліджуваній ділянці Горлівської антикліналі, можна віднести:

1. Північно-західні і північно-східні, приблизно одновікові, системи розривів, що беруть участь у будові виявленої зсувної зони. Уздовж перших, що мають кулісоподібну будову, відзначаються правозсувні зміщення, уздовж

других – ліва зсувна складова зміщень. У цілому, можна стверджувати, що існує певна залежність між просторовим орієнтуванням розривів та їхньою кінематикою: за крутопадаючими розривами найчастіше фіксуються зсувні зміщення (іноді з косим зміщенням крил – скидо-і підкидо-зсуви), за північно-західними – праві, за меридіональними і північно-східними – ліві.

2. Брахіантиклінальну складку другого порядку із субширотними насувами, що ускладнюють її крила, шарнір якої начебто повернутий проти годинникової стрілки відносно простягання осей антикліналі. Слід зазначити збіг геометричних параметрів і просторового орієнтування (характер кулісоподібності) в розташуванні складки західної частини Горлівської антикліналі, цієї і низки східніших, і Микитівського рудного поля, що певною мірою може свідчити про їхній зв'язок із розглянутими тектонічними рухами.

Ще однією ознакою прояву зсувної деформації може бути діагональна до простягання осі антикліналі орієнтація поля тектонічних напружень. У цьому випадку виникнення зсувної зони і складчастості другого порядку з насувами, що ускладнюють її крила, можна вважати взаємопов'язаними процесами, похідними тектонічних зміщень північно-західного напрямку, пов'язаними з післяскладчастим періодом формування структури району. Реконструкція полів напружень і деформацій для західного периклінального замикання Горлівської антикліналі підтверджує ці уявлення.

Список використаних джерел

- Валентей, П.П. (Ред.) (1986). Геологический отчет о переоценке запасов каменного угля поля шахты "Новодзержинская" ПО "Дзержинскуголь". Отчет Центрально-Донбасской ГРЭ ПО "Укруглегеология". Т. 1. ПО "Укруглегеология".
- Емец, В.С., Никольский, И.Л., Корчемагин, В.А., Купенко, В.И. (1986). Механизм образования структуры Никитовского рудного поля (Донбасс) по данным тектонофизических реконструкций и экспериментального моделирования. *Геологический журнал*, 46(1), 21–27.
- Забигайло, В.Е., Лукинов, В.В., Пимоненко, Л.И., Сахневич, Н.В. (1994). *Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса*. Наукова думка, с. 76–112.
- Корчемагин, В.А. (1970). *Трещинная тектоника и история развития структуры Никитовского рудного поля* [Дис. канд. геол.-минералог. наук, ДПИ].
- Левенштейн, М.Л. (Ред.) (1977). *Геологическая карта Донецкого бассейна масштаба 1 : 25 000*. Подсерия Донецкая. Центральный геологический район. Листы М–37–124–Г–а, б, в, г. Киевгеология.
- Никольский, И.Л., Добрянский, А.М., Корчемагин, В.А., Новичкова, Н.И. (1960). Изучение структурных особенностей и микротектоники Никитовского рудного поля. *Отчет о НИР Х/Б №50–60*. ДПИ.
- Никольский, И.Л., Кирилкица, С.И., Корчемагин, В.А. (1983). Структура Никитовского рудного поля. *Геологический журнал*, 3, 102–107.
- Никольский, И.Л., Корчемагин, В.А., Емец, В.С., Кледич, О. (1991). *Тектоника Никитовского рудного поля*. В А. Иванова и А. Оболенский (Ред.) *Условия локализации сурьмяно-ртутного и флюоритового оруденения в рудных полях*, с. 30–37. Наука, Сиб. отд.-ние.
- Павлов, И.О., Никитенко, А.В., Ткаченко, В.В. (2011). Кинематика разрывов и поля напряжений западного замыкания Главной антиклинали Донбасса. *Вугілля України*, 7, 43–45.
- Панов, Б.С., Корчемагин, В.А., Емец, В.С. (1983). Разработка и внедрение метода тектонофизических исследований для целей локального прогноза ртутной минерализации на Никитовском рудном поле. *Отчет о НИР*. ДПИ.
- Погребнов, Н.И., Очеретенко, И.А., Трощенко, В.В. (1985). *Структурная геология Донецкого угольного бассейна*. Недра. 110–113.
- Попов, В.С. (1963). *Тектоническая схема палеозойского структурного этажа Донецкого бассейна*. В И.А. Кузнецов (Ред.) *Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. I. Угольные бассейны и месторождения юга европейской части СССР*. Госнаучтехиздат.
- Приходченко, В.Ф. (1998). *Палеотектонічні умови утворення та закономірності просторового розташування малоамплітудних розривів вугленосної формації Донбасу* [Автореф. дис. д-ра геол.-мінералог. наук, Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України].
- Nikitenko, O.V., & Chernysh, O.G. (2015). Use of the kinematic method for reconstruction of stress fields and mechanisms of the structure development in Donbas (on an example of the western closure of Horlivka anticline). *Геодинаміка*, 2(19), 47–54.

Volkova, T.P., Nikitenko, O.V., & Chernysh, O.G. (2016). Structural and tectonophysical aspects of the development of the western closure of the Horlivka anticline of the Donbas. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, 6, 5–13.

References

- Emets, V.S., Nikolskii, I.L., Korchemagin, V.A., & Kупенко, V.I. (1986). Mechanism of structure formation of the Nikitovka ore field (Donbass) according to tectonophysical reconstructions and experimental modelling. *Journal of Geology*, 46(1), 21–27 [in Russian].
- Korchemagin, V.A. (1970). *Joint tectonics, mechanism, and history of structure formation of the Nikitovka ore field* [Thesis Cand. Sci (Geol.-Min.), DPI] [in Russian].
- Levenshtein, M.L. (Ed.) (1977). *Geological map of the Donetsk basin at 1 : 25,000 scale*. Donetsk subseries. Central geological area. Sheets M–37–124–G–a, b, c, d. Kyivgeologiya [in Russian].
- Nikitenko, O.V., & Chernysh, O.G. (2015). Use of the kinematic method for reconstruction of stress fields and mechanisms of the structure development in Donbas (on an example of the western closure of Horlivka anticline). *Geodynamics*, 2(19), 47–54.
- Nikolskii, I.L., Dobrianskii, A.M., Korchemagin, V.A., & Novichkova, N.I. (1960). Structural features and microtectonics of the Nikitovka ore field. *Research report №60–50*. DPI [in Russian].
- Nikolskii, I.L., Kirikilitsa, S.I., & Korchemagin, V.A. (1983). Structure of the Nikitovka ore field. *Journal of Geology*, 3, 102–107 [in Russian].
- Nikolsky, I.L., Korchemagin, V.A., Emets, V.S., & Kledich, O. (1991). Tectonics of the Nikitovka ore field. In A. Ivanova and A. Obolensky (Eds.), *Conditions of localisation of antimony-mercury and fluorite mineralisation in ore fields*, pp. 30–37. Nauka, Siberian Branch [in Russian].
- Panov, B.S., Korchemagin, V.A., & Emets V.S. (1983). Elaboration and application of the tectonophysical study method for local prediction of mercury mineralisation in the Nikitovka ore field. *Research report*. DPI [in Russian].
- Pavlov, I.O., Nikitenko, A.V., & Tkachenko, V.V. (2011). Fault kinematics and stress fields of western closure of Main anticline of Donbas. *Coal of Ukraine*, 7, 43–45 [in Russian].
- Pogrebnev, N.I., Ocheretenko, I.A., & Troshchenko, V.V. (1985). *Structural geology of the Donetsk coal basin*. Nedra. 110–113 [in Russian].
- Popov, V.S. (1963). *Tectonic scheme of the Palaeozoic structural floor of the Donetsk Basin*. In I.A. Kuznetsov (ed) *Geology of coal and oil shale deposits of the USSR. Volume I. Coal basins and deposits of the southern European part of the USSR*. Gosnauchtekhizdat [in Russian].
- Prikhodchenko, V.F. (1998). *Paleotectonic conditions of formation and regularities of spatial location of low-amplitude faults of the Donbas coal formation* [Extended abstract of Doctor's thesis (Geol.-Min.), Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the National Academy of Sciences of Ukraine] [In Ukrainian].
- Valentey, P.P. (1986). Geological report on reassessment of coal reserves of the field of the Novodzerzhinska mine of PA "Dzerzhinskugol". *Report of the Central Donbass Geological Survey of PA "Ukruglegeologia" №48914*. PA "Ukruglegeologia" [in Russian].
- Volkova, T.P., Nikitenko, O.V., & Chernysh, O.G. (2016). Structural and tectonophysical aspects of the development of the western closure of the Horlivka anticline of the Donbas. *Scientific Bulletin of the National Mining University*, 6, 5–13.
- Zabygaylo, V.E., Lukinov, V.V., Pimonenko, L.I., & Sakhnevych, N.V. (1994). *Tectonics and mining and geological conditions of the Donbas coal deposits development*. Naukova dumka [in Russian].

Отримано редакцією журналу / Received: 04.05.23

Прорецензовано / Revised: 19.08.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Oleksandr NIKITENKO, Leading Geologist
ORCID ID: 0000-0001-7911-0760
e-mail: paleontologist78@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
LLC "Brend-Vik LTD", Kyiv, Ukraine

STRESS FIELDS AND GEOLOGICAL STRUCTURE OF WESTERN CLOSURE OF HORLIVKA ANTICLINE OF DONBAS PART 1. STRUCTURAL PARAGENESIS

Based on kinematic methods of studying fault and fracture structures in combination with traditional geological and structural methods, the structural and tectonophysical features and formation regularities of the geological structure of the western periclinal closure of the Horlivka anticline of the Donbas were studied. The kinematics, morphological features, and age relationships of tectonic faults in the study area were investigated. The structural paragenesis of the deformation elements of the rock massif was highlighted.

Key words: geological structure, strike-slip faults, shear zone, slickenlines, structural paragenesis.

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 551:030(477)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.03>

Микола ЖЕЛЕЗНЯК, канд. філол. наук
ORCID ID: 0000-0002-8290-6345
e-mail: mykola@esu.com.ua
Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, Київ, Україна

Олександр ІЩЕНКО, канд. філол. наук
ORCID ID: 0000-0002-8910-111X
e-mail: ishchenko@nas.gov.ua
Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, Київ, Україна

Сергій БОРТНИК, д-р геогр. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-0886-5861
e-mail: sergiy.bortnyk@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна
Університет Яна Кохановського в Кельцах, Кельце, Польща

УКРАЇНСЬКІ ЕНЦИКЛОПЕДІЇ ТА СЛОВНИКИ В КОНТЕКСТІ ПОШИРЕННЯ ГЕОЛОГІЧНИХ ЗНАЇ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.М. Загнітком)

Здійснено огляд енциклопедичних і словникових видань, присвячених геологічним наукам. Акцентовано на відсутності комплексної української геологічної енциклопедії та наведено аргументи необхідності її створення. Обґрунтовано важливість словників, що репрезентують галузеву термінологію, зокрема геологічну: "Словник геологічної термінології" (1923), "Російсько-український геологічний словник" (1959), "Російсько-український словник геологічних термінів" (1993), "Російсько-український геологічний словник" (2011), "Українсько-французько-англійський словник з геології, геофізики, буріння свердловин та нафтогазопромислової справи" (2011), "Російсько-український геологічний словник" (2016), "Геологічний словник: відкритий навчально-науковий вебресурс" (2017), "Російсько-український геологічний словник" (2018), "Словник геологічних термінів: українсько-російсько-англійський" (2020); решта – мінералогічні, гірничі, петрографічні, геодезичні тощо. Наголошено, що наявні енциклопедичні й лексикографічні видання, попри їх доволі велику кількість (сукупно виявлено понад 40 джерел), не забезпечують українського споживача знаннями зі всіх наук геологічного циклу, адже в окремих галузях створено низку словників та енциклопедичних видань, в інших – жодних. Привернуто увагу до проблеми поширення у сфері навчання галузевих енциклопедично-словникових видань у часи великої популярності довідкового інтернет-ресурсу "Wikipedia". Автори роблять висновок про необхідність створення сучасної геологічної енциклопедії як єдиного джерела достовірних довідкових знань з геології українською мовою.

Ключові слова: геологія, мінералогія, петрографія, гірнича справа, галузеві енциклопедії, галузеві словники, геологічна енциклопедія, геологічна термінологія.

Вступ

Постановка проблеми. Геологія, за оцінками окремих дослідників, належить до тих наук, що найменше забезпечені довідковими виданнями українською мовою (Костроміна та Кирко, 2011, с. 215). Щоправда, в Україні енциклопедично-довідкових видань із точних наук загалом менше, ніж із соціогуманітарних. Великої популярності набули "Енциклопедія історії України", "Шевченківська енциклопедія", "Юридична енциклопедія", "Політична енциклопедія", "Українська музична енциклопедія" тощо. "Геологічної енциклопедії" поки що немає, однак актуальність її появи (як і будь-якого іншого галузевого енциклопедично-довідкового видання) пов'язана з тим, що такі джерела знань висвітлюють "досягнення й здобутки наукової галузі, її найкращих представників" (Дзюба, 2021, с. 78). "Історія вітчизняних геологічних досліджень є літописом наукових пошуків, життєписом про винахідників та першовідкривачів" (Загороднюк та Лівенцева, 2018, с. 3), а тому подібна енциклопедія сприяла б осмисленню рівня сучасного розвитку геології в Україні, її теоретико-методологічного стану, оцінці ролі українських учених у світовому контексті й визначенню нагальних проблем для подальших досліджень.

Важливою методологічною складовою кожної науки є її понятійно-категорійний апарат, виражений системою термінів. Він дозволяє відображати наукову галузь як парадигму знань, структурувати їх за ієрархічним чи іншими принципами, зрештою, відстежувати вузлові проблеми науки, її розвиток тощо. Уніфікація, розширення цього апарату, тлумачення й опис його складових і, зрештою, оприлюднення у вигляді словників,

енциклопедій чи інших праць довідково-узагальненого характеру – це сам по собі необхідний напрям наукової роботи в кожній галузі знань.

Галузева енциклопедія – це не тільки "етап розвитку наукової дисципліни і її терміносистеми" (Білецький, Гайко, 2018), а ще й спосіб популяризації академічних знань у суспільстві, оскільки енциклопедичний формат викладу інформації зазвичай доступний і цікавий не лише для фахівців, а й широкого кола читачів, зокрема студентства. Усе зазначене вище не лише обґрунтовує доречність появи в Україні геологічної енциклопедії, а й визначає актуальність цієї статті. Зазначимо, що енциклопедичні знання з геології тією чи іншою мірою можна віднайти в різних українськомовних енциклопедично-довідкових джерелах. **Метою** цієї статті є осмислення дискурсу українських геологічних енциклопедичних і словникових видань у контексті перспективи створення спільнотою фахівців української геологічної енциклопедії як важливого джерела довідкових науково-достовірних знань.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Наукова новизна розвідки визначається тим, що в ній уперше висвітлено відомості про українські енциклопедичні й словникові джерела в галузі геології. Однак спроби опису здобутків української галузевої лексикографії було започатковано раніше (наприклад, див.: Корнієнко, 2021). Довідкову літературу, що стосується геологічних наук, теж уже вивчали, щоправда, йдеться не про ті джерела, що подають терміни та їх пояснення, теоретичні чи практичні геологічні знання, а про видання, присвячені вченим-геологам. Зокрема, як свідчать дослідники, біографічні словники, бібліографічні покажчики, публікації

© Железняк Микола, Іщенко Олександр, Бортник Сергій, 2023

мемуарного характеру та інші праці документально-біографічної цінності, що сукупно формують корпус знань про наукову спадщину українських геологів та становлять підґрунтя для появи окремої комплексної енциклопедично-довідкової праці з геології, виходили друком, починаючи з 80-х років XIX ст. (Осінь, 2018, с. 209).

Енциклопедистика. Геологія – доволі широкий науковий напрям, а радше – комплекс наук. Про це свідчить навіть той факт, що єдиний геологічний енциклопедії досі не створено, хоча спеціалізовані енциклопедичні видання з геологічних дисциплін існують. Так, найвідомішим енциклопедично-довідковим проектом у царині наук про Землю можна справедливо вважати "Гірничу енциклопедію", що репрезентує знання передусім з гірничої геології. Назва "Гірнична енциклопедія" охоплює дві праці за ред. В.С. Білецького – "Гірничий енциклопедичний словник"¹ (3 томи, 12,7 тис. словникових статей) і "Мала гірнична енциклопедія"² (3 томи, 17,4 тис. енциклопедичних статей). Енциклопедичний словник та енциклопедія вміщують "сучасні поняття термінів у гірничій справі, геології, макшердерії та геодезії, розробці корисних копалин та інших галузях науки і техніки, що пов'язані з освоєнням природних ресурсів літосфери" (Фик, 2014, с. 149).

Тематично близьким є однотомне видання за ред. В. Іванишина, присвячене широкому колу проблем нафтогазової справи, – "Українська нафтогазова енциклопедія"³. Енциклопедію підготували фахівці Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України. Вона стала логічним продовженням "Тлумачно-термінологічного словника-довідника з нафти і газу"⁴, "Енциклопедичного словника морських нафтогазових технологій"⁵ та деяких інших довідкових видань на зразок "Атласу родовищ нафти і газу України"⁶, атласу "Екологія і корисні копалини України"⁷ і низки словників (див. далі). Всі вони є ще одним свідченням вагомих здобутків України в нафтогазовій справі.

Зі всіх геологічних дисциплін енциклопедично-словникова справа найбільшою мірою властива, вочевидь, мінералогії, оскільки впорядкування в ній термінології українською мовою входить до кола першочергових завдань на сучасному етапі розвитку галузі. Намагання представити мінерали, їхні назви й опис у вигляді словників і енциклопедій уже мають свою історію. Зокрема, 1975 р. відомий геолог Є. Лазаренко видав "Мінералогічний словник"⁸. Того ж року на третьому засіданні Комісії мінералогії і геохімії Карпато-Балканської геологічної асоціації науковець озвучив ідею створення відповідної енциклопедії; на ньому було представлено принципи укладання та концепцію мінералогічної енциклопедії й ухвалено назву видання – "Мінералогічна енциклопедія Карпато-Балканської гірської системи". Енциклопедія мала охоплювати дані про кристалохімічну класифікацію

мінералів, схему генетичної їх класифікації, джерела, за якими подають назви мінералів, опис мінералів і відомості про видатних мінералогів (Матковський та ін., 2014, с. 9–10). Однак мінералогічної енциклопедії за редакцією Є. Лазаренка світ не побачив.

Заслугує на увагу багатотомна серія "Мінерали Українських Карпат", книги яку "видала Комісія мінералогії і геохімії Карпато-Балканської геологічної асоціації, реалізуючи задуми акад. Є. Лазаренка щодо створення мінералогічної енциклопедії Карпато-Балканської гірської системи" (Братусь, 2017, с. 101). Варто згадати й про те, що в розвитку мінералогічної термінології велику роль відіграють каталоги музеїв (від шкільних до національних; наприклад "Мінерали Геологічного музею"⁹), що стають джерелами для підготовки словників та енциклопедій.

Не так давно в Інституті геохімії, мінералогії та рудотворення імені М. Семененка НАН України визрів задум створити "Українську мінералогічну енциклопедію" за редакцією акад. О. Пономаренка. Втілювати ідею розпочали зі створення у 2016 р. "Української мінералогічної"¹⁰, щоправда, сайт цього видання, на якому може реєструватися кожен, хто бажає здійснити свій внесок у творення українських назв мінералів (зокрема, долучитись до дискусії щодо способу подальшого утворення українських синонімів латиноалфавітних назв мінеральних видів, затверджених Міжнародною мінералогічною асоціацією) все ж є електронним словником назв мінеральних видів або ж "сучасною базою даних мінералів України" (Черниш та ін., 2021), а не онлайн-енциклопедією. Це й посприяло виходу друком у 2019 р. "Словника українських назв мінералів"¹¹, реєстр якого становить понад 9 тис. назв мінералів. Однак, на думку І. Наумка, висловлену вже після появи цього проекту, українській мінералогії все ще "бракує відкриттів нових мінералів і сучасної багатотомної Мінералогічної енциклопедії України" (2021, с. 84). За словами дослідників, у згаданому вище інституті робота над укладанням такої енциклопедії триває – "здійснюють наповнення сторінок описом мінералів, бібліографією з мінералогії України, біографіями відомих мінералогів, світлинами зразків мінералів тощо" (Черниш та ін., 2021, с. 21).

Варто згадати 3-томну "Географічну енциклопедію України"¹², оскільки геологічні дослідження тісно пов'язані з фізико-географічними науками. Цим пояснюється, що на початкових етапах роботи над згаданим компендіумом колектив укладачів називали Редакцією географії, геології і геофізики (Руденко, Стеценко, 2013, с. 9). Фундаментальна географічна енциклопедія стала "підсумком багаторічних напрацювань вітчизняних фахівців, відображенням рівня розвитку географії та картографії в Україні, видатним надбанням української культури" (Шевченко та Полякова, 2012, с. 16).

¹ Білецький, В.С. (Ред.). (2001–2004). *Гірничий енциклопедичний словник* (1-3 т.). Донецьк: Східний видавничий дім.

² Білецький, В.С. (Ред.). (2007–2013). *Мала гірнична енциклопедія* (1-3 т.). Донецьк: Східний видавничий дім.

³ Іванишин, В.С. (Ред.). (2016). *Українська нафтогазова енциклопедія*. Львів: Сполом.

⁴ Бойко, В.С., Бойко, Р.В. (Ред.). (2004–2006). *Тлумачно-термінологічний словник-довідник з нафти і газу* (т. 1–2). Київ: Міжнародна економічна фундація; Львів: Апріорі.

⁵ Франчук, І.А. (2003). *Енциклопедичний словник (українсько-російсько-англійський) морських нафтогазових технологій*. Київ: Українська книга.

⁶ Іванюта, М.М. (Ред.). (1998–1999). *Атлас родовищ нафти і газу України* (1–6 т.). Львів: Центр Європи.

⁷ Галецький, Л.С. (Ред.). (2001). *Геологія і корисні копалини України: атлас*. Київ: Інститут геологічних наук НАН України.

⁸ Лазаренко, Є.К., Винар, О.М. (Ред.). (1975). *Мінералогічний словник*. Київ: Наукова думка.

⁹ Русько, Ю.О. (Ред.). (2008). *Мінерали Геологічного музею: каталог*. Київ: Геологічний музей ННПМ НАН України.

¹⁰ Пономаренко О.М. (Ред.). (2016). *Українська мінералогічна енциклопедія (Українська мінералогічна енциклопедія)*. Київ: Інститут геохімії, мінералогії та рудотворення ім. М.П. Семененка НАН України. <http://mineralopediaukraine.com>

¹¹ Словник українських назв мінералів (А–З). (2019). *Записки Українського мінерального товариства*, 16, 7–446.

¹² Маринич, О.М. (Ред.). (1989–1993). *Географічна енциклопедія України* (т. 1–3). Київ: Українська енциклопедія ім. М.П. Бажана

2004 року вийшов друком довідник енциклопедичного змісту "Українські гідрологи, гідрохіміки, гідроекологи"¹³ за редакцією проф. В. Хільчевського. У виданні представлено близько 160 українських учених, які в різні роки працювали в цих напрямках. Також на початку 2000-х років під керівництвом В. Хільчевського виконувалася робота над створенням "Енциклопедії води". Рукопис було підготовлено в 2005 р., але через відсутність коштів енциклопедія лишилася неопублікованою. Однак напрацювання було використано при публікації перших у країні тлумачних українськомовних словників у галузі геологічних наук, присвячених вивченню гідросфери, – "Гідрологічний словник"¹⁴, "Гідрохімічний словник"¹⁵.

Близько до геологічних наук є геодезія, серед видавничих надбань якої – "Геодезичний енциклопедичний словник"¹⁶, укладений науковцями Національного університету "Львівська політехніка". Видання містить близько 3,8 тис. статей, що окреслюють поняття, явища, процеси з вищої геодезії, геодезичної астрономії, космічної геодезії, планетодезії, фізичної геодезії, інженерної геодезії, геодезичної гравіметрії, морської геодезії, топографії, картографії, аерофотознімання, фотограмметрії, теорії математичного опрацювання результатів геодезичних вимірювань тощо. Історія появи енциклопедичного видання з геодезії сягає першої половини минулого століття, коли "проф. А. Моторний працював над російсько-українським словником технічних термінів з геодезичного циклу дисциплін. На жаль, видати такий словник йому не вдалося" (Лубенець, Мороз, 2006, с. 4). Доречно згадати також про "Англійсько-український геодезичний словник"¹⁷, укладений майже через 10 років фахівцями цього ж університету. Він містить понад 20 тис. термінів і понять, значна частина яких описує нові на той час досягнення геодезії, отримані в результаті використання супутників, електронно-обчислювальної техніки та впровадження сучасної електроніки в розробку геодезичних приладів і технологій. Вочевидь з огляду на постійний розвиток науки й технологій нині вже існує потреба оновлення й доповнення словникового та енциклопедичного видань.

Вагомий внесок у популяризацію енциклопедичних знань з геології здійснює загальна академічна "Енциклопедія сучасної України"¹⁸ (нині опубліковано 24 томи від "А" до "О"). Попри ще незавершений характер видання, все ж корпус геологічних знань у ній уже широкий: енциклопедія вміщує близько 400 найвідоміших постатей у царині геології, близько 200 найпоширеніших в Україні мінералів, майже 150 родовищ нафти, газу, конденсату, граніту, бурштину, пісковиків та інших корисних копалин, основні геологічні інституції, музеї, періодичні видання, а також найважливіші поняття з геологічних наук і, власне, наукові галузі. Тож можна навіть твердити, що на сучасному етапі контент із геології в ЕСУ виконує роль української геологічної енциклопедії. Велика заслуга в підготовці статей із геології, особливо персоналій, належить відомому вченому Дмитрові Макаренку, автору книги "Голгофа українських геологів" (Київ, 2007). Важливо зауважити, що майже всі (крім останніх) томи цієї

енциклопедії надруковано накладом 10 тис. примірників, і за цим показником видання перевершує більшість згаданих вище, а тому має велике значення для поширення геологічних знань. Щоправда, на думку деяких науковців, такий наклад загальної енциклопедії не можна вважати великим, а, навпаки, він радше малий у межах країни, особливо якщо її розглядати як матеріал для навчального процесу (Костроміна та Кирко, 2011, с. 213). Для порівняння, перші два томи "Географічної енциклопедії України" мали наклад 33 тис. примірників, отже висловлене твердження доволі слушне. Полегшує в наш час ситуацію з доступом до енциклопедичних відомостей інтернет (нині взагалі багато енциклопедій існує винятково в цифровому вигляді). У цьому сенсі заслуговує на увагу те, що серед найпопулярніших статей електронної версії "Енциклопедії сучасної України" (<https://esu.com.ua>) – "Карпати (Карпатські гори)", "Дніпро", "Дунай", "Азовське море", "Магнітне поле Землі", "Забруднення довкілля" (Дзюба, 2021, с. 137), що безпосередньо стосуються наук про Землю.

Словникарство. Опис енциклопедій дає змогу стверджувати, що в основі появи більшості з них лежать словники. Це типова ситуація в багатьох науках. Та було б неправильно розглядати словники як довідкову літературу проміжного характеру. Без них, дійсно, складно створити енциклопедію "з нуля". Однак принципове значення словників, відмінне від енциклопедій, полягає в іншому – передусім у напрацюванні й упорядкуванні наукової термінології. "Для науково-виробничої комунікації велике значення має галузева термінологія, оскільки це найбільш активно поповнюваний шар словникового складу мови, що безпосередньо реагує на всі зміни об'єктивної реальності" (Харчук, 2019, с. 352). Загалом перелік словників з геологічних наук значно ширший, ніж енциклопедій, і це закономірно. Є й свої причини на це: "Геологія – одна з найдавніших наук, яка пережила велику кількість трансформацій своїх гіпотез і теорій. Відповідно, змінювалася й ускладнювалася її термінологічна основа" (Вижва, 2016, с. 5).

Наукові терміни українською мовою вперше оприлюднено ще у XIX ст. у словникові "Початки до уложення номенклатури і термінології природної, народної"¹⁹ відомого мово- і природознавця І. Верхратського. Від кінця XIX ст. – початку XX ст. наукову номенклатуру активно розробляли Наукове товариство імені Шевченка, Київське українське наукове товариство. Як результат – вийшов друком перший геологічний словник І. Верхратського "Виразня мінералогічна"²⁰ (Львів, 1909).

1918 року було засновано Інститут української наукової мови ВУАН як основний у країні центр терміноутворення. Установа мала 11 різних секцій, серед них – і геологічна, що належала природничому відділу (до геологічної секції входили: Ю. Абрамович, М. Безбородько, М. Бурчак-Абрамович, П. Василенко, Ю. Дубяга, Г. Захрецька, Л. Красівський, Х. Лисенко, М. Мельник, О. Милай, С. Назаревич, Ф. Полонський, В. Різниченко, П. Тутковський). Природничий відділ інституту постав на основі Термінологічної комісії Природничої секції

¹³ Хільчевський, В.К. (Ред.). (2004). *Українські гідрологи, гідрохіміки, гідроекологи: довідник*. Київ: Ніка-Центр.

¹⁴ Хільчевський, В.К., Гребін, В.В., Манукало, В.О. (Ред.). (2022). *Гідрологічний словник*. Київ: ДІА.

¹⁵ Хільчевський, В.К. (Ред.). (2022). *Гідрохімічний словник*. Київ: ДІА.

¹⁶ Літинський, В.О. (Ред.). (2001). *Геодезичний енциклопедичний словник*. Львів: ЄвроСвіт.

¹⁷ Рицар, Б.Є. (Ред.). (2010). *Англійсько-український геодезичний словник*. Львів: Видавництво Львівської політехніки.

¹⁸ Дзюба, І.М., Жуковський, А.І. (Ред.). (2001–2022). *Енциклопедія Сучасної України* (т. 1–24). Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України.

¹⁹ Верхратський, І.Г. (1864–1879). *Початки до уложення номенклатури і термінології природописної, народної*. (вип. 1–6). Львів.

²⁰ Верхратський, І.Г. (1909). *Виразня мінералогічна. Збірник математично-природописно-лікарської секції НТШ*, 13, 1–64.

Українського наукового товариства. Головою цієї Комісії 1918 р. було обрано керівника підсекції геології та фізичної географії П. Тутковського. Природничий відділ стимулював термінологічну роботу в інших осередках, зокрема НТШ, у якому в 1918 р. діяла Термінологічна комісія за сімома напрямками; напрям з мінералогії та геології представляли С. Рудницький, М. Мельник (Калинович, 1930). 1926 року в Інституті створили Бюро народної термінології для збирання матеріалів зі всіх регіонів України (та Кубані) та подальшого вивчення української питомої термінології. Це яскраво засвідчує той факт, що запропоновані в ті роки українські терміни не були штучно створеними чи запозиченими, а постали здебільшого на народнорозмовній основі. В інституті діяла й арбітражна комісія, яка стежила за тим, щоб терміни в різних словниках були узгоджені й уніфіковані. Це свідчить про високі стандарти й ґрунтовність термінологічних досліджень, на основі яких з'являлися перші геологічні та інші галузеві словники.

У ті роки лексикографічний здобуток з геології поповнився російсько-українським словником Т. Секунди "Гірництво"²¹ (Київ, 1919), "Словником геологічної термінології" акад. П. Тутковського (Київ, 1923; перевидано Інститутом енциклопедичних досліджень НАН України у серії "Із словникової спадщини"²²) та "Словником гірничої термінології" П. Василенка і І. Шелудька (Харків, 1931; теж перевидано у тій самій серії²³). Ось що писав П. Тутковський про особливості укладання свого словника: "З усіх джерел я пильно виписав терміни на окремі карточки, яких зібралось понад 35 000. Залишивши надалі опрацювання суто географічної термінології, я зважився обмежитися поки що зібраними матеріалами, щоб скласти тимчасовий попередній реєстр найпотрібніших термінів в обсязі мінералогії, петрографії, геології, геоморфології, палеонтології та ґрунтознавства. <...> Їх я вважаю лише за першу спробу складання пекуче потрібної нам термінології, але спробою потрібно і здатною, щоб користуватися нею при складанні книжок або розправ, – здатною також, щоб усунути згадані вище негарні і цілком хибні, неукраїнські терміни, що засмічують нашу наукову мову" (Тутковський, 2008).

Створення названих та інших термінологічних словників в Інституті української наукової мови ВУАН було своєрідною підготовкою до "укладання Великої Української Енциклопедії, що вже прийшла на порядок денний нашого культурного життя, та розроблення матеріалу до повного тлумачного Словника чужих слів" (Гладкий, 1930, с. 10).

У 1930-х роках було ліквідовано Інститут української наукової мови, вилучено з ужитку створені українські словники, що зумовило зміну вектору розвитку української лексикографії та термінології. Радянські науковці почали переписувати лексичний склад української наукової мови. За деякими даними, рівень термінологічних змін сягнув від 50 до 80 % (Дорошенко, 2008, с. 169).

Це стосувалося не лише геології, а всіх наук, техніки, промисловості, що спричинило поширення стереотипу про неповноцінність української мови з погляду термінотворення (та й взагалі московська пропаганда створювала наративи про те, що українська – наріччя селян, а не самостійна мова). Як наслідок в Україні представники різних професій краще володіли російськомовним науково-термінологічним апаратом, аніж українським. Щодо цього відомий мовознавець Ю. Шевельов зазначав, що в такій ситуації українська мова "лишилася неповною в сенсі своєї соціальної бази, як і в сенсі обслуговування сфер життя. Її майбутньому далі загрожувала загальна двомовність усієї освіченої верстви" (1999, с. 175). Хоча, як справедливо зауважує Д. Пилипчук, "Україна – це країна щонайменше сімох тисяч словників, що дає підстави відносити її до першої десятки лексикографії світу, а тому намагання Москви доводити, що ніякої окремої української мови не існує, є нахабною і цинічною імперською брехнею" (2020, с. 15).

У середині ХХ ст. дещо активізувалася робота з наукової термінології. Окремі вчені пояснюють це так: під голованням академіка Й. Штокала було утворено Словникову комісію, що посприяла виходу російсько-українських термінологічних словників різних галузей знань (Кочан, 2011). У царині геології світ побачив "Російсько-український геологічний словник"²⁴ С. Головащук та І. Соколовського (Київ, 1959), "Українсько-російський гірничий словник"²⁵ (Київ, 1959), укладачами якого є О. Ковшуля, М. Гармаш, М. Зільбан. У передмові до одного з них зазначено: "Термінологічні словники з деяких галузей знання, видані на Україні 25–30 років тому, тепер застаріли і втратили практичну цінність. Крім того, вони мають серйозні методологічні помилки" (Від словникової комісії..., 1959). Насправді ж у цих словниках українські терміни були цензуровані, значну частку їх (насамперед ті, що мали українське етимологічне коріння) замінено на слова, наближені до російських еквівалентів, отже, позбавлено мовотворчої автентики. До того ж російські терміни переважно запозичені з інших мов (інтернаціоналізми), оскільки в російській лінгвістиці традиція творення цієї категорії слів на основі питомої національної лексики менш виразна. За спостереженням фахівців, термінологічний склад російської мови містить чимало слів українського або білоруського походження (Миколаєнко, 1930, с. 43), а це одна з причин для більш прискіпливого та глибокого порівняння термінологічного потенціалу російської та української мов.

З відновленням незалежності України ситуація почала змінюватися на краще: вийшла друком ціла низка словників: "Російсько-український нафтогазопромисловий словник"²⁶ (Київ, 1992), "Російсько-український словник геологічних термінів"²⁷ (Чернівці, 1993), "Російсько-український термінологічний словник із нафтопромислової справи"²⁸ (Івано-Франківськ, 1998), "Англо-український нафтогазовий словник"²⁹ (Київ, 1998), "Англо-

²¹ Секунда, Т. (Ред.). (1919). *Технічна термінологія* (вип. 3: Гірництво). Київ: Друкарь.

²² Тутковський, П.А. (Ред.). (2008). *Словник геологічної термінології: Проект (відтворення видання 1923 року)*. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України.

²³ Василенко, П.І., Шелудько І.М. (Ред.). (2008). *Словник гірничої термінології (відтворення видання 1931 року)*. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України.

²⁴ Головащук, С.І., Соколовський, І.Л. (Ред.). (1959). *Російсько-український геологічний словник*. Київ: Видавництво АН УРСР.

²⁵ Кучеров, П.С. (Ред.). (1959). *Російсько-український гірничий словник*. Київ: Видавництво АН УРСР.

²⁶ Бойко В.С. та ін. (Ред.). (1992). *Російсько-український нафтогазопромисловий словник*. Київ: Знання України.

²⁷ Ципко, О.К., Арсірій, Ю.О., Савченко, В.Л. (Ред.). (1993). *Російсько-український словник геологічних термінів*. Чернівці: Десна.

²⁸ Акульшин, О.І., Акульшин, О.О., Кучеровський В.М. (Ред.). (1998). *Термінологічний словник з нафтопромислової справи*. Івано-Франківськ: Екор.

²⁹ Ярмейчук, Р., Середницький, Л., Осінчук, З. (Ред.). (1998). *Англо-український нафтогазовий словник*. Київ: Українська книга.

українсько-російський словник із нафтогазопромислової справи"³⁰ (Київ, 2000), "Тлумачно-термінологічний словник-довідник з нафти і газу"³¹ (Київ, 2004–2006), "Російсько-український геологічний словник"³² (Львів, 2011), "Українсько-французько-англійський словник з геології, геофізики, буріння свердловин та нафтогазопромислової справи"³³ (Івано-Франківськ, 2011), "Геологічний словник"³⁴ (2012) "Французько-український нафтогазовий словник"³⁵ (Київ, 2013), "Українсько-французький словник з нафтогазової справи"³⁶ (Івано-Франківськ, 2017), "Мінералого-петрографічний словник"³⁷ (Харків, 2018), "Німецько-український, українсько-німецький фаховий словник-довідник студента. Нафтогазова справа"³⁸ (Івано-Франківськ, 2018), "Російсько-український геологічний словник"³⁹ (Київ, 2018), "Словник геологічних термінів: українсько-російсько-англійський" (Київ, 2020)⁴⁰. Серед важливих здобутків словникарства в галузі наук про Землю – вже згадані "Мінералогічний словник", "Тлумачно-термінологічний словник-довідник з нафти і газу", "Англійсько-український геодезичний словник", "Словник українських назв мінералів", "Гідрологічний словник", "Гідрохімічний словник". Додамо сюди й праці "Базові терміни і поняття економічної геології"⁴¹ (2015), "Базові терміни і поняття геотектоніки"⁴² (2018), що іменуються як навчальні посібники, однак за формою і змістом належать до лексикографічних видань ідеографічного характеру. Існує також вебресурс "Геологічний словник"⁴³. Цілоком імовірно, що є інші українські словники з геологічних знань, що не потрапили у фокус нашої уваги.

Як бачимо, кількісне представлення галузевих словників доволі широке. Серед них – як одномовні (тлумачні), так і дво- та багатомовні видання, однотомні й кількотомні. За напрямками геологічних дисциплін домінують словники, що репрезентують мінералогію, гірництво (нафтогазову справу), власне геологію, рідше – гідрологію, геотектоніку, геодезію. Основними центрами їх підготовки виявилися Київ, Львів, Івано-Франківськ, Харків (зокрема, Інститут геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка як найбільш продуктивні центри).

Обговорення. Теза деяких науковців, винесена на початок статті, про те, що геологія в Україні належить до наук, у яких енциклопедично-словникове акумулювання знань мало виражене, виглядає спірно на підставі здійсненого дослідження. Звісно, геологічні науки мають у

цьому контексті прогалини, основна з яких – відсутність фундаментальної геологічної енциклопедії, однак наявність низки інших енциклопедій, енциклопедичних словників, довідників (в описі згадано 10 таких), а також цілого спектра словників (31 найменування, історія створення їх сягає ще XIX ст.) засвідчує, на нашу думку, вагомий внесок геологічних наук у розвиток української термінології, енциклопедистики та словникарства й дає змогу констатувати, що геологічні знання, особливо в царинах мінералогії та нафтогазової справи, широко репрезентовані українському суспільству. З іншого боку, це дослідження, демонструючи розмаїття словникових джерел геологічної тематики, дає розуміння необхідності концентрації зусиль у подальших спробах лексикографічного представлення геологічних знань, адже зафіксовано чимало однотипних видань, створених на спільному хронологічному вимірі різними колективами, натомість їхнє об'єднання, припускаємо, могло б мати більший ефект і результативність з погляду корпусного представлення термінів та узгодження термінологічних найменувань.

Енциклопедії та словники відіграють велике значення в навчальному процесі школярів і студентів. "Термінологічний апарат є невід'ємною складовою будь-якої науки, а оволодіння ним – обов'язковою частиною її вивчення, що повною мірою стосується й викладання геологічних дисциплін" (Михайлов та ін., 2020, с. 3). Не секрет, що в наш час для більшості людей в Україні та світі основним джерелом довідкової інформації є "Wikipedia". Окреслені нами енциклопедичні та словникові видання для багатьох студентів, що здобувають освіту, пов'язану з геологічними науками, лишаються мало знайомими. Варто вкотре наголосити на важливості створення комплексної геологічної енциклопедії українською мовою, адже таке видання не лишилося б непоміченим і, привертаючи до себе увагу, популяризувало б геологічне словникарство. У справі поширення галузевих знань через енциклопедії та словники чинне місце відведено університетським бібліотекам – саме від них залежить рівень забезпеченості студентів і викладачів навчальних закладів такою літературою та сучасними інформаційними джерелами.

Нині енциклопедистика й лексикографія активно переходять у цифровий формат. Багато довідкових джерел мають електронні версії або ж функціонують лише в інформаційному просторі, не маючи друкованих відповідників. У цьому плані існує інша проблема – індексація пошуковими системами в інтернеті відповідних джерел.

³⁰ Бугай, Ю.М. (Ред.). (2000). *Англо-українсько-російський словник з нафтогазопромислової справи*. Київ: Міжнародний науково-технічний ун-т, Київське відділення нафти та газу Академії гірничих наук України.

³¹ Бойко, В.С., Бойко, Р.В. (Ред.). (2004–2006). *Тлумачно-термінологічний словник-довідник з нафти і газу: 5-мовний українсько-російсько-англійсько-французько-німецький* (т. 1–2). Київ: Міжнародна економічна фундація.

³² Вовченко, Р., Матковський, О., Бохорська, Л., Полубічко, О. (Ред.). (2011). *Російсько-український геологічний словник*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка.

³³ Орлов, О. та ін. (Ред.). (2011). *Українсько-французько-англійський словник з геології, геофізики, буріння свердловин та нафтогазопромислової справи*. Івано-Франківськ: Видавництво Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

³⁴ Вовк, В.М. (Ред.). (2012). *Геологічний словник: для студентів вищих навчальних закладів*. Кіровоград: КОД.

³⁵ Стефурак Р.І. (Ред.). (2013). *Французько-український нафтогазовий словник*. Київ: Інтерпрес.

³⁶ Яремійчук, Р. (Ред.). (2017). *Українсько-французький словник з нафтогазової справи = Dictionnaire ukrainien-français de chantiers pétroliers*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ.

³⁷ Білецький, В.С., Суярко, В.Г., Іщенко, Л.В. (Ред.). (2018). *Мінералого-петрографічний словник* (кн. 1). Харків: НТУ "ХП".

³⁸ Сорока, Л. (Ред.). (2018). *Німецько-український, українсько-німецький фаховий словник-довідник студента. Нафтогазова справа*. Івано-Франківськ: Фоліант.

³⁹ Виноградов, Г.Ф., Добрянський, Ю.Є., Мороз, С.А., Шабатин, В.С., Шевченко, В.І., Остафійчук, І.М., Жуков, М.Н., Серга, А.Ю., Стрельчук, Г.П. (Ред.). (2018). *Російсько-український геологічний словник*. Київ: ВПЦ "Київський університет".

⁴⁰ Михайлов, В.А., Пастушенко, Т.В., Мірончук, Т.А. (Ред.). (2020). *Словник геологічних термінів: українсько-російсько-англійський*. Київ: ВПЦ "Київський університет".

⁴¹ Михайлов, В.А., Курило, М.М. (Ред.). (2015). *Базові терміни і поняття економічної геології*. Київ: ВПЦ "Київський університет".

⁴² Михайлов, В.А. (Ред.). (2018). *Базові терміни і поняття геотектоніки: навчальний посібник*. Київ: ВПЦ "Київський університет".

⁴³ Вовк, В., Мацібора, О. (Ред.). (2017). *Геологічний словник: відкритий навчально-науковий вебресурс*. <https://geodictionary.com.ua>.

Наприклад, не важко помітити, що "Google" пріоритетне місце завжди надає сайту "Wikipedia", а довідки зі згаданих вище вебресурсів "Геологічний словник" чи "Українська мінералопедія" ще потрібно віднайти в результатах пошуку. Все це свідчить про те, що енциклопедистика й лексикографія сьогодні мають значно ширше коло викликів, ніж раніше: їхня місія полягає не лише в якісному, фаховому акумулюванні й представленні довідкових знань, а й спрямуванні цих знань до споживача, переконуючи його в тому, що вони глибші, повніші, надійніші, зрештою, конкурентніші, ніж з інших джерел. Наприклад, досвід створення американських регіональних енциклопедій демонструє, що одним зі способів такого "маркетингу", тобто просування, популяризації енциклопедичних видань, є своєрідна мімікрія класичних енциклопедичних проєктів під навчально-довідкову. Це той випадок, коли енциклопедію готують так, що вона стає не просто корисною, а зручною для навчального процесу (Железняк, Іщенко, 2021).

Висновки

У поширенні в суспільстві наукових знань, зокрема геологічних, важливу роль відіграє довідкова література, насамперед енциклопедії та словники. Ми з'ясували, що серед української геологічної науково-довідкової літератури є чимало фахових тлумачних, перекладних, однак двомовних словників, енциклопедичних словників та енциклопедій. Зокрема, нами зафіксовано, що галузі геології представлені не менш як 10 енциклопедичними і не менш як 31 лексикографічними виданнями, перші з яких з'явилися ще в XIX ст.

Як енциклопедичні, так і словникові видання найчастіше присвячені гірництву, мінералогії, геодезії. Виявлено тенденцію, відповідно до якої енциклопедичні видання є продовженням (розширенням, поглибленням) опублікованих словників.

Попри наявність низки геологічних словникових та енциклопедичних видань, в Україні немає "Геологічної енциклопедії", однак потреба в такому виданні, безсумнівно, є. По-перше, така енциклопедія, за умови створення її відповідно до сучасних інформаційних технологій, репрезентувала б увесь комплекс знань з геології, а не лише окремої галузі, як спостерігаємо це нині. Інвентаризація, систематизація та унормування понять при складанні геологічної енциклопедії, безумовно, відкриватиме нові шляхи наукового пошуку та сприятиме глибшому осмисленню і чіткішому розумінню геологічної будови України та й в цілому планети як геологічного феномена. По-друге, така енциклопедія як об'єднувальне джерело геологічних знань подавала б корпус термінів з усіх опублікованих енциклопедій і словників, чим би суттєво спрощувала доступ до знань. По-третє, геологічна енциклопедія, яку б готували фахівці, не містила б неперевиреної, часом недолугої інформації, яку часто можна спостерігати у популярній "Вікіпедії". Зрештою, таке видання, з огляду на зарубіжний енциклопедичний досвід, має великий потенціал бути не лише джерелом довідкової інформації, а й зручною платформою знань у навчально-освітньому процесі, що, переконані, посприяло б підвищенню рівня геологічної освіти в Україні.

Список використаних джерел

Білецький, В.С., Гайко, Г.І. (2018). Галузева енциклопедія як важливий етап розвитку наукової дисципліни та її терміносистеми (на прикладі циклу праць із гірництва й геології "Гірнична енциклопедія"). *Енциклопедичний вісник України*, 10, 31–38. <https://doi.org/10.37068/evu.10.3>

Братусь, М. (2017). Енциклопедія силікатних мінералів і процесів мінералоутворення в Українських Карпатах. *Мінералогічний збірник*, 67 (1), 101–107.

Вижва, С.А. (2018). Передмова. У Г.Ф. Виноградов, Ю.Є. Добрянський, С.А. Мороз, В.С. Шабатин, В.І. Шевченко, І.М. Остафійчук, М.Н. Жуков, А.Ю. Серга, Г.П. Стрельчук, *Російсько-український геологічний словник*. ВПЦ "Київський університет".

Від словникової комісії Академії наук Української РСР. (1959). *Російсько-український гірничий словник*. П.С. Кучеров (Ред.). Видавництво АН УРСР.

Гладкий, М. (1930). Інститут української наукової мови ВУАН. *Вісник Інституту української наукової мови*, 2, 6–10.

Дзюба, І.М. (Ред.). (2021). *Українська електронна енциклопедистика в соціогуманітарному вимірі*. Інститут енциклопедичних досліджень НАН України. <https://doi.org/10.37068/b/9789660296770>

Дорошенко, С. (2008). З історії лексикографічного опису українських термінів нафтогазової промисловості. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Проблеми української термінології, 620, 167–170.

Железняк, М.Г., Іщенко, О.С. (2021). Онлайн-енциклопедії США як сучасні освітні ресурси. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 84, 4, 339–353. <https://doi.org/10.33407/itit.v84i4.4410>

Загороднюк, П.О., Лівенцева, Г.А. (2018). Україна геологічна. *Нафтогазова галузь України*, 2, 3–4.

Калинович, Ф. (1930). Природничий відділ ІУМН. Короткий огляд роботи за час його існування 1918–1929 рр. *Вісник Інституту української наукової мови*, 2, 1–28.

Корнієнко, М.С. (2021). Українські словники з фізичної термінології другої половини XIX – першої третини XX століття. *Матеріали конференції України і світ: гуманітарно-технічна еліта та соціальний прозорець*. (с. 604–606). "НТУ ХП".

Костроміна, С.В., Кирко, С.Ю. (2011). Україномовні довідкові видання України на допомогу навчальному процесу. *Матеріали конференції Від XIX до XXI ст.: трансформація бібліотек у контексті розвитку суспільства: до 125-річчя Харківської державної наукової бібліотеки ім. В.Г. Короленка*. (с. 211–216). ІРІС.

Кочан, І. (2011). Українське термінознавство 1940–1950-х років. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Проблеми української термінології, 709, 74–78.

Лубенець, Л.С., Мороз, О.І. (2006). Про науковий, навчальний та історичний розвиток найстарішої в Україні кафедри геодезії. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, 67, 3–7.

Матковський, О.І., Наушко, І.М., Білоніжка, П.М., Скакун, Л.З. (2014). Сучасний стан мінералогічних досліджень геологічних утворень Українських Карпат. *Записки Українського мінералогічного товариства*, 11, 7–15.

Михайлов, В.А., Пастушенко, Т.В., Мірончук, Т.А. (Ред.). (2020). *Словник геологічних термінів: українсько-російсько-англійський*. ВПЦ "Київський університет".

Миколаєнко, Я. (1930). Плитницька термінологія с. Сваром'я на Київському Поліссі. *Вісник Інституту української наукової мови*, 2, 39–44.

Наушко, І.М. (2021). Ґрунтовне видання з історії мінералогії в Україні. *Геологічний журнал*, 374, 81–85. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.1.225295>

Осіньня, Н.В. (2018). Постаті вчених-геологів і гірників України XIX – початку XX століття: історіографія питання. *Українська біографістика*, 16, 207–224.

Пилипчук, Д. (2020). Україна – країна щонайменше сімох тисяч словників національної мови (передмова упорядника). У Д. Пилипчук (Ред.), *Словники української мови: 1596–2018: бібліографічний покажчик*. (с. 3–38). Просвіта.

Руденко, Л.Г., Стеценко, Є.І. (2013). Унікальний колективний здобуток українських географів. *Український географічний журнал*, 4, 9–11.

Тутковський, П.А. (2008). Матеріали до української термінології мінералогічної та геологічної. У П.А. Тутковський (Ред.), *Словник геологічної термінології: проєкт (відтворення видання 1923 року)*. Інститут енциклопедичних досліджень НАН України.

Фік, І.М. (2014). "Гірнична енциклопедія" – вагомий внесок у гірничу науку. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Геологія. Географія. Екологія*, 40, 149–149.

Харчук, Л.В. (2019). Відображення української електроенергетичної термінології у вітчизняній лексикографії кінця XX – початку XXI століття. *Термінологічний вісник*, 5, 352–359.

Черниш, Д.С., Кульчицька, Г.О., Луцьова, І.М. (2021). Сучасна база даних мінералів України. *Збірник матеріалів 11-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології та особливості видобутку, обробки й використання природного каміння"*, Київ. (с. 20–22). Державний геологічний центр України.

Шевельов, Ю. (1999). *Українська мова в першій половині двадцятого століття (1900–1941): Стан і статус*. Рута.

Шевченко, В.О., Полякова, Н.О. (2012). Семіотичні та картографічні особливості Географічної енциклопедії України (ГЕУ). *Часопис картографії*, 4, 16–22.

References

Biletskyi, V.S., Haiko, H.I. (2018). Subject specific encyclopedias as an important stage in the development of scientific disciplines and terminology systems (on example of The Mining Encyclopedia as a work in mining industry and geolog. *The Encyclopedia Herald of Ukraine*, 10, 31–38. <https://doi.org/10.37068/evu.10.3> [in Ukrainian].

Bratus, M. (2017). Encyclopedia of silicate minerals and mineralization processes in the Ukrainian Carpathians. *Mineralogical Review*, 67 (1), 101–107 [in Ukrainian].

Chernysh, D.S., Kulchytska, H.O., Luniova, I.M. (2021). Modern database of Ukrainian minerals. *Materials of the 11th International Scientific-Practical Conference "Modern technologies and features of quarrying, processing and*

uses of natural stones", Kyiv. (p. 20–22). State Gemological Center of Ukraine [in Ukrainian].

Doroshenko, S. (2008). On the history of the lexicographic description of Ukrainian terms of the naftogaz industry. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Problems of Ukrainian terminology*, 620, 167–170 [in Ukrainian].

Dziuba, I.M. (2021). *Ukrainian electronic based encyclopedias in light of socio-humanities*. The NASU Institute of Encyclopedic Research. <https://doi.org/10.37068/b/9789660296770> [in Ukrainian].

Fick, I.M. (2014). "Girnych Encyclopedia" is a great contribution to mining science. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv national university, series "Geology. Geography. Ecology"*, 40, 149–149 [in Ukrainian].

Gladky, M. (1930). Institute of Ukrainian Scientific Language VUAN. *Bulletin of the Institute of Ukrainian Scientific Language*, 2, 6–10 [in Ukrainian].

Kalinovich, F. (1930). Natural branch IUSL. A short look at the work during the hour of his birth, 1918–1929. *Bulletin of the Institute of Ukrainian Scientific Language*, 2, 1–28 [in Ukrainian].

Kharchuk, L.V. (2019). Presentation of the Ukrainian electric power engineering terminology in national lexicography in the end of the 20th – beginning of the 21st century. *Terminolohichnyi visnyk*, 5, 352–359 [in Ukrainian].

Kochan, I. (2011). Ukrainian terminology of the 1940s–1950s. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Problems of Ukrainian terminology*, 709, 74–78 [in Ukrainian].

Kornienko, M.Y. (2021). Ukrainian dictionaries of physical terminology of the second half of the 19th – the first third of the 20th century. *Materials of the conference Ukraine and the world: humanitarian and technical elite and social progress*. (p. 604–606). "NTU KhPI" [in Ukrainian].

Kostromina, S.V., Kirko, S.Yu. (2011). Ukrainian-language reference publications of Ukraine to help the educational process. *Conference materials From the 19th to the 21st century: the transformation of libraries in the context of the development of society: to the 125th anniversary of the Kharkiv State Scientific Library named after V.G. Korolenko*. (p. 211–216). IRIS [in Ukrainian].

Lubenets, L.S., Moroz, O.I. (2006). About the scientific, educational and historical development of the oldest department of geodesy in Ukraine. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 67, 3–7 [in Ukrainian].

Matkovskyi, O.I., Naumko, I.M., Bilonizhka, P.M., Skakun, L.Z. (2014). Current status of mineralogical studies of geological formations of the Ukrainian Carpathians. *Zapysky Ukrainskoho mineralohichnoho tovarystva*, 11, 7–15 [in Ukrainian].

Mykhaylov, V.A., Pastushenko, T.V., Mironchuk, T.A. (Ed.). (2020). *Dictionary of geological terms: Ukrainian-Russian-English*. PPC "Kyiv University" [in Ukrainian].

Mykolaenko, Y. (1930). Tile terminology of Svaromya in Kyiv Polissia. *Bulletin of the Institute of Ukrainian Scientific Language*, 2, 39–44. [in Ukrainian].

Naumko, I.M. (2021). A thorough edition on the history of Mineralogy in Ukraine. *Geological Journal*, 1 (374), 81–85. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.1.225295> [in Ukrainian].

Osinnia, N.V. (2018). Figures of Geology and Mining scientists in Ukraine of the XIX – early XX century: the issue historiography. *Biographistica Ukrainica*, 16, 207–224 [in Ukrainian].

Pylypchuk, D. (2020). Ukraine is a country of seven thousand dictionaries (preface of the compiler). In D. Pylypchuk (Ed.), *Dictionaries of the Ukrainian language: 1596-2018: bibliographic index*. (p. 3–38). Prosvita, [in Ukrainian].

Rudenko, L.H., Stetsenko, E.I. (2013). A unique collective achievement of Ukrainian geographers. *Ukrainian geographical journal*, 4, 9–11 [in Ukrainian].

Shevchenko, V.O., Poliakova, N.O. (2012). Semiotics and cartographic features of the Geographical Encyclopaedia of Ukraine (GEU). *Periodical Cartography*, 4, 16–22 [in Ukrainian].

Shevel'yov, Yu. (1999). *The Ukrainian language in the first half of the twentieth century (1900–1941): State and status*. Ruta [in Ukrainian].

Tutkovskyi, P.A. (2008). Materials for Ukrainian mineralogical and geological terminology. In P.A. Tutkovskyi (Ed.), *Dictionary of Geological Terminology: Project (reproduction of the 1923 edition)*. Institute of Encyclopedic Research of the NAS of Ukraine [in Ukrainian].

From the dictionary commission of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. (1959). *Russian-Ukrainian mining dictionary*. P.S. Kucherov (Ed.). The legacy of the Academy of Sciences of USSR [in Russian-Ukrainian].

Vyzhva, S.A. (2018). Preface. In G.F. Vynogradov, Yu.E. Dobryanskyi, S.A. Moroz, V.S. Shabatyn, V.I. Shevchenko, I.M. Ostafychuk, M.N. Zhukov, A.Yu. Serga, H.P. Strelchuk, *Russian-Ukrainian geological dictionary*. PPC "Kyiv University" [in Russian-Ukrainian].

Zahorodniuk, P.O., Liventseva, H.A. (2018). Geological Ukraine. *Oil, & Gas Industry of Ukraine*, 2, 3–4 [in Ukrainian].

Zhelezniak, M.H., Ishchenko, O.S. (2021). Online encyclopedias of the USA as actual education resources. *Information Technologies and Learning Tools*, 84, 4, 339–353. <https://doi.org/10.33407/itlt.v84i4.4410> [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 01.06.23

Прорецензовано / Revised: 13.08.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Mykola ZHELEZNIAK, PhD (Philol.)

ORCID ID: 0000-0002-8290-6345

e-mail: mykola@esu.com.ua

¹Institute of Encyclopedic Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Oleksandr ISHCENKO, PhD (Philol.)

ORCID ID: 0000-0002-8910-111X

e-mail: ishchenko@nas.gov.ua

¹Institute of Encyclopedic Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Sergii BORTNYK, DSc (Geogr.), Prof.

ORCID ID: 0000-0003-0886-5861

e-mail: sergiy.bortnyk@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Jan Kochanowski University of KielceKielce, Poland

UKRAINIAN ENCYCLOPEDIAS AND DICTIONARIES IN VIEW OF SPREADING GEOLOGICAL KNOWLEDGE

Encyclopedic literature and dictionaries devoted to geological sciences were overviewed in the article. The authors emphasize the lack of basic Ukrainian geological encyclopedia and provide arguments for the necessity of its appearance. They substantiate the importance of dictionaries representing specific subject lexicon, in particular geological terminology: "Dictionary of Geological Terminology" (1923), "Russian-Ukrainian Geological Dictionary" (1959), "Russian-Ukrainian Dictionary of Geological Terms" (1993), "Russian-Ukrainian Geological dictionary" (2011), "Ukrainian-French-English Dictionary of Geology, Geophysics, Well Drilling, and Oil, & Gas industry" (2011), "Russian-Ukrainian Geological Dictionary" (2016), "Geological Dictionary: Open Educational and Scientific Web Resource" (2017), "Russian-Ukrainian Geological Dictionary" (2018), "Ukrainian-Russian-English Dictionary of Geological Terms" (2020), and other mineralogical, geodetic, mining, petrographic dictionaries. The results show that Ukrainian encyclopedic and lexicographic literature does not provide knowledge of all geological sciences despite a fairly large number of encyclopedias and dictionaries (in total, over 40 sources were found), as there are dictionaries and encyclopedias encompassing only some particular geological fields. The authors also reflect on the issue of the distribution of subject encyclopedias and dictionaries in educational sphere today, when Wikipedia is considered to be the most popular online reference work in the world. The authors conclude that it is necessary to build a modern geological encyclopedia as a unified Ukrainian language source of reliable reference knowledge on geology.

Keywords: geology, mineralogy, petrography, mining, subject encyclopedias, subject dictionaries, geological encyclopedia, geological terminology.

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 551.781.3(553.98:551.351.2)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.04>

Костянтин ГРИГОРЧУК, д-р геол. наук, пров. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0003-1595-0968
e-mail: kosagri@ukr.net

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

Володимир ГНІДЕЦЬ, канд. геол.-мінералог. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0009-0001-6372-7878
e-mail: vgnidets53@gmail.com

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

ПАЛЕОЦЕНОВІ ВІДКЛАДИ ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ПРИЧОРНОМОРЬСЬКОГО МЕГАПРОГІНУ: ЛІТОФАЦІЇ, УМОВИ ОСАДОНАГРОМАДЖЕННЯ, ДИНАМІКА РОЗВИТКУ НАФТОГАЗОВИХ СИСТЕМ

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

За результатами літогенетичних досліджень палеоценових відкладів західної частини Причорноморського мегапрогину встановлено основні риси літологофаціальної зональності по окремих ярусах. Показано, що роль вапняків у розрізі істотно зростає від данських до зеландських відкладів з формуванням в останньому випадку обширного карбонатного поля у східній частині дослідженого району. Мергелі характеризуються фономим розвитком з успадкованим максимумом у районі св. Флангова-2 та відгалуженням у напрямку структур Одеська (зеландський ярус) та Гамбурцева (танетський ярус). Аргіліти відрізняються мінімальним розвитком у зеландських відкладах, а також зміною орієнтації ареалу їх підвищених вмістів із субмеридіонального – у данському ярусі на субширотний – у танетському. Здійснено реконструкцію обстановок осадонагромадження, зокрема визначено просторово-вікові особливості поширення біогенних акумулятивних тіл. У данський час біогенні тіла були локалізовані у Безіменно-Одеській, Голіцино-Шмідтівській та Штормова-Архангельського ділянках. У зеландський – значно збільшилася площа розвитку таких утворень на південному борті прогину з формуванням великого біогермного масиву, який охоплював структури: Гамбурцева, Штормова, Архангельського, Кримська, Центральна. У танетський час евстатичне підняття рівня моря спричинило збільшення площі поширення відкладів зовнішнього шельфу у приосередній зоні прогину та міграцію (у межах північного борта прогину) зони розвитку біогенних тіл у північному напрямку. На південному борті внаслідок конседиментаційного розвитку Чорноморсько-Каламітського підняття біогерми розвивалися успадковано. Встановлено певну відмінність режиму катагенезу на різних структурах. На основі створених генераційно-міграційних моделей аргументовано різночасовість формування покладів Одеського, Голіцинського та Штормового родовищ (олігоцен та міоцен). Показано можливість сучасного поповнення їх запасів за рахунок надходження вуглеводнів з проміжних резервуарів. Обґрунтовано літогенетичні причини низьких перспектив відкладів структури Гамбурцева. З'ясовано літофізичну будову палеоценових відкладів та локалізовану низку нафтогазоперспективних об'єктів.

Ключові слова: палеоцен, Каркінитський прогин, генерація, міграція, акумуляція вуглеводнів.

Постановка проблеми. Палеоценова епоха відзначена декількома великими геологічними подіями: вимирання біоти на межі крейди та палеоцену, палеоцен-еоценівий термічний максимум, глобальна океанічна безкиснева подія пізнього палеоцену. Тому вивчення геології палеоценових відкладів як у глобальному, так і регіональному плані становить теоретичний інтерес, а практичний аспект досліджень пов'язаний з їх нафтогазоносністю у багатьох осадово-породних басейнах світу. Зокрема, у Причорноморсько-Кримській нафтогазоносній області відклади цього віку є одним з основних (за величиною розвіданих запасів вуглеводнів) осадових комплексів. У межах акваторії Чорного моря відкрито шість газових та газоконденсатних родовищ, три з яких (Голіцинське, Одеське та Штормове) за розмірами запасів належать до середніх (Гожик, 2006). Продуктивність пов'язана з горизонтами органогенних та органогенно-детритових вапняків. Карбонатні резервуари, як відомо, відрізняються складною будовою, значною мінливістю фільтраційно-емнісних параметрів. Це зумовлює актуальність якнайдегальнішого вивчення літологічної структури відкладів з метою локалізації у розрізі потенційних природних колекторів, які є однією зі складових нафтогазових систем. Невід'ємними елементами останніх є також осередки генерації та шляхи міграції вуглеводневих флюїдів. Для визначення їх положення в осадовій товщі необхідне проведення комплексних літогенетичних досліджень.

Власне у такому плані здійснено вивчення палеоценових відкладів західної частини Причорноморського мегапрогину. Водночас було розглянуто два основні аспекти. Перший полягав у з'ясуванні літолого-фаціальних і палеогеографічних просторово-вікових особливостей відкладів та побудові відповідних моделей. Другий – у визначенні літофізичної будови відкладів і положенні досліджуваного осадового комплексу в регіональній нафтогазовій системі породного басейну, включаючи моделювання та реконструкцію процесів генерації, міграції та акумуляції вуглеводнів. Окремі аспекти цих питань були розглянуті у попередніх роботах (Григорчук та ін., 2022¹, 2022²).

Мета роботи. З'ясувати літолого-фаціальну будову та умови осадонагромадження палеоценових відкладів західної частини Причорноморського мегапрогину. Визначити характер розвитку порід-колекторів та флюїдотривів у розрізі та динаміку процесів генерації, міграції та акумуляції вуглеводнів.

Методика досліджень. Літологічне розчленування розрізів свердловин проведено шляхом інтерпретації результатів радіоактивних методів їх дослідження. Літолого-фаціальні побудови здійснені на основі підрахунку вмісту у розрізах основних літологічних відмін (вапняки, мергелі, аргіліти). Побудова седиментаційних моделей ґрунтувалася на результатах літогенетичної інтерпретації результатів геофізичного дослідження свердловин, згідно з підходами (Фортунова, 2000;

© Григорчук Костянтин, Гнідець Володимир, 2023

Ильин, Фортунатова, 1988), з урахуванням фрагментарних літолого-петрографічних даних. Характер розвитку нафтогазових систем ґрунтувався на принципових положеннях флюїдодинамічної концепції катагенезу (Григорчук, 2012).

Одержані результати та їх обговорення.

Літолого-фаціальна характеристика відкладів.

Данські відклади. Товщина данських відкладів змінюється від 53 м (св. Безіменна-2) до 202 м (св. Одеська-2), складаючи у більшості свердловин 100–150 м. Водночас максимальні товщини відзначено в північно-східній та південно-західній частинах дослідженої території (рис. 1).

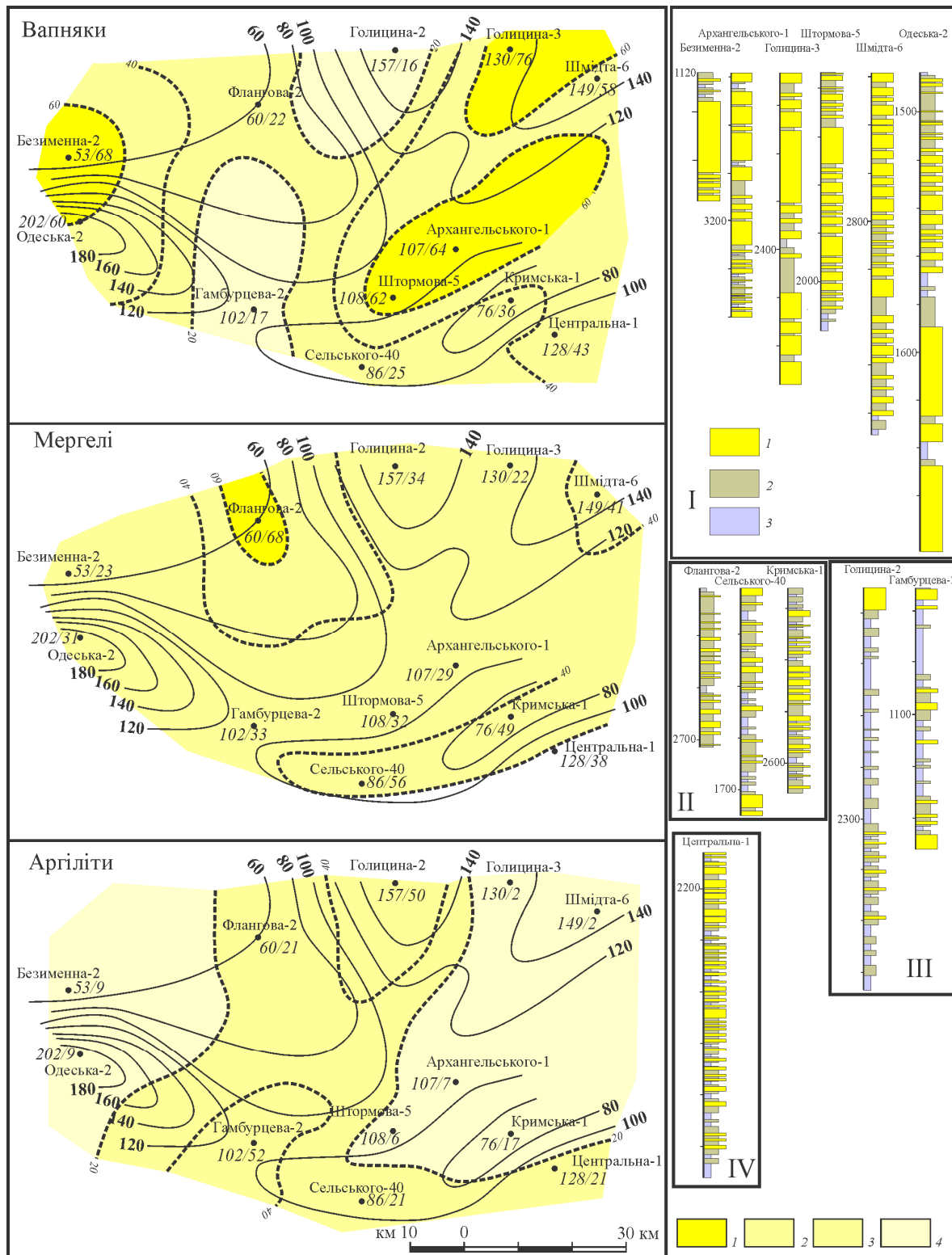


Рис. 1. Літофаціальна зональність та літологічні розрізи данських відкладів

Літотипи на розрізах: 1 – вапняки, 2 – мергелі, 3 – аргіліти.

Вміст літотипа у розрізі: 1 – 0–20 %, 2 – 20–40 %, 3 – 40–60 %, 4 – понад 60 %

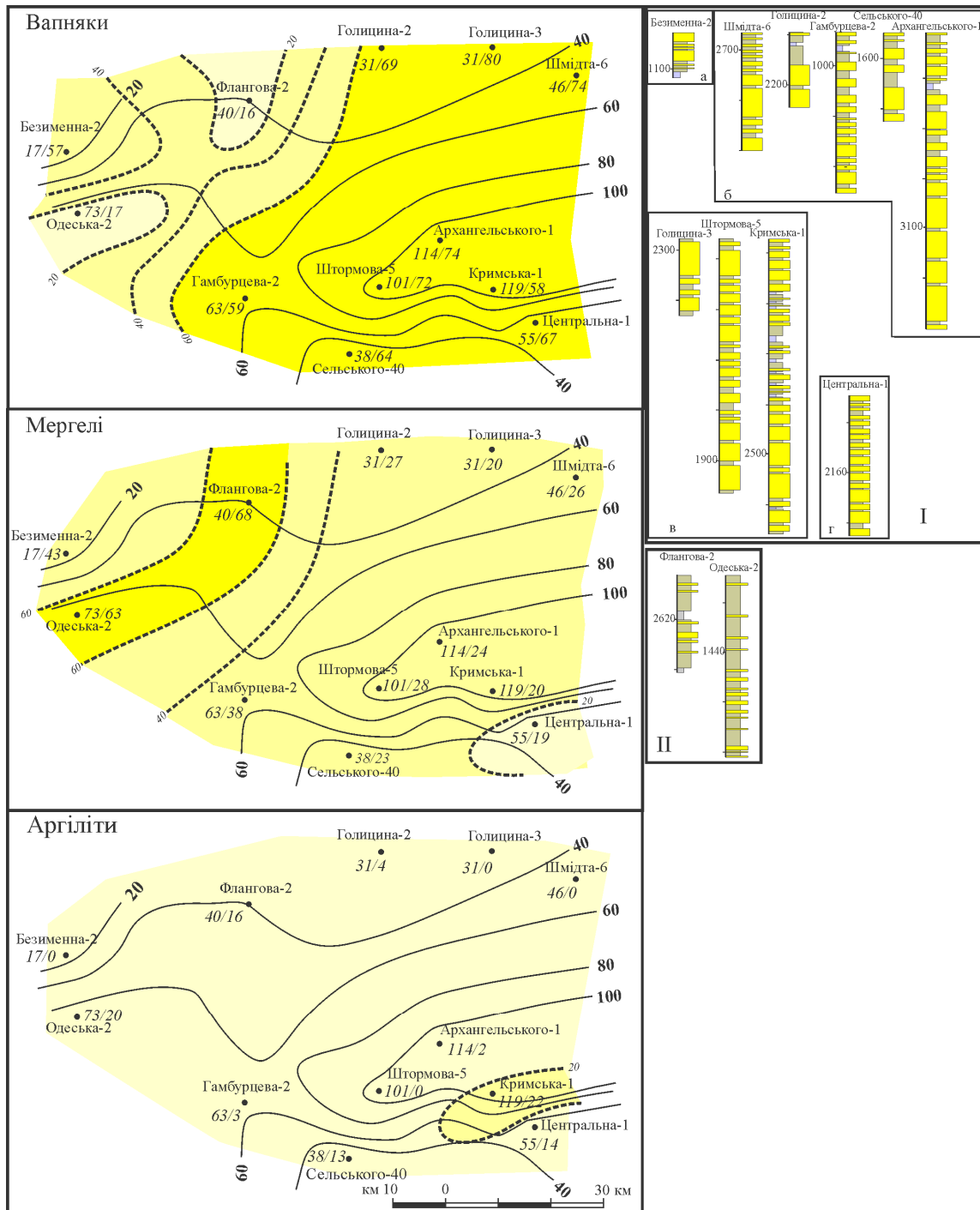


Рис. 2. Літофасціальна зональність та літологічні розрізи зеландських відкладів
Умовні позначення див. рис. 1

Відклади характеризуються виразною латеральною літологічною мінливістю. Так, ареали максимального розвитку вапняків (понад 60 % від загальної товщини розрізу) локалізовані у трьох ділянках (структури: Безіменна-Одеська, Голіцина-Шмідта, Архангельського та Штормова). Вони розмежовані субмеридіональним полем мінімальних значень "вапняковистості" (менше 20 %), що спостерігаються на структурах Флангова та Гамбурцева. Фактично данські відклади представлені чотирма типами розрізу: вапняковим (I), мергельним (II), аргілітовим (III) та змішаним (IV).

Водночас літологічна будова вапнякових розрізів відрізняється в окремих ділянках. У св. Безіменна-2

вапняки (пачка завтовшки близько 30 м) тяжіють до середньої частини розрізу. Його низи та верхи складені перешаруванням вапняків та мергелів (1–2 м) з окремими, в останньому випадку – прошарками аргілітів. Подібний характер поширення вапняків притаманний і відкладам, що розкриті св. Штормова-5, хоча середній вміст по розрізу цих літотипів не перевищує 50 %.

У св. Архангельського-1 та Шмідта-6 спостерігається зростання ролі вапняків знизу догори по розрізу. Так, у першому випадку низи данських складені перешаруванням вапняків, мергелів та аргілітів (0,5–4 м), а горішня їх частина представлена пачками вапняків (до 12 м), які розмежовані прошарками мергелів (1–4 м). Для св. Одеська-2

характерна зворотна картина: у низах розрізу розвинені потужні (до 30–40 м) пачки вапняків, а у верхній – перешарування вапняків (0,5–6,0 м), мергелів (0,5–8,0 м) та аргілітів (0,5–6,0 м). Відклади данію у св. Голіцина-3 відрізняються від вищеописаних наявністю у середині розрізу вапняково-мергельної пачки, яка розмежовує вапнякові частини (вапняки до 12–30 м, мергелі – до 4 м).

Мергелі домінують у двох ділянках: Флангова (68 %) та Кримська-Сельського (49–56 %). У першому випадку розріз є доволі однорідним: у мергельній товщі відносно рівномірно розвинені прошарки вапняків (0,5–2,0 м). У другому – спостерігається чергування у розрізі вапняково-мергельних (до 10–15 м), мергельно-вапнякових (до 10–18 м) та аргіліто-мергельних (до 5–8 м) пачок.

Ареал підвищеного вмісту аргілітів у відкладах тяжіє до центральної частини дослідженої території і простягається у субмеридіональному напрямку: св. Голіцина-2 (50 %) – Гамбурцева-2 (52 %). У цих розрізах на фоні домінування аргілітів з окремими прошарками (0,5–4,0 м) мергелів, спостерігаються вапняково-аргіліто-мергельні пачки потужністю до 40 м (св. Голіцина-2).

У св. Центральна-1 розкритий змішаний (аргіліто-мергельно-вапняковий) тип розрізу (IV). При цьому у нижній частині це перешарування аргілітів з мергелями та (менше) вапняками, а верхня – представлена мергельно-вапняковими відкладами.

Зеландські відклади. Товщина зеландських відкладів змінюється від 17 м (св. Безіменна-2) до 114–119 м (св. Архангельського-1 та Кримська-1), не перевищуючи у більшості свердловин 40–60 м. Водночас максимальні потужності спостерігаються в південно-східній частині дослідженої території (рис. 2).

За характером латерального розвитку порід чітко виділяються східна та західна ділянки. У першій – значну частину (понад 60 %) розрізу складають вапняки, вміст яких у св. Шмідта-6, Голіцина-3 та Архангельського-1 досягає 74–80 %. У другій – домінують мергелі, кількість яких у смузі св. Флангова-2 – Архангельського-1 становить 63–68 %. Вміст аргілітів по всій території рідко перевищує 10 %. Лише у св. Одеська-2, Кримська-1 та Флангова-2 сягає 16–22%.

Отже, відклади зеландського віку фактично представлені двома типами розрізу: вапняковим та мергельним. Вапняковий тип характеризується варіаціями літологічної будови на різних структурах, що відображає певну специфіку умов осадонагромадження в різних частинах території досліджень. Виділено чотири відміни літологічної будови. Перша – характеризується регресивним типом нашарувань: нижня глинисто-мергельна пачка перекривається вапняковою (св. Безіменна-2). Друга відміна відрізняється зворотними тенденціями, що проявляється у заміщенні догори за розрізом потужних (3–16 м) пачок вапняків товщею більш тонкого перешарування вапняків (0,5–3 м) та мергелів (2–7 м), зрідка з'являються аргіліти (св. Голіцина-2, Гамбурцева-2, Архангельського-1). Третя – характеризується наявністю нижньої та верхньої вапнякових пачок (товщина горизонтів вапняків до 15–16 м), які розмежовані вапняково-мергельними нашаруваннями (прошарки: 1–4 м) з аргілітами у св. Кримська-1. Четверта – представлена доволі рівномірним чергуванням у розрізі вапняків (1–5 м) та мергелів (1–2 м) (св. Центральна-1). У мергельному типі розрізу домінують мергелі з прошарками (0,5–2,5 м) вапняків.

Танетські відклади. Товщина танетських відкладів змінюється від 15 м (св. Одеська-2) до 141–154 м (св. Гамбурцева-2, Архангельського-1 та Кримська-1). Як очевидно, максимальні потужності спостерігаються в

межах південного борта Причорноморського мегапрогину (рис. 3).

У розрізі відкладів танетського віку, на відміну від нижчезалеглих, переважають аргіліти та мергелі. Характерно, що підвищений вміст глинистих порід (до 78 %) тяжіє до ділянок з мінімальними (Одесько-Безіменна) та максимальними (Штормова-Архангельського) потужностями відкладів (тип розрізу I).

Водночас у першому випадку розріз, розкритий св. Одеська-2, відрізняється істотним розвитком теригенних порід (алевроліти, пісковики).

Він складений двома пачками (28–35 м) перешарування алевролітів (0,5–8 м) та пісковиків (0,3–7 м), які розмежовані аргілітовими горизонтами (18–22 м). Спостерігаються поодинокі прошарки мергелів (до 0,5 м). Вміст алевролітів становить 34 %, аргілітів – 33 %, пісковиків – 26 %, мергелів – 7 %.

Решта розрізів цього типу (I) складені головню аргілітами з окремими прошарками (переважно 1–3 м) мергелів, рідко вапняків (переважно 0,5–1 м). Водночас спостерігається виразне зменшення ролі карбонатних порід знизу догори по розрізу.

Підвищений вміст мергелів (48–67 %) та вапняків (21–41 %) тяжіє до субмеридіональної смуги (св. Флангова-2 – Гамбурцева-2). Відповідно ці розрізи належать до вапняково-мергельного типу (тип II). Характерно, що загалом спостерігається зростання "вапняковистості" знизу догори за розрізами. Це фіксується збільшенням кількості та зростанням потужностей (від 0,5–1 до 3–7 м) прошарків вапняків.

На решті території досліджень розвинені вапняково-аргіліто-мергельний (св. Голіцина-2 та -3) та вапняково-мергельно-аргілітовий (св. Сельського-40, Кримська-1, Центральна-1) типи (III) розрізу. Такий характер поширення може вказувати на певну різницю обстановок седиментації на північному та південному бортах прогину, що підкреслюється і зворотними тенденціями розвитку вапняків у розрізі. У першому випадку їх роль знизу догори зростає, а в другому – зменшується.

Обстановки осадоагромадження.

У зв'язку з недостатністю інформації про породи, що складають розріз (низький відбір керну), побудова седиментаційних моделей ґрунтувалася на результатах літогенетичної інтерпретації результатів геофізичного дослідження свердловин, згідно з підходами (Фортунова, 2000; Ильин, Фортунатова, 1988), з урахуванням фрагментарних літолого-петрографічних даних.

На цій основі було виділено чотири біофації: 1) біогерми; 2) внутрішньобіогермні лагуни; 3) шлейфи руйнування біогермів; 4) зовнішній шельф (басейнові рівнини). На північному борті Каркінітського прогину (рис. 4, перетин I–I) біогерми зафіксовано у відкладах данського та зеландського ярусів, розташування яких та особливості будови розглянуті в роботі (Григорчук та ін., 2022).

У межах південного борта біогермні тіла також тяжіють переважно до данських та зеландських нашарувань (Григорчук та ін., 2022²). Так, на перетині II–II у данських відкладах вони зафіксовані на Штормовій та Одеській структурах. Максимально біогерми (товщини до 40 м) розвинені у східній частині перетину (від св. Гамбурцева-2 до св. Центральна-1), де вони перешаровуються з осадами внутрішньобіогермних лагун (5–10 м) та заміщуються вбік Одеської структури шлейфами руйнування та відкладами басейнових рівнин. У відкладах танетського віку на структурі Гамбурцева локалізоване біогенне тіло завтовшки близько 45 м.

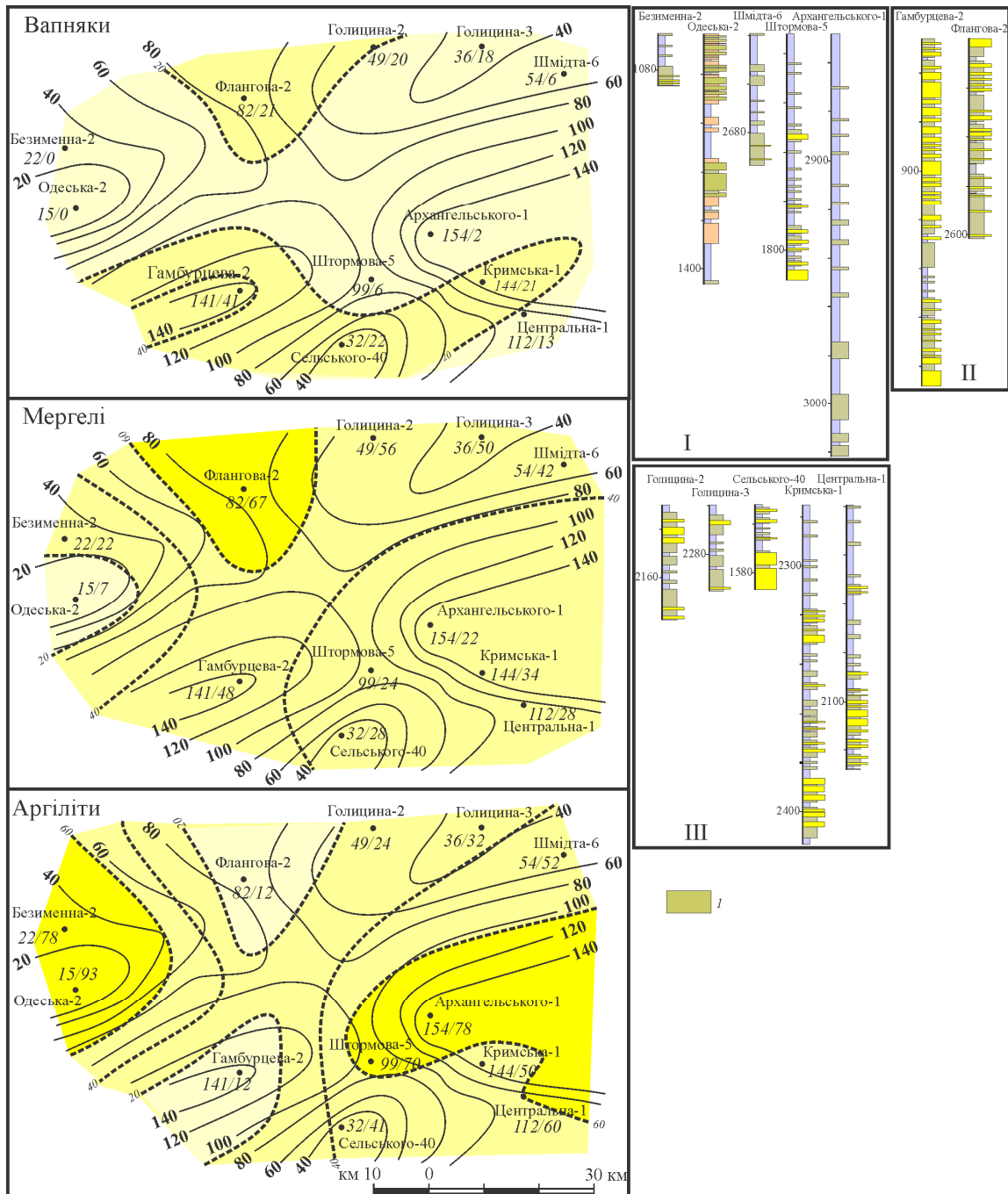


Рис. 3. Літофаціальна зональність та літологічні розрізи танетських відкладів
1 – пісковики, алевроліти. Інші позначення див. рис. 1

На перетинах III–III та IV–IV встановлено цікаву особливість – суттєве збільшення товщин біогермних утворень (данський, зеландський яруси) в напрямку приосової частини Каркінітського прогину (св. Архангельського-1) (див. рис. 4). Хоча традиційно у цьому депоцентрі фіксувалися відклади зовнішнього шельфу (Гнідець та ін., 2013). Така фаціальна картина дала підстави (Григорчук та ін., 2022²) припустити можливість конседиментаційного прояву Центральномихайлівського підняття.

Виходячи з цих міркувань та враховуючи трансгресивні тенденції палеоценового періоду, для окремих його епох побудовано моделі фаціальної зональності, які демонструють її еволюцію в часі (рис. 5).

У данський час біогермні масиви були локалізовані в чотирьох ділянках. На заході ці утворення охоплювали

структури Безіменну та Одеську. На південному сході біогенні акумулятивні тіла локалізовані в межах структур Штормова та Архангельського. В останньому випадку, враховуючи встановлені на перетинах тенденції розвитку біофаціальних зон, прогнозується поширення цього комплексу в північному напрямку (Центральномихайлівське підняття). На північному сході розвинений Голіцино-Шмідтівський масив. Виходячи з наявності в розрізі св. Флангова-2 та Голіцина-2 шлейфів руйнування, прогнозується існування біогермних утворень на північ від них. Ці біогенні тіла облямовувалися відкладами уламкових шлейфів (продуктів їх руйнування), ареали яких у більшості випадків мають прогнозний характер. Зона зовнішнього шельфу простягалася у субширотному напрямку вузькою смугою, значно розширюючись у західній частині території.

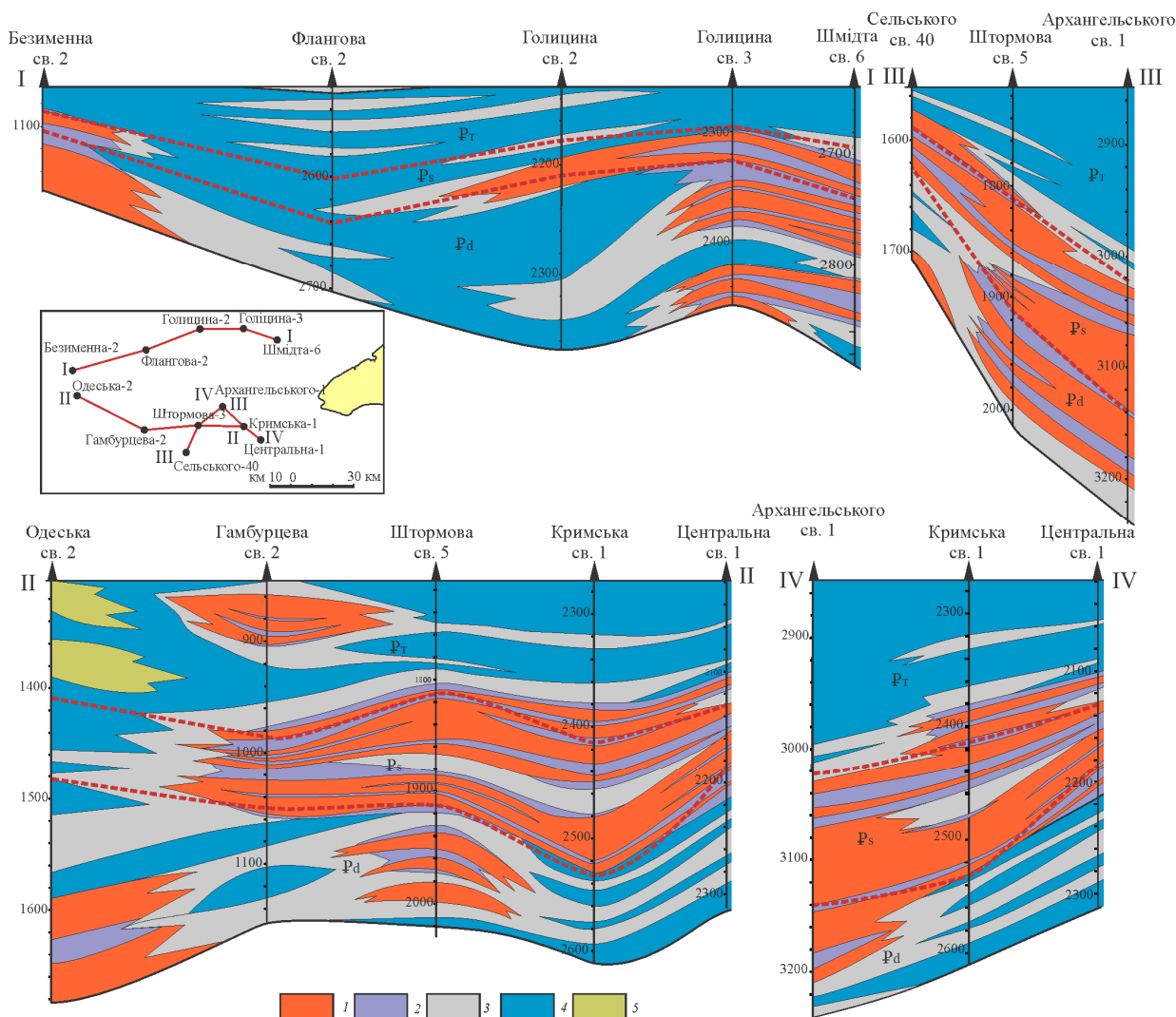


Рис. 4. Седиментаційні моделі палеоценових відкладів:
1 – біогерми, 2 – внутрішньобіогермні лагуни, 3 – шлейфи руйнування біогермів,
4 – зовнішній шельф (басейнові рівнини), 5 – теригенні бари

Зеландській епосі, як вже зазначалося, був притаманний максимальний розвиток біогенних тіл. Насамперед це фіксується формуванням на південному борті прогину великого біогермного масиву, який охоплював структури: Гамбурцева, Штормова, Сельського, Центральну, Кримську, Архангельського і, вірогідно, простягався на північ від останньої. На протилежному борті прогину продовжував існувати в дещо іншій конфігурації Голіцино-Шмідтівський масив з прогнозованим поширенням біогермних фацій у південному напрямку. У західній частині території невелике біогенне тіло зафіксовано на Безіменній структурі. Такі утворення прогножуються в ділянках на південь від св. Одеська-2 та на північ від св. Флангова-2. У зв'язку з розширенням ареалів розвитку біогермних фацій можна передбачати з'єднання в центральній частині прогину шлейфів руйнування північного та південного біогермних масивів, що повинно було призвести до відокремлення західної та східної зон зовнішнього шельфу.

Трансгресивні тенденції розвитку палеогенового басейну реалізувалися у танетський час. Це проявилось насамперед у значному розширенні області зовнішнього шельфу, у зменшенні розмірів біогермних утворень та їх віддаленні від причорноморської зони Причорноморського мегапрогину. Найбільш виразно останнє фіксується в

межах північного схилу, де за посередніми даними прогнозується існування трьох невеликих біогермів. У той же час привертає увагу успадкований розвиток (незважаючи на трансгресію) біогермних тіл на структурах Гамбурцева, Сельського, Центральна. Це, вочевидь, могло бути спричинене конседиментаційними висхідними порухами в межах Чорноморсько-Каламітського підняття, на чому наголошувалося і в роботі (Гожик, 2006). У північно-західній частині дослідження району (структура Одеська) розвинені теригенні утворення вздовжберегових барів, які продовжували формуватися тут і упродовж еоцену (Ревер, 2016).

Періодизація катагенезу та розвиток нафтогазових систем. З метою реконструкції динаміки формування покладів у палеоценових відкладах дослідженого району розглянуто їх положення в регіональній нафтогазовій системі. Ці побудови ґрунтувалися на концепції про вирішальну роль літофлюїдодинамічного режиму надр у реалізації генераційного потенціалу материнських відкладів. Ключовим моментом при цьому, згідно з (Григорчук, 2012), є циклічність ексфільтраційного катагенезу (чергування активних і пасивних його етапів), який визначає реалізацію процесів утворення вуглеводнів, шляхи їх міграції та зони акумуляції.

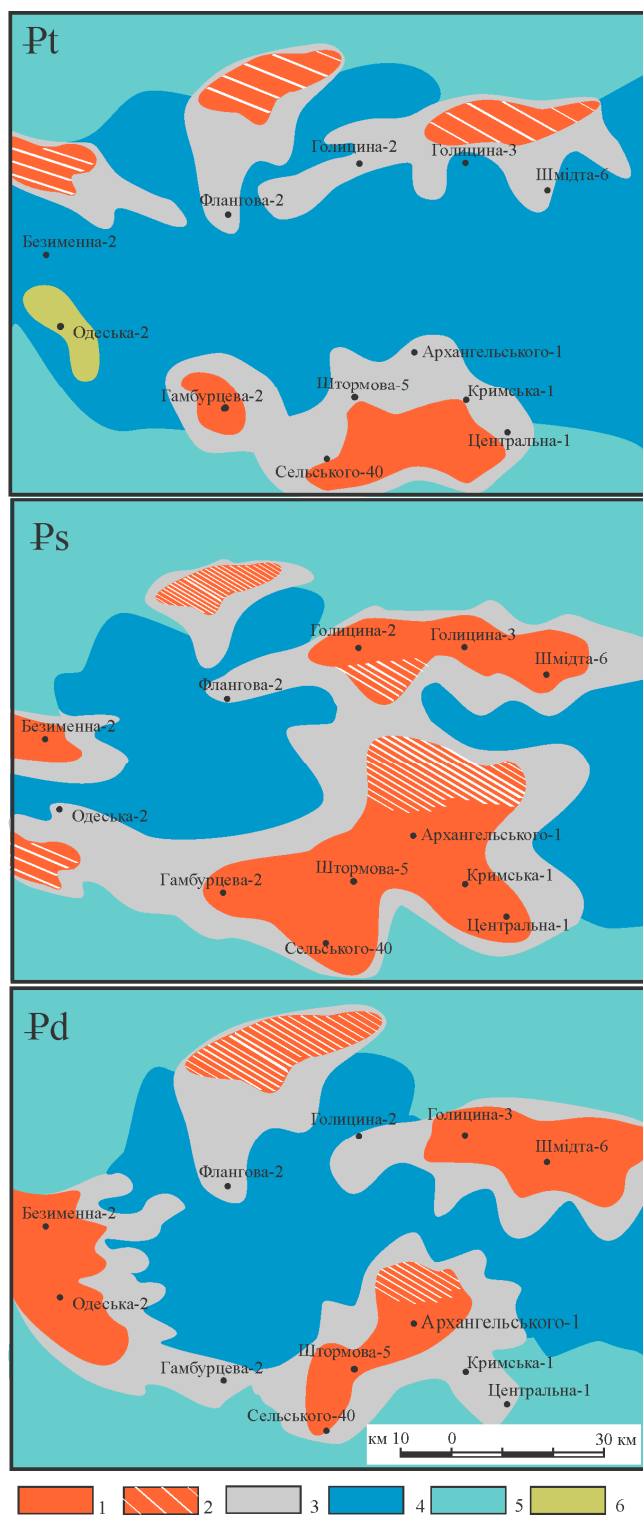


Рис. 5. Модель еволюції біофасіальної структури палеоценових відкладів. Біогерми:

- 1 – встановлені, 2 – прогнозні, 3 – шлейфи руйнування біогермів, 4 – зовнішній шельф (басейнові рівнини), 5 – внутрішній шельф, 6 – вздовжберегові бари

Як нафтогазоматеринські – виступають відклади безкисневого седиментогенезу, збагачені органічною речовиною, які, за (Parrish, 1980), називаються "біопродуктитами". У межах регіону, згідно з (Сеньковський та ін., 2004, 2012), до таких утворень віднесені відклади апт-альбу, сеноман-турону, сantonу-кампану, еоцену та олігоцену. Генераційно-

міграційно-аккумуляційні процеси відбувалися головню протягом трьох циклів катагенезу. Водночас, як було показано (Григорчук та ін., 2021), формувалися різні типи резервуарів і дискретно розвивалися регіональні флюїдопровідні зони.

Встановлено певну відмінність режиму катагенезу на різних структурах (рис. 6, 7). Загалом виділено п'ять типів режиму катагенезу. I тип характеризується проявом трьох повних циклів катагенезу. Перший – завершувався у кампані, другий – палеоцені, третій – міоцені. II тип відрізняється проявом двох циклів катагенезу (їх закінчення припадає на кампан та міоцен). III типу теж притаманний розвиток двох циклів (кампан та еоцен). IV тип також є двоциклическим, але цикли завершувалися в палеоцені та еоцені. V тип складається з трьох циклів: турон, палеоцен, олігоцен (св. Безіменна-2) та міоцен (св. Флангова-2). Отже, доволі виразною є різниця режиму на північному та південному бортах мегапрогину, а найбільша різноманітність спостерігається в західній частині досліджуваної ділянки.

Для формування покладів вуглеводнів (ВВ) у відкладах палеоцену важливим був останній цикл катагенезу, який на більшості досліджених структур (за винятком Одеської, Безіменної, Гамбурцева та Сельського) завершився в міоцені. На моделях показано стан літофлюїдної нафтогазової системи на момент прояву активного підетапу останнього циклу катагенезу (рис. 8).

Важливим фактором ефективної діяльності нафтогазової системи є достатня інтенсивність занурення та прогріву материнських товщ, коли утворюються осередки генерації ВВ (ділянки консервації літогенезу, за (Григорчук, 2012)). У межах дослідженої території це осьова частина мегапрогину, де материнські товщі крейдового віку на міоценовий час досягли градації катагенезу МК₃–МК₅ (палеотемператури 150–210°C) (див. рис. 7А).

На перетинах I–I' та II–II' показано динаміку формування покладів ВВ у ділянці структур Голицина та Шмідта під час прояву активного підетапу ексфільтраційного катагенезу в міоцені, що детально описано у роботі (Григорчук та ін., 2022¹).

Відсутність вуглеводневих покладів у відкладах палеоцену в районі структури Гамбурцева спричинена як особливостями літологічної (літофізичної) будови осадової товщі, так і режимом катагенезу (перетин III–III'). Перше зумовило відсутність у безпосередній близькості до цієї площі літогенетичних резервуарів. Друге, у зв'язку з раннім проявом активного підетапу другого циклу (еоцен), спричинило доволі низький ступінь катагенезу материнських відкладів (градація МК₁₋₂) і, відповідно, невелику інтенсивність генерації ВВ, які ймовірно акумулювалися у резервуарах R III, R III' (відклади нижньої крейди).

На Одеській структурі (перетин IV–IV') основна фаза акумуляції ВВ припадає на олігоценний час. Головним генеруючим елементом слугували відклади сеноману-кампану, які досягли градації катагенезу МК₃. Вони дремувалися регіональною зоною розуцільнення, по якій лавинно надходили ВВ у великий резервуар R IV, який охоплював відклади верхнього альбу-маастрихту (розміри приблизно 2х40 км). У подальшому флюїди мігрували по розлому, де на двох гіпсометричних рівнях перехоплювалися регіональними зонами розуцільнення і рухалися ними вбік Одеської структури. По цих зонах надходила (через проміжний резервуар R IV') також певна кількість ВВ, яка генерувалася у відкладах палеоцену та еоцену (градації катагенезу МК₁₋₂). Отже, Одеське родовище було сформоване в олігоценний час. Є підстави передбачати можливість надходження у його межі ВВ зі згаданих резервуарів і протягом подальшого геологічного розвитку.

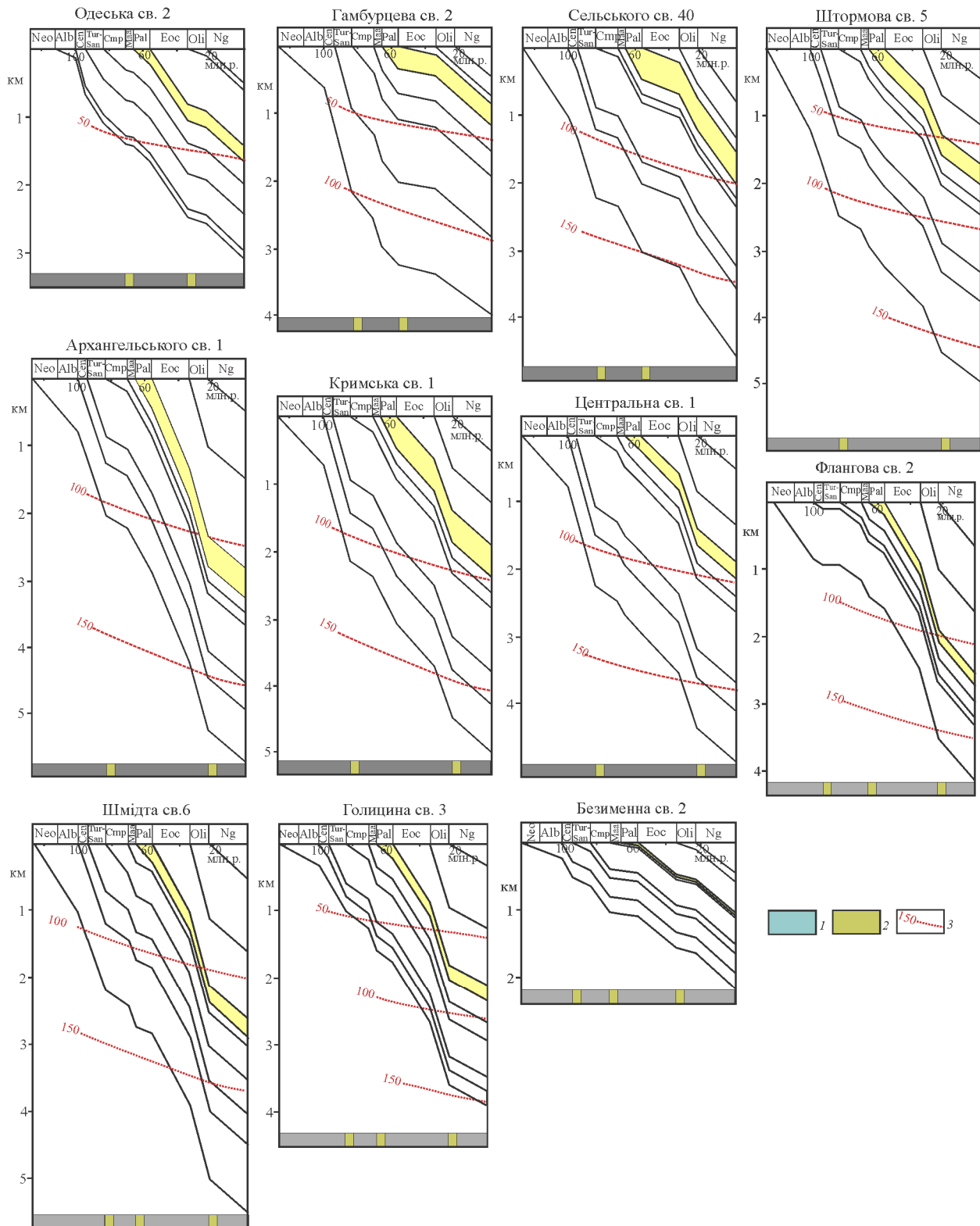


Рис. 6. Історія занурення та періодизація катагенезу відкладів мезо-кайнозую
 Ексіфільтраційний етап катагенезу: 1 – пасивний підетап, 2 – активний підетап; 3 – палеотемператури

У районі Кримської структури проявлено два цикли катагенезу. У міоценовий час лавинна міграція ВВ відбувалася на трьох рівнях (перетин V–V'). На нижньому дреналися материнські відклади турону-сантону, які досягли рівня катагенезу МК₃₋₄. Вуглеводні нагромаджувалися головню у літогенетичному субвертикальному резервуарі (R V), який розташований

~ у 20 км на північ від св. Кримська-1. По двох верхніх зонах розушільнення ВВ флюїди надходили з відкладів еоцену та олігоцену (МК₂₋₃ та МК₁₋₂ відповідно). Їх акумуляція переважно відбувалася в резервуарі (R V', відклади еоцену), що розташований ~ у 5–10 км на північ від св. Кримська-1. Палеоценові відклади останньої, виходячи з моделі, не повинні містити ВВ поклади.

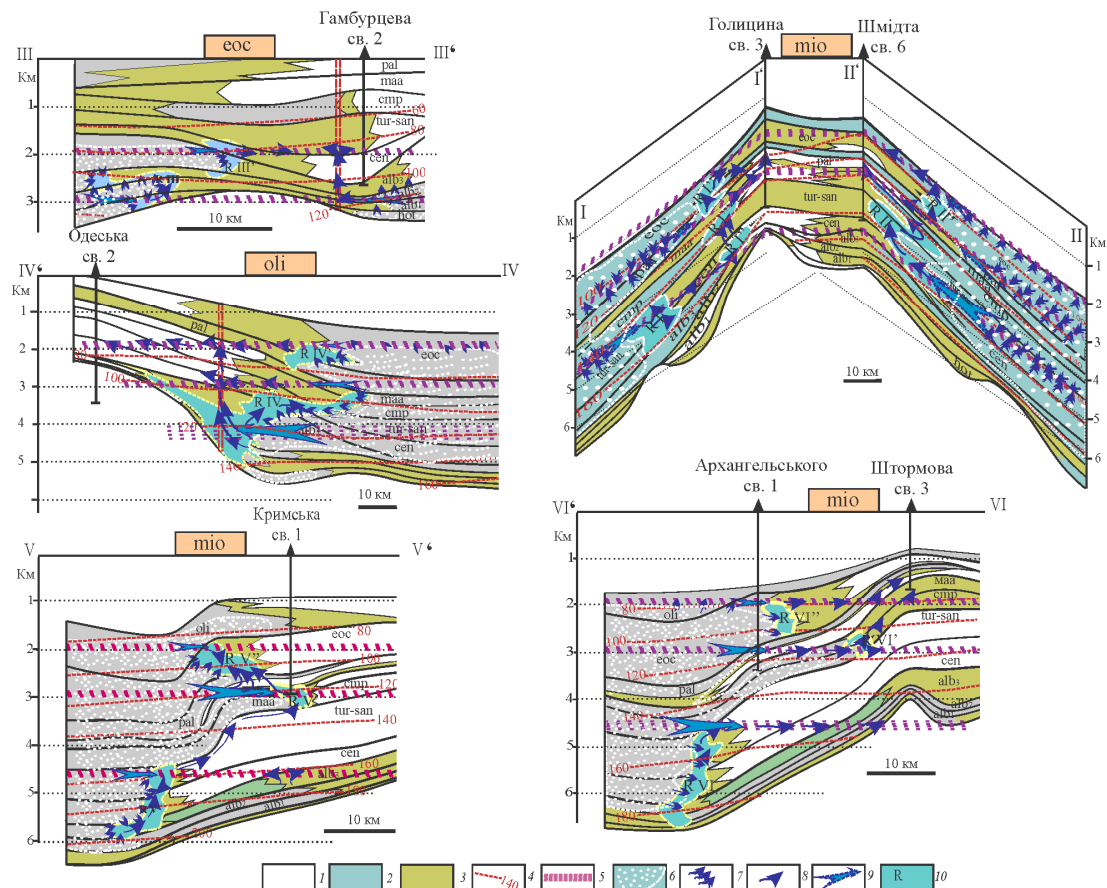


Рис. 8. Генераційно-міграційно-аккумуляційні моделі останнього циклу катагенезу

Осадкові комплекси: 1 – алевроліто-піщаний (нижня крейда) та вапняковий (верхня крейда), 2 – істотно глинистий, 3 – алевроліто-піщано (вапняково)–глинистий; 4 – палеотемператури; 5 – регіональні зони тріщинуватості; 6 – область консервації процесів літогенезу; флюїдні перетоки: 7 – стягування розчинів у зону розуцілювання, 8 – внутрішньорезервуарні, 9 – регіональні, 10 – літогенетичні резервуари

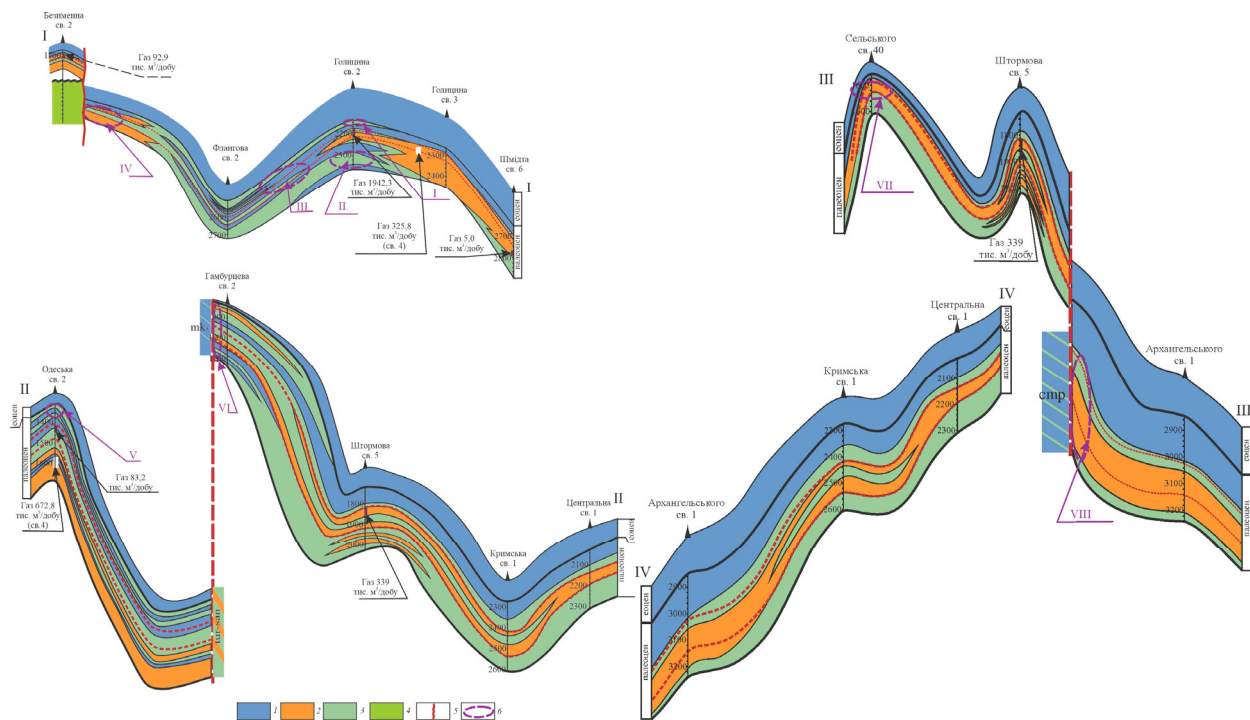


Рис. 9. Моделі розвитку порід-колекторів та флюїдоупорів у відкладах палеоцену:

1 – флюїдоупори; породи-колектори: 2 – порові, 3 – тріщинні; 4 – відклади нижньої крейди; 5 – розлом; 6 – перспективні об'єкти (I–VIII)

Висновки

1. Встановлено основні риси літолого-фаціальної зональності окремих ярусів палеоценового відділу. Головні особливості полягають у характері просторово-вікового поширення вапняків та аргілітів, мергелям, натомість, приаманний фоновий розвиток з успадкованим максимумом у районі св. Флангова-2 та відгалуженням у напрямку структур Одеська (зеландський ярус) і Гамбурцева (танетський ярус). Роль вапняків у розрізі істотно зростає від данських до зеландських відкладів з формуванням в останньому випадку обширного поля у східній частині дослідженої ділянки. Танетський ярус відрізняється відсутнім зменшенням вмісту вапняків особливо у приосовій частині прогину. Аргіліти характеризуються мінімальним розвитком у зеландських відкладах, а також зміною орієнтації ареалу підвищених вмістів із субмеридіального у данському ярусі (св. Голіцина-3 – Гамбурцева-2) на субширотний (св. Одеська-2 – Архангельського-1) – у танетському.

2. Визначено біофаціальну зональність палеоценових відкладів. Максимальний розвиток біогермних утворень спостерігається у відкладах данського та зеландського ярусів. У данський час біогенні тіла були локалізовані в Безіменно-Одеській, Голіцино-Шмідтівській та Штурмова-Архангельського ділянках. У зеландський – значно збільшилася площа розвитку таких утворень на південному борті прогину з формуванням великого біогермного масиву, який охоплював структури: Гамбурцева, Штурмова, Архангельського, Кримська, Центральна. Враховуючи встановлені тенденції розвитку біогенних тіл, спрогнозовано розвиток цих утворень у приосовій частині прогину, що пов'язане з конседиментаційним проявом Центральномихайлівського підняття. У танетський час евстатичне підняття рівня моря спричинило збільшення площі поширення відкладів зовнішнього шельфу у приосовій зоні прогину та міграцію (у межах північного борта прогину) біогенних тіл у північному напрямку. У той же час у районі структур Гамбурцева, Сельського, Центральна успадковано розвивалися біогерми, що, ймовірно, було спричинене конседиментаційними висхідними порухами в межах Чорноморсько-Каламітського підняття.

3. Створені генераційно-міграційні моделі дали підстави стверджувати різночасовість формування покладів Одеського, Голіцинського та Штурмового родовищ (олігоцен та міоцен). Крім того, у перших двох випадках існує ймовірність сучасного поповнення запасів за рахунок надходження вуглеводнів із проміжних резервуарів. Встановлені особливості літогенезу показали відсутність перспектив виявлення покладів не тільки у палеогенових відкладах, але і загалом в осадовій товщі району структури Гамбурцева. Натомість поблизу Кримської – прогнозується можливість існування покладів у літогенетичних резервуарах (відклади туруно-сантону та еоцену).

4. Створено моделі літофізичної будови відкладів палеоцену за чотирма профілями, де локалізовано вісім перспективних об'єктів (пастки склепінного, літологічно та тектонічно обмеженого типів).

Список використаних джерел

- Гнідець, В.П., Григорчук, К.Г., Захарчук, С.М., Мельничук, П.Н., Полухтович, Б.М. та ін. (2010). *Нафтогазоперспективні об'єкти України. Геологія нижньої крейди Причорноморсько-Кримської нафтогазоносною області*. ЕКМО.
- Гнідець, В.П., Григорчук, К. Г., Куровець, І.М., Куровець, С.С., Приходько, О.А. та ін. (2013). *Геологія верхньої крейди Причорноморсько-Кримської нафтогазоносною області (геологічна палеоокеанографія, літогенез, породи-колектори і резервуари вуглеводнів, перспективи нафтогазоносності)*. СП ТзОВ "Полі".
- Гожик, П.Ф. (Ред.). (2006). *Стратиграфія мезокайнозойських відкладів північно-західного шельфу Чорного моря*. Наук. думка.

- Григорчук, К., Гнідець, В., Баландюк, Л. (2022²). Літологічна будова та умови осадоагромадження палеоценових відкладів південного борта Каркінітського прогину. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2 (187–188), 71–81.
- Григорчук, К.Г., Гнідець, В.П., Баландюк, Л.В. (2022¹). Особливості літогенезу та перспективи нафтогазоносності палеоценових відкладів північного борту Каркінітського прогину. *Геологічний журнал*, 2 (379), 71–85.
- Григорчук, К., Гнідець, В., Войцицький, З. (2021). Динаміка розвитку літофіюїдних нафтогазових систем у крейдових відкладах західної центрикліналі Причорноморського мегапрогину. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3 (94), 83–89.
- Григорчук, К.Г. (2012). *Динаміка катагенезу порід осадових комплексів нафтогазоносних басейнів*. [Автореф. дис. д-ра геол.-мінералог. наук: 04.00.21].
- Ильин, В.Д., Фортунатова, Н.К. (1988). *Методы прогнозирования и поисков нефтегазоносных рифовых комплексов*. Недра.
- Козленко, М.В., Козленко, Ю.В., Лысичук, Д.В. (2013). Структура земной коры С-З шельфа Черного моря вдоль профиля ГСЗ № 26. *Геофизический журнал*, 1 (35), 142–152.
- Кохан, О.М. (2019). *Геолого-палеоокеанографічні умови осадоагромадження середньо-верхньомайкопських газосносних відкладів західної частини Причорноморського мегапрогину* [Автореф. дис. канд. геол.-мінералог. наук: 04.00.17].
- Марьенко, Ю.И. (1978). *Нефтегазоносность карбонатных пород*. Недра.
- Реввер, В.Б. (2016). *Літогенез еоценових відкладів Чорноморського сегменту океану Tethys*. Наук. думка.
- Сеньковский, Ю.М., Григорчук, К.Г., Гнідець, В.П., Колтун, Ю.В. (2004). *Геологічна палеоокеанографія океану Tethys*. Наук. думка.
- Сеньковский, Ю.М., Колтун, Ю.В., Григорчук, К.Г., Гнідець, В.П., Попп, І.Т., Радковець, Н.Я. (2012). *Безкисневі події океану Tethys. Карпат-Чорноморський сегмент*. Наук. думка.
- Фортунатова, Н.К. (Ред.). (2000). *Седиментологическое моделирование карбонатных осадочных комплексов*. РЭФИА.
- Parrish, I.T. (1980). Upwelling and petroleum source beds with reference to Paleozoic. *AAPG Bull.*, 66, 750–774.

References

- Fortunatova, N.K. (Ed.). (2000). *Sedimentological modeling of carbonate sedimentary complexes*. REFIA [in Russian].
- Gozyk, P.F. (Ed.). (2006). *Stratigraphy of the Meso-Cenozoic sediments of the northwestern shelf of the Black Sea*. Naukova dumka [in Ukrainian].
- Hnidec, V.P., Grigorchuk, K.G., Zakharchuk, S.M., Melnychuk, P.N., Polukhtovych, B.M. et al. (2010). *Prospective oil and gas objects of Ukraine. Geology of the Lower Cretaceous of the Black Sea-Crimean oil and gas region*. ECOMO [in Ukrainian].
- Hnidec, V.P., Grigorchuk, K.G., Kurovets, I.M., Kurovets, S.S., Prykhodko, O.A. et al. (2013). *Geology of the Upper Cretaceous of the Black Sea Crimean oil and gas-bearing region (geological paleo-oceanography, lithogenesis, reservoir rocks and hydrocarbon reservoirs, prospects for oil and gas potential)*. CP "Poli" LLC [in Ukrainian].
- Hryhorchuk, K., Hnidec, V., Balandyuk, L. (2022²). Lithological structure and conditions of sedimentation of Paleocene sediments of the southern side of the Karkinit depression. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 1–2 (187–188), 71–81 [in Ukrainian].
- Hryhorchuk, K., Hnidec, V., Voytsytskyi, Z. (2021). Dynamics of the development of lithofluid oil and gas systems in the chalk deposits of the western centricline of the Black Sea megathrust. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 33 (94), 83–89 [in Ukrainian].
- Hryhorchuk, K.G. (2012). *Dynamics of rock catagenesis of sedimentary complexes of oil and gas bearing basins*. [Extended abstract of Doctor's thesis (Geol.-Min.): 04.00.21] [in Ukrainian].
- Hryhorchuk, K.G., Hnidec, V.P., Balandyuk, L.V. (2022¹). Peculiarities of lithogenesis and oil and gas potential prospects of the Paleocene sediments of the northern side of the Karkinit depression. *Geological Journal*, 2 (379), 71–85 [in Ukrainian].
- Ilyin, V.D., Fortunatova, N.K. (1988). *Methods of forecasting and searching for oil and gas-bearing reef complexes*. Subsoil [in Russian].
- Kokhan, O.M. (2019). *Geological and paleoceanographic conditions of sedimentation of the Middle-Upper Maikopian gas-bearing deposits of the western part of the Black Sea megathrust* [Extended abstract of Candidate's thesis (Geol.-Min.): 04.00.17] [in Ukrainian].
- Kozlenko, M.V., Kozlenko, Yu.V., Lysynchuk, D.V. (2013). Structure of the N-W crust of the Black Sea shelf along GSZ profile No. 26. *Geophysical Journal*, 1 (35), 142–152 [in Russian].
- Maryenko, Yu.I. (1978). *Oil and gas capacity of carbonate rocks*. Subsoil [in Russian].
- Parrish, I.T. (1980). Upwelling and petroleum source beds with reference to Paleozoic. *AAPG Bull.*, 66, 750–774.
- Revere, V.B. (2016). *Lithogenesis of Eocene deposits of the Black Sea segment of the Tethys Ocean*. Naukova dumka [in Ukrainian].
- Senkovskiy, Yu.M., Grigorchuk, K.G., Hnidec, V.P., Koltun, Yu.V. (2004). *Geological paleoceanography of the Tethys Ocean*. Naukova dumka [in Ukrainian].
- Senkovskiy, Yu.M., Koltun, Yu.V., Grigorchuk, K.G., Hnidec, V.P., Popp, I.T., Radkovets, N.Ya. (2012). *Anoxic events in the Tethys Ocean. Carpatho-Black Sea segment*. Naukova dumka [in Ukrainian].
- Отримано редакцією журналу / Received: 11.04.23
Прорецензовано / Revised: 24.07.23
Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Kostyantyn HRYHORCHUK, DSc (Geol.), Leading Researcher
ORCID ID: 0000-0003-1595-0968
e-mail: kosagri@ukr.net
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Volodymyr HNISETS, PhD (Geol.-Min.), Senior Researcher
ORCID ID: 0009-0001-6372-7878
e-mail: vgnidets53@gmail.com
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

PALEOCENE SEDIMENTS OF THE WESTERN PART OF THE BLACK SEA MEGADEPRESSION: LITHOFACIES, CONDITIONS OF SEDIMENTATION, DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT OF OIL AND GAS SYSTEMS

Based on the results of lithogenetic studies of the Paleocene sediments of the western part of the Black Sea megadepression, the main features of the litho-facies zonation in individual layers have been established. It is shown that the role of limestones in the section significantly increases from Danish to Zealand deposits, with the formation of an extensive carbonate field in the eastern part of the studied area in the latter case. Marls are characterized by background development with an inherited maximum in the area of well Flangova-2 and a branch in the direction of the Odesa (Zelandian stage) and Hamburtsev (Tanet stage) structures. Argillites are distinguished by their minimal development in the Zealand deposits, as well as by the change in the orientation of the range of their elevated contents from submeridional in the Danish layer to sublatitudinal in the Thanet layer. The reconstruction of the conditions of sedimentation was carried out, in particular, the spatial and age features of the distribution of biogenic accumulative bodies were determined. In Danish times, biogenic bodies were localized in the Bezymenno-Odeska, Golitsyn-Shmidtivska, and Shtormov-Arkhangelsk areas. In Zelandian, the area of development of such formations on the southern side of the trough has significantly increased with the formation of a large bioherm massif, which included the following structures: Hamburtsev, Stormov, Arkhangelsky, Krymsk, Central. During the Thanetian time, the eustatic rise of the sea level caused an increase in the area of distribution of the outer shelf sediments in the axial zone of the depression and migration (within the northern side of the depression) of the zone of development of biogenic bodies in the northern direction. On the southern side, as a result of the sedimentation development of the Black Sea-Kalamite uplift, bioherms developed. A certain difference in the mode of catagenesis on different structures has been established. On the basis of the created generation and migration models, the different timing of the formation of deposits of the Odesa, Golitsyn, and Storm deposits (Oligocene and Miocene) is argued. The possibility of modern replenishment of their reserves due to the arrival of hydrocarbons from intermediate reservoirs is shown. Lithogenetic reasons for the low prospects of deposits of the Hamburtsev structure were grounded. The lithophysical structure of the Paleogene deposits was clarified and a number of oil and gas prospective objects were located.

Keywords: paleocene, Karkinitzky depression, generation, migration, accumulation of hydrocarbons.

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.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.838.5+551.79

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.05>

Володимир БАХМУТОВ¹, д-р геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-3804-9953
e-mail: bakhmutovvg@gmail.com

Галина МЕЛЬНИК¹, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-3609-1181
e-mail: melnykgv@gmail.com

Дмитро ГЛАВАЦЬКИЙ¹, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-9901-7827
e-mail: hlavatskyi@gmail.com

Євген ПОЛЯЧЕНКО¹, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-3316-4605
e-mail: poliachenkoib@gmail.com

¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України, Київ, Україна

ЕКСКУРСИ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ХРОНУ БРЮНЕС ЧАСТИНА 1: ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД ТА СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ

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

Застосування палеомагнітного методу у стратиграфії базується на встановленому факті як глобальних змін полярності геомагнітного поля (інверсій), так і на існуванні короткочасних (до 10 тисяч років) відхилень віртуального геомагнітного полюса від свого положення (еккурсів), що іноді відбуваються тільки в регіональному масштабі. Експурси як магнітостратиграфічні реperi є потужним інструментом для кореляції четвертинних відкладів. У 1960–1990 рр. їм приділяли особливу увагу як важливим кореляційним маркерам під час побудови регіональних хроностратиграфічних шкал антропогену. Проте кількість еккурсів хрону Брюнес, їхнє стратиграфічне положення та вікова прив'язка досі залишалися суперечливими. За останні роки опубліковано багато праць з уточненням природи, віку і тривалості еккурсів у різних відкладах. У першій частині статті наведено детальний огляд еккурсів епохи Брюнес, розглянуто сучасний стан проблеми визначення їхньої достовірності.

Ключові слова: інверсії та експурси геомагнітного поля, магнітостратиграфія.

Часова шкала геомагнітної полярності. Вже більше ніж півстоліття палеомагнітні дослідження широко застосовуються для розв'язання ключових проблем геології, зокрема в галузях тектоніки та стратиграфії. Використання палеомагнітного методу у стратиграфії базується на тому фундаментальному факті, що під час геологічної історії магнітне поле Землі (МПЗ) багаторазово змінювало свою полярність, тобто відбувалися інверсії МПЗ. Вони фіксуються в "магнітній пам'яті" гірських порід унаслідок зміни орієнтації векторів природної залишкової намагніченості порід, коли остання синхронна з часом утворення відповідних товщ геологічного розрізу. Внаслідок багаторазових інверсій МПЗ розрізи осадових і вулканогенних товщ можна розчленувати на зони прямої та зворотної полярності. Такі записи змін полярності МПЗ у гірських породах (осадових та/або вулканічних) вивчає *магнітостратиграфія*. Магнітостратиграфічна шкала є бінарною шкалою магнітної полярності, що включає інверсії та магнітозони у їхній хронологічній (стратиграфічній) послідовності (рис. 1). Оскільки інверсія МПЗ явище глобальне, то виділені в розрізі палеомагнітні "маркери", з урахуванням їхньої комплексної вікової прив'язки, є фіксованими реперами для кореляції подій геологічної історії як у планетарному, так і в регіональному масштабі. Показовою у цьому відношенні є стратиграфічна прив'язка границі Матуяма–Брюнес – ключового палеомагнітного репера між середнім плейстоценом і калабрійським ярусом нижнього плейстоцену. Ідентифікація інверсії Матуяма–Брюнес дає змогу корелювати розрізи на всій земній поверхні незалежно від наявних стратиграфічних схем. Вік цієї границі оцінювався близько 780 тис. років тому (Tauxe et al.,

1996), але в останні роки, за новими дослідженнями лавових потоків (Singer et al., 2019), даними аналізу $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ (Simon et al., 2019), а також дослідженнями кореляції $\delta^{18}\text{O}$ у морських кернах з високою швидкістю седиментації (Channel et al., 2020 та посилання в ній) вік границі Матуяма–Брюнес встановлено як 773 ± 2 тис. років тому.

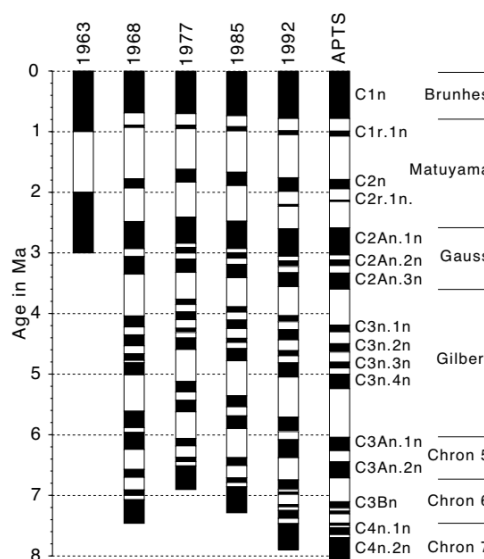


Рис. 1. Етапи створення часової шкали геомагнітної полярності (GPTS geomagnetic polarity time scale) за останні півстоліття. Шкала часу астрономічної полярності (APTS astronomical polarity time scale) (Langereis et al., 2010)

Сьогодні, більш ніж через століття від часу відкриття інверсій геомагнітного поля у 1905 р. французьким ученим Бернардом Брюнесом (Bernard Brunhes) та наступним їх підтвердженням Мотонорі Матуєюмо наприкінці 1920-х років (див., наприклад, Kornprobst, & Lénat, 2014 та посилання в ній), та через півстоліття після створення першої часової шкали геомагнітної полярності, можна констатувати, що магнітостратиграфія є незамінним інструментом в науках про Землю, у тому числі зважаючи на успіхи в її астрономічному калібруванні (Langereis et al., 2010 та посилання в ній). Розвиток уявлень про шкалу геомагнітної полярності показано на рис. 1.

Дискусії щодо тривалості інверсій геомагнітного поля сьогодні продовжуються, вона оцінюється від кількох тисяч до 28000 років. Тривалість може змінюватися залежно від широти місця визначення: найбільша для високих широт, найменша для низьких, і за розрахунками становить у середньому 7000 (Clement, 2004), або менш як 5000 років (Ogg, 2020). Тобто у геологічних масштабах часу це досить швидкий процес, а отже палеомагнітний метод може застосовуватися для глобальної кореляції практично всіх порід різного віку.

Найкоротші інтервали полярності в GPTS зазвичай мають тривалість близько 30 тис. років, однак існують і варіації меншого масштабу (Langereis et al., 2010). Саме до таких короткочасних подій належать *субхрони* та *екскурси* (палеомагнітні аномалії). Krijgsman and Kent (2004) запропонували тривалість розділення субхронів та екскурсів на рівні 9–15 тис. років, однак можливість такого розділення обмежується точністю методів виявлення таких подій. Слід зазначити, що в деяких публікаціях субхрони та екурси окремо не розділяються, і тоді більш доцільно використовувати термін "геомагнітний епізод".

Альтернативним є визначення екскурсів за короткотривалим ($<10^4$ років) відхиленням віртуального геомагнітного полюса (ВГП, VGP) від геоцентричного осевого диполя. Палеомагнітну аномалію відносять до екскурсу коли ВГП, розрахований за напрямком поля в даній місцевості, відхиляється більш ніж на 45° (за іншими оцінками – на $60\text{--}180^\circ$) від свого усередненого за часом положення для цієї епохи, що не пов'язане зі зміною полярності (Merrill et al., 1996). Відповідно до (Петрова и др., 1992), екскурс – це короткочасна зміна геомагнітного поля, амплітуда якого не менше ніж у три рази перевищує рівень вікових варіацій для даного проміжку часу, а зміна полярності, якщо відбувається, не стійка. У (Laj, & Channell, 2007) запропоновано для подій тривалістю менш ніж 10^5 років, під час яких фіксується зміна полярності, використовувати термін "мікротрон", тоді термін "екскурс" буде використовуватися лише для особливостей, які представляють відхилення від нормальної вікової варіації, для яких повна зміна полярності не була встановлена. У своїй роботі для позначення подій у хроні Брюнес ми будемо використовувати термін "екскурси" за визначенням (Петрова и др., 1992).

Створення єдиної номенклатури послідовності інтервалів полярності, особливо тієї, яка включає короткочасні події, є складною проблемою. З находженням нового фактичного матеріалу, при виявленні нових епізодів зміни полярності, останні можуть проявлятися як глобально, так і тільки в межах окремих регіонів (див., наприклад, Langereis et al., 2010). У роботі (Laj, & Channell, 2007) запропоновано номенклатуру для інтервалів полярності та екскурсів, зокрема, у часовому еквіваленті, за тривалістю, події називають: мегахрон – 108–109 років, суперхрон – 107–108 років, хрон – 106–107 років, субхрон – 105–106 років, мікрохрон – <105 років,

екскурс або екскурсія – коротке відхилення від звичайної вікової варіації, криптохрон (cryptochron) – "крихітні ворухіння" (tiny wiggles, тобто дуже короткі та низькоінтенсивні аномалії невизначеного походження, які є або короткочасними інтервалами оберненої полярності, або коливаннями палеоінтенсивності (Langereis et al., 2010; Laj, & Channell, 2007). Самі ж автори наголошують, що застосування такої термінології, основаної на тривалості, досить проблематичне, особливо для короткочасних подій, оскільки їхня тривалість перебуває на межі точності методів датування. Номенклатура інтервалів полярності геомагнітного поля, згідно з уявленнями 70–80-х років минулого сторіччя, розглянута в (Третьак и др., 1989).

Зміни стосуються головного магнітного поля, яке є суперпозицією поля осевого ексцентричного диполя, недипольного поля та поля світових магнітних аномалій. Під час геомагнітних інверсій відбувається зменшення дипольного поля аж до повного зникнення, зміни знаку та поступового наступного наростання. У цей час зростає роль недипольної компоненти. Під час екскурсів дипольне поле зникає не завжди, може відбуватися зменшення його інтенсивності (напруженості) та відхилення від основного напрямку, а якщо і відбувається зміна напрямку, то вона короткочасна. Такі припущення використовуються для моделювання геомагнітного поля під час інверсій та екскурсів, оскільки їхні механізми досі не встановлені. Відповідно до теорії геодинамо магнітне поле Землі створюється у зовнішньому ядрі нашої планети внаслідок руху електропровідної рідини зовнішнього ядра, який підтримується конвекцією та силою Коріоліса, пов'язаною з обертанням Землі. Про стан геодинамо можна отримувати інформацію тільки за спостереженнями магнітного поля на поверхні Землі за допомогою прямих і непрямих методів. Тому для відтворення складної й хаотичної динаміки зовнішнього ядра використовують чисельні та експериментальні моделі (див., наприклад, Molina-Cardin et al., 2021 та посилання в ній). Однак пошук механізму інверсій та екскурсів ще далекий від завершення. Так само частота, амплітуда, тривалість та поведінка поля під час екскурсів є ключовими питаннями досліджень фізики твердої Землі (Roberts, 2008).

Екскурси фіксуються в основному в морських глибоководних осадах і в озерних відкладах, проте наявні також "записи" в лавових потоках, субаеральних відкладах і на деяких археологічних об'єктах. Визначення екскурсів у геологічних записах гірських порід є досить непростою задачею, тому існує розбіжність у встановленні їхньої кількості для окремих епох. Раніше, у 1960–1990 рр. екскурсам хрону Брюнес приділяли увагу як важливим кореляційним маркерам при побудові регіональних хроностратиграфічних шкал антропогену. Проте їхня кількість, стратиграфічне положення та вікова прив'язка залишалися суперечливими. За останні роки вийшов ряд різноманітних праць з уточненням природи, віку і тривалості екскурсів у різних типах відкладів, зокрема, у субаеральних відкладах антропогену, їхній вплив на кліматичні зміни та довкілля (зокрема, на середовище проживання давніх людей), – ці роботи потребували синхронізації та узагальнення. Тому у цій статті ми наводимо детальний огляд проблеми екскурсів хрону (епохи) Брюнес як геомагнітних реперів для кореляції четвертинних відкладів.

Кількість екскурсів у хроні Брюнес. Встановлення кількості екскурсів у хроні Брюнес упродовж останніх кількох десятиліть було однією з найбільш дискусійних проблем магнітостратиграфії. Зі зростанням кількості палеомагнітних визначень деякі встановлені раніше

палеомагнітні аномалії отримували нові підтвердження, деякі все ще залишаються дискусійними, а від деяких довелося відмовитись.

У табл. 1 представлено уявлення про кількість екскурсів для хроно Брюнес за деякими оглядовими роботами за останні чотири десятиліття.

Таблиця 1

Сучасні уявлення про структуру геомагнітної епохи Брюнес

Геомагнітний епізод за (Champion et al., 1988), вік (тис. років тому)	Геомагнітний епізод за (Langereis et al., 1997), вік (тис. років тому)	Геомагнітний епізод за (Поспелова, 2004), вік (тис. років тому)	Геомагнітний епізод за (Ogg, 2020), вік (тис. років тому)
		Етрусія (2.8)	
		Соловки (6.0)	
			Tianchi (10)
		Гетенбург (13)	
			Hilina Pali? (17)
			Rockall (26)
			Mono Lake (32)
LASCHAMP (40–45)	Laschamp (40-45)	Каргаполово (45)	Laschamp (41)
	Norwegian-Greenland Sea (70–80)	Хаджимус (80)	
			Skalamaelifell (95)
			Post-Blake (104)
BLAKE (110–120)	Blake (110-120)	Блейк (128)	Blake (114)
Laguna Datong	Albuquerque/Fram Strait (155–165)		
			Iceland Basin (188)
JAMAICA (180)	Jamaica/Pringle Falls (205–215)	Ямайка (180)	Pringle Falls? (212)
Biwa I		Біва I (220)	
Albuquerque			
Old Crow			
	Fram Strait/CRO? (255–265)	Дніпро (270)	
Levantine (280–290)	Calabrian Ridge 1 (315–325)		Portuguese Orphan (286)
Biwa II, Alpha, Saala-Dnieper	Levantine (360–370)	Біва II (300)	
Chegan, Paoha, Summer Lake			
BIWA III (380–390)		Біва III (370)	
Beta, Kikhvin		Н. Коропець (410)	Bermuda (412)
Kasuri			
Emperior (450–460)	Unknown? (400–420)	Єлуніно-V, Емперор (460)	
			Orphan Knoll (495)
Elster II – Dainav	Calabrian Ridge 2 / West Eifel (515–525)		
			Big Lost (540)
BIG LOST (560–570)	Emperor/Big Lost/Cr3 (560–570)	Єлуніно-VI (560)	West Eifel suite (560)
			La Palma (580)
Gamma		Єлуніно-VII, Уреки-VII (620)	
Humboldt River			
Delta (640)			
			Osaka Bay (680)
Lishi		Єлуніно-VIII (710)	
Границя Матуяма-Брюнес (778)		773±2	

Примітка: Екскурси, які автори (Langereis et al., 1997) вважають надійно датованими і глобальними, виділено жирним шрифтом; прописними літерами в (Champion et al., 1988) наведено бажані назви найбільш достовірно встановлених подій; жирним шрифтом в колонці з даними (Поспелова, 2004) показано найбільш надійно встановлені екскурси глобального масштабу; в колонці (Ogg, 2020) жирним шрифтом виділено (на думку авторів) найбільш достовірно встановлені екскурси, знаком питання відмічено менш надійно встановлені події.

Більшість екскурсів, наведених у колонці 4 табл. 1 (крім Hilina Pali? та West Eifel suite) описані у роботі (Channell et al., 2020). Автори зазначають, що, хоча мінімуми палеонапруженості корелюють з аномаліями по кутових компонентах, вони не обов'язково означають екскурс та не повинні використовуватися для його визначення, так само як співвідношення $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ у відкладах або ізотопи ^{36}Cl і ^{10}Be у кернах льоду. Вони є важливими джерелами інформації про мінімуми напруженості геомагнітного поля у минулому, однак самі по собі не свідчать про наявність у той самий час магнітних екскурсів.

Разом з тим у роботі (Langereis et al., 2010) зазначено, що екскурси, під час яких відбувається повна зміна напруженості, обов'язково супроводжуються зменшенням його напруженості, яке починається перед самим екскурсом. У роботі (Channell et al., 2020) проаналізовано наявні дані щодо встановлення віку екскурсів за аномальними напрямками та низькою напруженістю головного геомагнітного поля (VADM) із залученням інших даних – ізотопних визначень віку морських відкладів $d^{18}\text{O}$, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ та ін. Це частково вирішує завдання, окреслені у (Roberts, 2008), щодо збільшення даних про глобальний

розподіл записів екскурсів, особливо з Південної півкулі, отримання записів з високою роздільною здатністю в осадових породах зі швидкістю осадонакопичення >10 см/тис. років та з надійними віковими прив'язками, а також записів екскурсів у вулканічних породах.

Екскурси з часів останнього льодовикового максимуму. Проблемним питанням є визначення кількості екскурсів в інтервалі 0–30 тис. років тому, що не може не викликати здивування – адже це новітній етап геологічної історії. Отримано багато даних, що у цьому часовому інтервалі було кілька палеомагнітних аномалій, які можна інтерпретувати як екскурси: Sterno-Etrussia ~2,7 тис. років, Gothenburg ~ 12 тис. років, Lake Mungo ~26 тис. років, Hilina Pali ~19 тис. років, MD01-2444 з Іберійського узбережжя (Iberian Margin) на ~13 тис. років, Tianchi 10 тис. років, Rockall на ~26 тис. років (Channell et al., 2020, та посилання в ній).

Екскурс Sterno-Etrussia проаналізований у (Dergachev et al., 2004), де автори вважають його однією з можливих причин похолодання ~2700 р. до н. е. у результаті модулювання геомагнітним полем космічного випромінювання. За різними результатами датування цей екскурс відбувся в інтервалі часу 2800–2200 р. до н. е. Археологічні матеріали вказують на 8–4 століття до н. е. Під час екскурсу відбулося одне (або два) різке зміщення віртуального геомагнітного полюса в бік екватора та його перехід в Південну півкулю. Тривалість цієї події була досить короткою, близько 100–200 років. У роботі (Распопов и др., 2010) прояви цього екскурсу зафіксовані у 17 місцях (Євразія, Аляска), але дані про нього у Південній півкулі, так само як і у Західній, відсутні.

На сьогодні не викликає сумніву, що в основі виділення деяких екскурсів були некондиційні палеомагнітні дані (Бахмутов, 2006). Показовою є історія з екскурсом Гетеборг (Gothenburg), виявленим у 70-х роках у пізньольодовикових стрічкових глинах Швеції. Після появи першої публікації (Mörner et al., 1971) протягом наступних років з'явилися десятки робіт, де вказувалося на виявлення цього екскурсу у різних районах Землі. У Північній Америці його аналог був відомий як екскурс Epi (Creer et al., 1976). Багато його визначень було зроблено в межах Євразійського континенту, переважно завдяки дослідженням радянської школи палеомагнітологів (Петрова и др., 1992). Ймовірно, тут відіграв роль так званий ефект підкріплення (reinforcement syndrome) (Thompson, & Berglung, 1976; Snowball, 2018), коли бажання "відкриття" довгоочікуваного магнітостратиграфічного маркера вплинуло на об'єктивність подальшого його "визначення" у пізньоплейстоценових породах різного генезису. Але вже на початковому етапі дослідження цього феномену вчені почали стикатися з наступними проблемами:

1. Оскільки екскурс Гетеборг було зафіксовано в різних регіонах земної кулі, він є подією планетарного масштабу і його вік повинен визначатися у межах похибки датування. Однак його вік оцінювався в діапазоні від 7000 до 18700 років тому, і навряд чи такий розкид можна було пояснити лише похибками датування. Більшість дослідників оцінювали його вік у межах 13–11 тис. років тому.

2. Зміни геомагнітного поля під час цього екскурсу у різних палеомагнітних "записах" проявлялися по-різному. В одних випадках це був епізод зворотної полярності тривалістю до 2000 років, в інших його тривалість оцінювалась сотнями й навіть десятками років, іноді він інтерпретувався як високоамплітудна флуктуація однієї з компонент поля. Передбачалося, що цей екскурс може

бути пов'язаний із недипольним джерелом геомагнітного поля та, відповідно, є подією регіонального масштабу.

3. Було отримано численний фактичний матеріал із цього ж часового інтервалу, який не підтверджував його прояву як геофізичного феномену і вказував виключно на процеси седиментогенезу, внаслідок яких спотворювався палеомагнітний запис. Аналізуючи такі випадки та виконавши палеомагнітні дослідження пізньольодовикових стрічкових глин, у яких цей екскурс було вперше виявлено, автори роботи (Thompson, & Berglung, 1976) дійшли висновку про його відсутність на території Швеції. Критичний огляд публікацій того часу по наймолодших екскурсах наведено в (Verosub, 1982).

У результаті на початок 90-х років науковці згадували про екскурс Гетеборг тільки як про прикрий помилку, але більшість представників палеомагнітної школи колишнього Радянського Союзу були іншої думки та вважали його магнітостратиграфічним маркером (Петрова, & Pospelova, 1990; Петрова и др., 1992). Але питання щодо цього екскурсу досі не вирішене, про що свідчать нещодавні роботи. За аналізом керна з озера Палео-Даньян на сході Китаю було ідентифіковано геомагнітний екскурс Gothenburg на глибині 6,5–7,2 м віком 12494–13081 років (Chen et al., 2020). Автори зазначають, що цей екскурс добре фіксується у Східній Азії, у місцях, які зазнали безперервної седиментації з високою швидкістю осадонакопичення на межі плейстоцену-голоцену, а причиною відсутності його запису у відкладах вважають низьку швидкість осадонакопичення та перерви, пов'язані з ерозією. У роботі (Nami et al., 2020) йдеться про помітні коливання нахилу протягом раннього голоцену на рівні $\geq 9,5$ тис. років тому і після ~12,0/13,0 тис. років тому під час палеомагнітних досліджень зразків із печери Rose Cottage в Південній Африці, а також вказується на відхилення палеомагнітних напрямків від звичайних у районі 10–13 тис. років тому, тобто на межі плейстоцен-голоцен, в Екваторі (Nami, 2015). Аномальні напрямки на рівні ~13 тис. років тому були зафіксовані у кернах з дна Іберійського узбережжя, а також біля Антарктичного півострова (див. посилання в Channell et al., 2020). У межах похибки визначень віку таких відхилень перебуває й екскурс Tianchi (10 тис. років тому), зафіксований у лавах однойменного вулкана на північному сході Китаю (див. посилання в Channell et al., 2020). Також у лавах на Гаваях було зафіксовано низьку величину геомагнітного поля близько 17 тис. років тому (Hilina Pali). Низька палеонапруженість була зафіксована у лавах з вулкана Changbaishan у північно-східному Китаї, одна зі спроб встановлення віку якої показала близько 17 тис. років тому, однак ці визначення не вважаються достатньо точними (Singer et al., 2014). У лесовій товщі на покинутих цегельнях у м. Рівному у двох зразках з лесів віком 18 тис. років тому з різних розрізів було виявлено намагніченість зворотної полярності. Автори (Nawrocki et al., 2018) припускають, що це перший прояв екскурсу Hilina Pali, задокументований у лесах. Попередні припущення про відповідність знайдених аномальних напрямків у зразках відкладів з острова Чеджу, Корея, вік яких близько 17 тис. років тому, висловлено в роботі (Ahn et al., 2018). Ці аномальні напрямки автори співвідносять з екскурсами Tianchi та Hilina Pali, зазначаючи, що це потребує подальших досліджень.

Віртуальні геомагнітні полюси, розраховані за даними з кернів донних відкладів Чорного моря, розташовуються вище 60° пн. ш., що вказує на нормальну полярність, але на високоамплітудну вікову варіацію під час "очікуваного" екскурсу Hilina Pali (Liu et al., 2018).

ВГП мігрували за годинниковою стрілкою лише вздовж узбережжя Північного Льодовитого океану від Північної Канади (20,0 тис. років) через Аляску (18,6 тис. років) і Північно-Східний Сибір (18,0 тис. років) до Шпіцбергену (17,0 тис. років), потім, петляючи за годинниковою стрілкою, дрейфували через схід Північного Льодовитого океану. Так само не спостерігається дрейф ВГП до широти 45° за даними лав з Хіліна Палі, осадових порід у південній Європі та Північній Америці, що свідчить, що цей еккурс не знайшов свого підтвердження за більшістю доступних палеомагнітних даних (Liu et al., 2018).

У керні MD04-2822 з жолоба Rockall у Північній Атлантиці виявлено однойменний еккурс, що фіксується близьким до оберненої полярності напрямком намагніченості на фоні мінімуму відносної палеонапруженості, який можна співвіднести з мінімумом напруженості геомагнітного поля, отриманим за потоками космогенних ізотопів з кернів льодовиків Гренландії (Channell et al., 2016). Вік еккурсу оцінюється у 26,5 тис. років тому, а його тривалість близько 350 років. Але, на думку самих авторів (Channell et al., 2016), його "виявлення" вносить ще більше плутанини щодо еккурсів у часовому інтервалі 0–30 тис. років тому.

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що всі описані вище палеомагнітні аномалії не можна вважати достовірно встановленими. Як підкреслюється в (Snowball, 2018), глобальне значення еккурсу має базуватися на кількох наборах палеомагнітних даних, кожен з яких є безперервним і точно датованим (в ідеалі двома незалежними методами, які забезпечують подібні співвідношення між віком і глибиною). Можливо, наведені вище еккурси й мали місце, однак тут важливо не піддаватися "синдрому підкріплення", тобто оцінювати отриману інформацію об'єктивно. Тому на сьогодні вважається, що встановлення еккурсів у часовому проміжку 0–30 тис. років тому є проблемою, яка все ще далека від свого вирішення.

Еккурси останнього міжльодовиков'я та останнього льодовикового періоду. Еккурс Mono Lake (32 тис. років тому), вперше був зафіксований у донних відкладах озера Mono, східна Каліфорнія (Denham, & Cox, 1971; Liddicoat, & Coe, 1979), але його вікова прив'язка не була достатньо надійною. Пізніше палеомагнітну аномалію з незначними розбіжностями щодо віку зафіксували й в інших озерних відкладах у Каліфорнії, Орегоні та Неваді, в осадових породах біля східної Гренландії, у вулканічних породах Тенерифе та Нової Зеландії (Channell et al., 2020 та посилання в ній). Автори (Channell et al., 2020) вважають, що нечисленні й випадкові записи цього еккурсу в осадових і вулканічних архівах, а також за даними по космогенним ізотопам пояснюються його дуже короткою тривалістю – близько 100 років. Під час палеомагнітних досліджень кернів донних відкладів Чорного моря було виявлено мінімум відносної палеонапруженості та аномальні напрямки геомагнітного поля близько 34,5 тис. років тому, що вважається підтвердженням еккурсу Mono Lake, тоді як у молодших чорноморських відкладах зафіксовані лише відхилення на рівні вікової варіації (Liu et al., 2019). Аномалії схилання та нахилання у керні із затоки Девао (Філіппінські острови) хоч і відрізняються на $>2\sigma$ від середніх величин, однак не досягають "еккурсійних" значень. Їхній вік ~34,5 тис. років, і автори (Lund et al., 2017) пов'язують їх з еккурсом Mono Lake.

На сьогодні найкраще задокументованим вважається еккурс Laschamp віком 41 тис. років тому (Ogg, 2020). Вперше він був зафіксований у 1967 у лавових потоках Puy de Laschamp, Massif Central, Франція

(Bonhommet, & Babkine, 1967) і датований за піками ^{10}Be в льодових кернах Гренландії та спелеотемах Міссурі (огляд у Laj, & Channell, 2007). Отримано багато його підтверджень, він зафіксований у різних породах по всьому світу, а наявні дані вказують на його вік близько 41 тис. років тому та тривалість <1 тис. років (Channell et al., 2020). Магніто-хроностратиграфічні дані досліджень чорноморських відкладів дозволили отримати уявлення про просторову та часову динаміку геомагнітного поля під час Laschamp (Nowaczyk et al., 2012). За ними фіксується складний рух ВГП: спочатку він перемістився з Берингового моря через Північну Америку до Саргасового моря (до 15° пн.ш.) приблизно на 270 років, потім повернувся через північно-східну Америку до північно-східної частини Тихого океану на 45° пн.ш. і залишався там приблизно 300 років, а потім впродовж 200 років мігрував до високих південних широт ($>70^\circ$ пд.ш.) в Антарктиді, де залишався приблизно 440 років, після чого за 270 років перетнув Індійський океан через Гімалаї до Центрального Сибіру, "проживши" там 250 років, а, після короткої еккурсії (250 років) до Лабрадорського моря приблизно на 50° пн.ш., нарешті повернувся до Північного Льодовитого океану. Отже, під час Laschamp відбулася повна зміна полярності, яка тривала 440 років, а всі описані вище зміни відбувалися впродовж 3000 років. Центром часового інтервалу оберненої полярності визначено 41 тис. років тому. Під час цього еккурсу віртуальний осьовий дипольний момент (VADM) мав найнижчі значення у часовому інтервалі 14–68 тис. років тому і становив всього 25 % від сучасного значення (Nowaczyk et al., 2013). Ці та інші дані були використані для побудови моделей геомагнітного поля (див. розділ 2.5), хоча дані кернів донних відкладів з південно-східної частини Чорного моря викликають певні сумніви внаслідок наявності у відкладах грейгіту, що потребує додаткових досліджень (Nowaczyk et al., 2020).

Аналіз записів палеовікових варіацій високої роздільної здатності за останні 70 тис. років з трьох різних регіонів Землі (Бермуди та Блейк-Багамський хребет, південно-східна околиця Тихого океану / Чилі, Філіппіни / Індонезія) на основі палеомагнітних даних по озерних та глибоководних морських відкладах дозволив знайти прояви трьох еккурсів – Mono Lake (~34 тис. років тому), Lashamp (~42 тис. років тому) і еккурсу без назви на стадії OIS 4 (~61 тис. років тому) (Lund, 2018). Визначено, що ці еккурси відбулися під час найнижчої палеонапруженості поля та найвищої дисперсії векторів залишкової намагніченості у всіх трьох регіонах, що, за припущенням автора (Lund, 2018), може бути справедливим для еккурсів по всьому світу.

Ми представили лише деякі з робіт, присвячених еккурсу Lashamp. Етапи його виявлення та дослідження наведено в оглядових статтях (наприклад, Channell et al., 2020, Ogg, 2020). Еккурс Norwegian-Greenland Sea у цих роботах не розглядається. На його існування вказано у роботі (Langereis et al., 1997) у часовому інтервалі 70–80 тис. років та у роботі (Поспелова, 2004), де він має назву Хаджимус з віком близько 80 тис. років (перша і третя колонка в табл. 1). У роботах з аналізу даних з морських відкладів Чорного моря цей еккурс датується віком 64,5 тис. років (Nowaczyk et al., 2013). Водночас спостерігається другий найглибший мінімум відносної палеонапруженості за останні 69 тис. років (Nowachuk et al., 2018). Аномальні напрямки геомагнітного поля також виявлені при дослідженнях кернів з Тихого океану (Філіппінські острови). Хоча вони й не підпадають під визначення "еккурсійних", їхній вік сягає $\sim 61 \pm 2$ тис. років і їх пов'язують з еккурсом Norwegian-Greenland Sea (Lund et al., 2017).

Екскурс Skalamaelifell (вік 95 тис. років тому) вперше зафіксований у лавових потоках на південному заході Ісландії (Kristjánsson, & Gudmundsson, 1980). Спочатку вважалося, що це було проявом екскурсу Lashamp, і тільки після уточнювального датування за даними $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ у поєднанні з ізохронами U-Th середній вік лавових потоків було визначено у $94,1 \pm 7,8$ тис. років (Jicha et al., 2011). Також цей і давніший екскурс PostBlake, датовані U-Th методом у $98,5\text{--}92,0$ ka та $105,8\text{--}103,5$ ka відповідно, були визначені у сталагміті SX11 з печери Саньсін на півдні Китаю (Chou et al., 2018). Інші прояви цих екскурсів зареєстровані в осадах Лак-дю-Буше-маар, Франція, віком ~ 104 та ~ 95 тис. років та підтверджені даними про співвідношення $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ у відкладах, які вказують на низьку палеонапруженість. До цього ж можна віднести й перехідні напрямки залишкової намагніченості в андезитових лавах Італії та базальтах Нью-Мексико віком відповідно 104 ± 1 та 103 ± 12 тис. років тому, що може бути проявом екскурсу PostBlake (Channell et al., 2020 та посилання в ній).

Екскурс PostBlake задокументовано за даними дослідження кернів ODP (програма буріння океану), в озерних відкладах та інших місцях. Цю подію також задокументовано у сталагміті з Південного Китаю віком 104 ± 1 тис. років (Ogg, 2020). Є припущення що інтервал $99\text{--}120$ тис. років характеризується мінімумом напруженості геомагнітного поля, що і може бути причиною екскурсів Blake, Post-Blake та Skalamaelifell (Channell et al., 2020 та посилання).

Екскурс Blake вважається іншою, поряд з екскурсом Lashamp, найбільш надійно зареєстрованою подією короточасної зміни полярності геомагнітного поля у хроні Брюнес. Понад 50 років тому його було зафіксовано у кернях глибоководних відкладів із зовнішнього хребта Блейка та встановлено вік у 108 і 114 тис. років тому (Smith, & Foster, 1969). Відтоді екскурс виявляли у морських відкладах, лесових товщах, спелеотемах, а також у лавових потоках (див. посилання у Channell et al., 2020). Однак проблемним питанням залишається встановлення точних часових рамок екскурсу. У (Singer, 2014) підсумовано результати його досліджень, де вказано, що екскурс може бути зумовлений одним із п'яти найінтенсивніших мінімумів дипольного моменту під час хрону Брюнес, який тривав приблизно 30 тис. років між 125 та 95 тис. років. Оцінки його віку попадають у діапазон від 118 до 100 тис. років тому. Вони були отримані на основі порівняння ізотопного складу кисню форамініфер з базовими кривими глобальної морської ізотопної стадії (MIS) і вказують на те, що він близький до межі MIS 5e/5d. Записи з високою роздільною здатністю показують, що екскурс Blake проявляється у двох коротких інтервалах близько до зворотного полярності геомагнітного поля, розділених коротким періодом нормальної полярності (Laj, & Channell, 2007). Тоді як цей екскурс надійно фіксується в осадових відкладах різних районів земної кулі, його записи у лавових потоках залишаються сумнівними через відсутність надійних даних про датування $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом. Єдиним вулканічним об'єктом є слабонамагнітний потік лави на острові Амстердам у південній частині Індійського океану, вік якого визначено у 120 ± 12 тис. років (Singer, 2014).

Екскурс Blake було виявлено також під час палеомагнітних досліджень вапнякового туфу останнього міжльодовикового періоду на археологічній ділянці Каурс (Північна Франція) (Sier et al, 2015), і авторами було запропоновано цікаву гіпотезу. Як додаткові індикатори віку цієї події автори (Sier et al, 2015 та посилання в ній) вказують на послідовність виявленого пилку,

характерного для Eemian міжльодовиків'я, а екскурс Blake тут спостерігається після піку MIS 5e. Іншим важливим часовим індикатором є розташування археологічних шарів поселення Каурса в межах Eemian *sensu stricto*, що вказує на час заселення цього місця, а саме що це відбулося значно пізніше "вікна можливостей" для розширення ареалу поселення неандертальців у Велику Британію, тобто до останнього міжльодовикового максимуму рівня моря. Коли неандертальці поселилися в Каурсі, "сухий шлях до Великої Британії" вже був затоплений високим рівнем моря на деякий час, а морська вода в Ла-Манші, можливо, була основною перешкодою для останнього міжльодовикового заселення Англії неандертальцями (Sier et al, 2015).

Екскурси середнього плейстоцену. Екскурс Iceland Basin реєструється в основному в осадових відкладах. Вперше його було надійно виявлено в керні в центральній частині Північної Атлантики, хоча назву свою він отримав завдяки першим знахідкам біля Ісландії (огляд Channell, 2014 та посилання в ньому). Відтоді екскурс зареєстровано у кернях з багатьох досліджених ділянок по програмі ODP в Атлантичному та Тихому океанах, а також у відкладах озера Байкал (Oda et al., 2002). Екскурси Blake та Iceland Basin виявлено і при дослідженнях осадових відкладів з півдня Піренейського півострова, де вікові прив'язки були уточнені за допомогою інтерпретації палінологічних даних та циклостратиграфії (Valero et al., 2023). Вік екскурсу Blake тут визначено у межах $116,5$ тис. $\pm 0,7$ тис. та 112 тис. $\pm 1,9$ тис. років, а екскурсу Iceland Basin – між $192,7$ і $187,7$ тис. років. Проблемною залишається ідентифікація цього екскурсу у наземних лавових потоках. Перехідні напрямки намагніченості в лавовому потоці на вулкані Унзен (Японія) ймовірно відповідають цьому екскурсу (Shibuya et al., 2007), однак залишається проблема встановлення надійного віку цього потоку. Зроблено висновок, що екскурс охоплює межу MIS 6/7 і триває ~ 3 тис. років, чим і пояснюється значне поширення його записів порівняно з іншими більш короточасними екскурсами (Channell et al., 2020). Таким чином, Iceland Basin можна вважати третім надійно зареєстрованим екскурсом у хроні Брюнес.

Екскурс Pringle Falls вперше виявлено в озерних відкладах біля однойменного водоспаду в штаті Орегон в кінці 1980-х – на початку 1990-х рр. (посилання у Channell et al., 2020). Його підтвердили й пізніші палеомагнітні дослідження зразків з цього ж місця (Herrero-Bervera, & Cañón-Tapia, 2013) з віком 211 ± 13 тис. років, хоча спочатку його вік оцінювався у 221 ± 20 тис. років. Екскурси приблизно цього віку були зафіксовані у вулканічних породах Альбукерке та Нової Зеландії (посилання у Channell et al., 2020), а також у деяких кернях морських відкладів біля східної Гренландії та Бермуд (посилання у Channell et al., 2020). Нещодавно у вулканічних породах Мауна-Лоа на Гавайях були виявлені перехідні/екскурсійні напрямки, які автор пов'язує з геомагнітними екскурсами Lashamp (приблизно 41 тис. років) та Pringle Falls (приблизно 211 ± 13 тис. років) (Herrero-Bervera, 2021). Однак визначення віку мають досить широкі часові інтервали (Singer, 2014), і, як наслідок, у (Channell et al., 2020) висловлено припущення, що у часовому інтервалі 240–210 тис. років є два різних екскурси.

У (Singer, 2014) наголошено, що екскурси хрону Брюнес умовно можна розділити на дві групи – ранню (730–520 тис. років тому) та пізню, (220–15 тис. років тому), а у проміжку між ними чітко визначених екскурсів немає, а середня напруженість геомагнітного поля залишалася досить високою. Тому залишається питання, чи

це є недоліком відбору та аналізу зразків, чи відображає довгострокові зміни напруженості поля у процесі генерації геодинамо. Як можливий екскурс у цьому часовому інтервалі виділено перехідні напрямки намагніченості у лавовому потоці в Аргентині з $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ віком 343 ± 33 тис. років (Singer, 2014), однак подальшого підтвердження ця подія не отримала. Пізніше, у (Channell, 2017), вказується на можливі екскурси з віком 286, 495, 540 та 590 тис. років, виявлені у Північній Атлантиці за результатами ODP. Екскурс з віком близько 286 тис. років, названий Portuguese Orphan, оскільки вперше його було зафіксовано біля берегів Португалії (Thouveny et al., 2004), у вулканічних породах не був виявлений.

Екскурс Bermuda припадає на мінімум відносної палеонапруженості на ~412 тис. років в MIS 11 (Channell et al., 2020). Він був зареєстрований в окремих зразках з ділянки ODP 1063 біля Бермуд. Можливо, його ж було зафіксовано у спелеотемі з північної Італії, де широта ВГП досягає 40° , а за U/Th методом вік становить 417 ± 8 тис. років. До того ж у вулканічному полі Гаррат-Рахат (Саудівська Аравія) визначено від'ємне нахилення $411,5 \pm 5,9$ тис. років тому за $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (посилання у Channell et al., 2020).

Екскурс Orphan Knoll виявлено лише на одній ділянці IODP (Integrated Ocean Drilling Program, після 2004 р. у неї трансформовано ODP), за ізотопом кисню його вік становить 495 тис. років у межах MIS 13a (Channell, 2017).

Екскурс Big Lost (540 тис. років, у межах MIS 14) виявлений у морських відкладах на ділянках IODP (Channell, 2017), вперше був зареєстрований у лавах з Айдахо (Champion et al., 1988) і датований за $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ у цьому місці як 559 ± 14 тис. років.

Датований віком 580 тис. років у межах MIS 15b/c зареєстровано екскурс La Palma під час IODP (Channell, 2017). Екскурсійні напрямки такого ж приблизно віку знайдені у лавах на Ла-Пальма, однак Singer et al. (2002) пов'язують їх з екскурсом Big Lost, вказуючи на те, що події у цьому часовому інтервалі потребують точнішого датування.

West Eifel suite (560 тис. років) є одним із п'яти екскурсів, зареєстрованих у вулканічному полі Вест-Ейфель між 530 і 730 тис. років, причому вважається, що значна частина цього часового інтервалу характеризується аномальною поведінкою напруженості магнітного поля, під час якого відбулося шість екскурсів (Singer, 2014), однак це не знайшло підтвердження за даними глибоководних відкладів (Channell et al., 2020). Channell et al. (2020) висловлюють припущення, що вказані три екскурси є досить короткими за тривалістю, тому їх неможливо точно зареєструвати, хоча всі три пов'язані з помітними мінімумами відносної палеонапруженості.

Екскурс Osaka Bay (680 тис. років в MIS 17) був зареєстрований в Осацькій затоці (Biswas et al., 1999) і на ділянці ODP в Північній Атлантиці (Channell et al., 2020 та посилання в ній). Також як прояв цього екскурсу у (Channell et al., 2020) вважають знайдені зворотні напрямки у лавових потоках в південній Мексиці віком 671 ± 12 тис. років та 673 ± 10 тис. років, хоча самі автори (Michalk et al., 2013) вважали це окремим екскурсом.

Геоманітне поле під час екскурсів. Палеомагнітні визначення є точковими, а уявлення про глобальний розподіл напруженості геомагнітного поля, у тому числі й під час екскурсів, отримують за допомогою побудови сферичних гармонічних моделей. Такі моделі ґрунтуються на емпіричних даних і дають змогу розрахувати поле та його компоненти на різних рівнях під і над поверхнею Землі та на самій поверхні. Сама модель залежить від набору даних спостережень, які використовуються для її

побудови. Тому у роботі (Korte et al., 2019a) побудована серія моделей для різних наборів палеомагнітних даних вулканогенних та осадових порід. Порівняння цих моделей дозволило визначити особливості поведінки поля у часовому інтервалі 50–30 тис. років, який включає екскурси Lashamp (~41 тис. років) і Mono Lake (~33 тис. років), спільні для всіх наборів даних. Однак автори зауважують, що морфологію поля на межі ядро-мантія (СМВ) або індивідуальні варіації потужності сферичних гармонічних коефіцієнтів слід інтерпретувати з обережністю. За даними всіх моделей під час екскурсу Lashamp відбувається розпад поля осьового диполя без значного впливу екваторіального диполя чи недипольних компонент. Поле осьового диполя зменшується до нуля, однак не змінює напрямку, що призводить до глобальної, але нерівномірної зміни поля на поверхні Землі. За тими ж даними екскурс Mono Lake може бути серією аномальних подій між 36 і 30 тис. років, а не одним екскурсом. Зменшення напруженості поля осьового диполя на межі СМВ у цей час менш виражене, воно подібне до інтенсивності недипольного поля. У проміжку часу 30–50 тис. років за модельними даними виділяють три фази: (1) стабільна фаза з домінуванням осьового диполя (50–43 тис. років); (2) екскурс Lashamp тривалістю ~5 тис. років (43–38 тис. років) основного екскурсу з проявом у полі на поверхні Землі впродовж ~2 тис. років (42–40 тис. років); (3) слабка фаза, під час якої осьова дипольна та недипольна складові на СМВ порівнянні за величинами, що призводить до реалізації більш ніж одного екскурсу між 36 та 30 тис. років (Korte et al., 2019a).

Моделі глобального поля для ширшого часового інтервалу, для останніх 100 тис. років, побудовані у (Korte et al., 2019b), так само припускають, що екскурси, викликані значним ослабленням внеску поля осьового диполя порівняно з внеском недипольних складових, проявляються глобально, тоді як регіональні екскурси, ймовірно, відповідають менш різкому зниженню поля осьового диполя. Глобальний прояв у цьому часовому інтервалі має лише Lashamp, тоді як PostBlake (~95 тис. років), Norwegian-Greenland Sea (~60 тис. років), Mono Lake (~33 тис. років) і Hilina Pali (~17 тис. років) зафіксовані лише в окремих регіонах або мають меншу кількість записів, а їхній вік загалом визначений менш точно і має значні розбіжності при визначенні різними методами. Також автори припускають, що екскурси Mono Lake та Hilina Pali можуть бути серією зміщених у часі регіональних екскурсів протягом тривалих періодів низького поля осьового диполя. Отже, як радять автори, слід бути обережним, розглядаючи геомагнітні екскурси як стратиграфічні маркери для цілей датування, а інтерпретуючи дані моделювання, слід враховувати певні обмеження моделей через розподіл, надійність і хронологію доступних даних (Korte et al., 2019b).

Глобальні та регіональні відмінності поведінки магнітного поля на поверхні Землі та на границі ядро – мантія під час екскурсів Norwegian-Greenland Sea, Lashamp, та Mono Lake / Auckland в інтервалі часу 70–15 тис. років за модельними даними розглянуті в (Panovska et al., 2021). Для екскурсу Norwegian-Greenland Sea (65 тис. р.) отримані низькі значення дипольного моменту та екскурсійні значення індексу палеовікових варіацій (PSV). Цей індекс кількісно визначає як інтенсивність, так і напрямки поля, звичайні його значення лежать у межах 0,05–0,30, "екскурсійними" вважаються величини понад 0,50 (Panovska, & Constable, 2017). Під час екскурсу Mono Lake / Auckland (34,5 тис. років) спостерігається лише незначне збільшення індексу PSV, яке не досягає

порогового значення для глобальної екскурсійної події, хоча на регіональному рівні цей поріг перевищений. Також показано, що під час екскурсу Laschamp осьова дипольна компонента змінила свій знак протягом 300 років (з 41,25 до 40,93 тис. років), що трохи коротше, ніж 500 років у попередній версії моделі, GGFSS70.1 (Liu et al., 2020). Під час екскурсу Laschamp поле осьового диполя ослаблене значно більше порівняно з екскурсами Norwegian-Greenland Sea та Mono Lake / Ockland, тоді як недипольна складова поля зберігається приблизно на однаковому рівні для всіх подій. Два мінімуми дипольного поля в Laschamp збігаються з моментами, коли осьовий диполь змінюється, але перший мінімум менш виражений, він супроводжується незначним зниженням недипольної складової. За даними моделювання для екскурсів Norwegian-Greenland Sea та Mono Lake / Ockland таке не спостерігається. Тому питання, чи може таке зменшення недипольної складової, що супроводжує розпад диполя, бути характерною ознакою для великих глобальних геомагнітних екскурсів, під час яких осьовий диполь змінює знак, потребує підтвердження або спростування шляхом аналізу більшої кількості екскурсів такого типу. Це та визначення інших характеристик екскурсів потребує високоякісних палеомагнітних даних з високою роздільною здатністю та з хорошим, незалежним контролем віку (Panovska et al., 2021).

Отже, за даними й цієї моделі, як і попередніх, можна стверджувати, що екскурси можуть інтерпретуватися зовсім по-різному в записках даних з різних регіонів, що слід мати на увазі, розглядаючи геомагнітні екскурси як стратиграфічні маркери або виводячи глобальні властивості поля з окремих записів.

Висновки

Впродовж останніх десятиліть палеомагнітні дослідження широко застосовуються для вирішення задач геології та стратиграфії гірських порід. Зокрема, результати початкових магнітостратиграфічних досліджень субаеральних товщ антропогену (у 1960–1990-х рр.) вказували на виявлення численних екскурсів і спершу здавалися багатонадійними при побудові регіональних хроностратиграфічних схем. Проте з розвитком палеомагнітного методу і впровадженням нової палеомагнітної апаратури, ці дані здебільшого були спростовані. Зокрема, хибні результати щодо ідентифікації екскурсів у лесових породах можна пояснити значним впливом в'язкої компоненти намагніченості на первинну намагніченість (через наявність суперпарамагнітних зерен магнетиту) (Bakhmutov et al., 2023).

Значне поширення та підвищення якості палеомагнітних визначень в останнє десятиліття дали змогу оновити часову шкалу подій еволюції геомагнітного поля – дані про його інверсії та екскурси (Ogg, 2020), що є необхідним для магнітостратиграфії. Однак ця шкала не є остаточною. Зокрема, у хроні Брюнес надійно встановленими вважаються екскурси Laschamp (41 тис. років тому), Blake (114 тис. років тому), Iceland Basin (188 тис. років тому). Решта потребують додаткового підтвердження, особливо за новими даними із Південної півкулі. Найбільш суперечливим питанням є встановлення екскурсів у часовому інтервалі 0–30 тис. років тому. Екскурси Етрусія та Соловки відзначаються тільки у роботах російських авторів на території Європи та частково Азії, решта теж мають недостатню кількість визначень, щоб вважатися достовірно встановленими, що потребує подальших досліджень.

Моделювання геомагнітного поля під час екскурсів показало, що вони можуть мати як глобальний, так і

регіональний прояв (наприклад, Panovska et al., 2021), що необхідно враховувати під час вирішення задач магнітостратиграфії.

У другій частині статті буде представлено актуальні питання залучення екскурсів у розв'язанні проблем стратиграфії, палеокліматології та екології антропогену, зокрема власні результати досліджень екскурсів у субаеральних відкладах плейстоцену України.

Подяки та джерела фінансування. Дослідження виконувалися за підтримки гранту Національного фонду досліджень України 2020.02/0406 "Магнітні індикатори палеокліматичних змін у відкладах лесово-ґрунтової формації України".

Список використаних джерел

- Бахмутов, В.Г. (2006). *Палеомагнітні варіації*. Наукова думка.
- Петрова, Г.Н., Нечаева, Т.Б., Поспелова, Г.А. (1992). *Характерные изменения геомагнитного поля в прошлом*. Наука.
- Поспелова, Г.А. (2004). *Геомагнітні екскурсії. Краткая история и современное состояние геомагнитных исследований в Институте физики Земли РАН. ИФЗ РАН*.
- Распопов, О.М., Гуськова, Е.Г., Дергачев, В.А. (2010). Проявление геомагнитного экскурса Этрессия-Стерно в полярных сияниях? Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. *Материалы международного семинара по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород, Санкт-Петербург*, с. 113–121.
- Третьяк, А.Н., Вигилянская, Л.И., Макаренко, В.Н., Дудкин, В.П. (1989). *Тонкая структура геомагнитного поля в позднем кайнозое*. Научная думка.
- Ahn, H.S., Sohn, Y.K., Lee, J.Y., Kim, J.C. (2018). Preliminary paleomagnetic and rock magnetic results from 17 to 22 ka sediment of Jeju Island, Korea: Geomagnetic excursions behavior or rock magnetic anomalies? *Earth Planets Space*, 70, 78.
- Bakhmutov, V.G., Hlavatskyi, D.V., Poliachenko, I.B. (2023). Magnetostratigraphy of the Pleistocene loess-paleosol sequences in Ukraine and Moldova: a historical overview and recent developments. *Geological Quarterly*, in press.
- Biswas, D.K., Hyodo, M., Taniguchi, Y., Kaneko, M., Katoh, S., Sato, H. et al. (1999). Magnetostratigraphy of Plio-Pleistocene sediments in a 1700-m core from Osaka Bay, southwestern Japan and short geomagnetic events in the middle Matuyama and early Brunhes chron. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 148, 233–248.
- Bonhommet, N., Babbine, J. (1967). Sur la presence d'aimantation inverse dans la Chaine des Puys. *C.R. Hebd. Seances Acad. Sci. Ser. B*, 264, 92–94.
- Champion, D., Lanphere, M., Kuntz, M. (1988). Evidence for a new geomagnetic reversal from lava flows in Idaho: discussion of short polarity reversals in the Brunhes and Late Matuyamapolarity chron. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 93 (B10), 11667–11680.
- Channell, J.E.T. (2014). The Iceland Basin excursion: age duration, and excursion field geometry. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15, 4920–4935.
- Channell, J.E.T. (2017). Mid-Brunhes magnetic excursions in marine isotope stages 9, 13, 14, and 15 (286, 495, 540, and 590 ka) at North Atlantic IODP Sites U1302/3, U1305, and U1306. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 18, 473–487.
- Channell, J.E.T., Harrison, R.J., Lascu, I., McCave, I.N., Hibbert, F.D., Austin, W.E.N. (2016). Magnetic record of deglaciation using FORC-PCA, sortable-silt grain size, and magnetic excursion at 26 ka, from the Rockall Trough (NE Atlantic). *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 17, 1823–1841.
- Channell, J.E.T., Singer, B.S., Jicha, B.R. (2020). Timing of Quaternary geomagnetic reversals and excursions in volcanic and sedimentary archives. *Quaternary Science Reviews*, 228, 106114.
- Chen, Z., Yuan, F., Zhang, J., Shen, S., Li, X., Li, X. et al. (2020). Paleomagnetic evidence for the Gothenburg geomagnetic excursion during the Pleistocene–Holocene transition recorded in the Paleo-Danyang Lake, eastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 201, 104140.
- Chou, Y., Jiang, X., Liu, Q., Hu, H., Wu, C., Liu, J., Jiang, Z., Lee, T., Wang, C., Song, Y., Chiang, C., Tan, L., Lone, M.A., Pan, Y., Zhu, R., He, Y., Chou, Y., Tan, A., Roberts, A.P., Zhao, X., & Shen, C. (2018). Multidecadally resolved polarity oscillations during a geomagnetic excursion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115 (36), 8913–8918.
- Clement, B. (2004). Dependence of the duration of geomagnetic polarity reversals on site latitude. *Nature*, 428, 637–640.
- Creer K.M., Anderson T.W., Levis C.F.M. (1976). Late Quaternary geomagnetic stratigraphy recorded in Lake Erie sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 31, 37–47.
- Denham, C.R., Cox, A. (1971). Evidence that the Laschamp polarity event did not occur 13,300–34,000 years ago. *Earth and Planetary Science Letters*, 13, 181–190.
- Dergachev, V.A., Raspopov, O.M., van Geel, B., Zaitseva, G.I. (2004). The "SternoEtrussia" geomagnetic excursion around 2700 BP and changes of solar activity, cosmic ray intensity, and climate. *Radiocarbon*, 46, 661–681.
- Herrero-Bervera, E. (2021). On the Possibility of Obtaining Geomagnetic Volcanic Records of the Short-Term Behavior of the Laschamp and Pringle

Falls Excursions from the Long Sequence of Kahuku and Ninole Hills, Big Island of Hawaii, USA. *Open Journal of Geology*, 11, 712–733.

Herrero-Bervera, E., Cañón-Tapia, E. (2013). On the directional geomagnetic signature of the Pringle Falls excursion recorded at Pringle Falls, Oregon, USA. *Geological Society London Special Publications*, 373(1), 261–278.

Jicha, B.R., Kristjánsson, L., Brown, M.C., Singer, B.S., Beard, B.L., Johnson, C.M. (2011). New age for the Skalamaeifell excursion and identification of a global geomagnetic event in the late Brunhes Chron. *Earth and Planetary Science Letters*, 310, 509–517.

Kornprobst, J., Lénat, J.-F., (2014). Centenary of the Discovery of Earth's Magnetic Field Reversals. *Eos*, 4 November. Retrieved from <https://eos.org/articles/centenary-discovery-earths-magnetic-field-reversals>.

Korte, M., Brown, M.C., Panovska, S., Wardinski, I. (2019a). Robust Characteristics of the Laschamp and Mono Lake Geomagnetic Excursions: Results From Global Field Models. *Frontiers in Earth Science*, 7:86.

Korte, M., Panovska, S., Constable, C. (2019b). A Global View on Geomagnetic Excursions Through the Past 100 kyr. *Abstracts, AGU 2019 Fall Meeting (San Francisco, USA 2019)*, GP34A-02, 1 p.

Krijgsman, W., Kent, D.V. (2004). Non-uniform occurrence of short-term polarity fluctuation in the geomagnetic field? New results from middle to late Miocene sediments of the north Atlantic (DSDP Site 608). In: Channell JET, et al. (eds.) *AGU Geophysical Monograph Series*, 145: *Timescales of the Geomagnetic Field*. (p. 161–174). Washington, DC: AGU.

Kristjánsson, L., Gudmundsson, A. (1980). Geomagnetic excursion in late-glacial basalt, outcrops in south-western Iceland. *Geophysical Research Letters*, 7, 337–340.

Laj, C., Channell, J.E.T. (2007). Geomagnetic excursions. *Treatise on Geophysics*, 5, 373–416.

Langereis, C.G., Dekkers, M.J., de Lange, G.J., Paterne, M., van Santvoort, P.J.M. (1997). Magnetostratigraphy and astronomical calibration of the last 1.1 Myr from an eastern Mediterranean piston core and dating of short events in the Brunhes. *Geophysical Journal International*, 129, 75–94.

Langereis, C.G.; Krijgsman, W., Muttoni, G., Menning, M. (2010). Magnetostratigraphy concepts, definitions, and applications. *Newsletters on Stratigraphy*, 43(3), 207–233.

Liddicoat, J.C., Coe, R.S. (1979). Mono Lake geomagnetic excursion. *Journal of Geophysical Research*, 84, (B1), 261–271.

Liu, J., Nowaczyk, N.R., Panovska, S., Korte, M., Arz, H.W. (2020). The Norwegian-Greenland Sea, the Laschamps, and the Mono Lake excursions recorded in a Black Sea sedimentary sequence spanning from 68.9 to 14.5 ka. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2019JB019225.

Liu, J., Nowaczyk, N.R., Ute, F., Arz, H.W. (2018). A 20–15 ka high-resolution paleomagnetic secular variation record from Black Sea sediments – no evidence for the 'Hilina Pali excursion'? *Earth and Planetary Science Letters*, 492, 174–185.

Liu, J., Nowaczyk, N.R., Ute, F., Arz, H.W. (2019). Geomagnetic paleosecular variation record spanning from 40 to 20 ka – implications for the Mono Lake excursion from Black Sea sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 509, 114–124.

Lund, S.P. (2018). A new view of long-term geomagnetic field secular variation. *Frontiers of Earth Science*, 6, 40.

Lund, S.P., Schwartz, M., Stott, L. (2017). Long-term palaeomagnetic secular variation and excursions from the western Equatorial Pacific Ocean (MIS2-4). *Geophysical Journal International*, 209, 587–596.

Merrill, R.T., McElhinny, M.W., McFadden, P.L. (1996). *The magnetic field of the Earth: paleomagnetism, the Core and the Deep Mantle*. USA: Academic press.

Michalk, D.M., Böhm, H.N., Nowaczyk, N.R., Aguirre-Díaz, G.J., López-Martínez, M., Ownby, S., Negendank, J.F.W. (2013). Evidence for geomagnetic excursions recorded in Brunhes and Matuyama Chron lavas from the trans-Mexican volcanic belt. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118, 2648–2669.

Molina-Cardín, A., Dinis, L., Osete, M.L. (2021). Simple stochastic model for geomagnetic excursions and reversals reproduces the temporal asymmetry of the axial dipole moment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(10), e2017696118.

Mörner, N.A., Lanser, J.P., Hospers, J. (1971). Late Weichselian palaeomagnetic reversal. *Nature Physical Science*, 234, 173–174.

Nami, H.G. (2015). New Paleomagnetic results and evidence for a geomagnetic field excursion during the pleistocene-holocene transition at Pichincha province, Ecuador. *Geofísica Internacional*, 54(2), 127–148.

Nami, H.G., Vasquez, C.A., Wadley, L., De la Peña, P. (2020). Detailed palaeomagnetic record at Rose Cottage Cave, South Africa: Implications for the Holocene geomagnetic field behaviour and chronostratigraphy. *South African Journal of Science*, 116(1/2), Art.#6550.

Nawrocki, J., Bogucki, A., Łanczont, M., Werner, T., Standzikowski, K., Pańczyk, M. (2018). The Hilina Pali palaeomagnetic excursion and possible self-reversal in the loess from western Ukraine. *Boreas*, 47, 954–966.

Nowaczyk, N.R., Arz, H.W., Frank, U., Kind, J., Plessen, B. (2012). Dynamics of the Laschamp geomagnetic excursion from Black Sea sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 351–352, 54–69.

Nowaczyk, N.R., Frank, U., Kind, J., Arz, H.W. (2013). A high-resolution paleointensity stack of the past 14 to 68 ka from Black Sea sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 384, 1–16.

Nowaczyk, N.R., Liu, J., Arz, H.W. (2020). Records of the Laschamps geomagnetic polarity excursion from Black Sea sediments: magnetite versus greigite, discrete sample versus U-channel data. *Geophysical Journal International*, 224(2), 1079–095.

Nowaczyk, N.R., Liu, J., Ute, F., Arz, H.W. (2018). A high-resolution paleosecular variation record from Black Sea sediments indicating fast directional changes associated with low field intensities during marine isotope stage (MIS) 4. *Earth and Planetary Science Letters*, 484, 15–29.

Oda, H., Nakamura, K., Ikehara, K., Nakano, T., Nishimura, M., Khlystov, O. (2002). Paleomagnetic record from Academician Ridge, Lake Baikal: a reversal excursion at the base of marine oxygen isotope stage 6. *Earth and Planetary Science Letters*, 202, 117–132.

Ogg, J.G. (2020). Chapter 5 - Geomagnetic Polarity Time Scale. In Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M. (Eds.), *Geologic Time Scale*. (p. 159–192). Elsevier.

Panovska, S., Constable, C.G. (2017). An activity index for geomagnetic paleosecular variation, excursions, and reversals. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18, 1366–1375.

Panovska, S., Korte, M., Liu, J., Nowaczyk, N. (2021). Global evolution and dynamics of the geomagnetic field in the 15–70 kyr period based on selected paleomagnetic sediment records. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126, e2021JB022681.

Petrova G.N., Pospelova G.A. (1990). Excursions of the magnetic field during the Brunhes chron. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 63, 135–143.

Roberts, A.P. (2008). Geomagnetic excursions: Knowns and unknowns. *Geophysical Research Letters*, 35, L17307.

Shibuya, H., Iwasaki, Y., Tanaka, H., Hoshizumi, H. (2007). Paleomagnetism of Unzen volcano: a volcanic record (Senbongi excursion) of the Iceland Basin event and the Brunhes VGP distribution for Japan. *Earth Planets Space*, 59, 763–774.

Sier, M.J., Parés, J.M., Antoine, P., Loch, J.-L., Dekkers, M.J., Limondin-Lozouet, N., Roebroeks, W. (2015). Evidence for the Blake Event recorded at the Eemian archaeological site of Caours, France. *Quaternary International*, 357, 149–157.

Simon, Q., Suganuma, Y., Okada, M., Henda, Y., ASTER Team, (2019). High-resolution 10 Be and paleomagnetic recording of the last polarity reversal in the Chiba composite section: age and dynamics of the Matuyama-Brunhes transition. *Earth and Planetary Science Letters*, 519, 92–100.

Singer, B.S. (2014). A Quaternary geomagnetic instability time scale. *Quaternary Geochronology*, 21, 29–52.

Singer, B.S., Jicha, B.R., He, H., Zhu, R. (2014). Geomagnetic field excursion recorded 17 ka at Tianchi Volcano, China: new 40Ar/39Ar age and significance. *Geophysical Research Letters*, 41, 2794–2802.

Singer, B.S., Jicha, B.R., Mochizuki, N., Coe, R.S. (2019). Synchronizing volcanic, sedimentary, and ice core records of Earth's last magnetic polarity reversal. *Science Advances*, 5(8), eaaw4621.

Singer, B.S., Relle, M.R., Hoffman, K.A., Battle, A., Guillou, H., Laj, C., Carracedo, J.C. (2002). Ar/Ar ages of transitionally magnetized lavas on La Palma, canary islands, and the geomagnetic instability timescale. *Journal of Geophysical Research*, 107(B11), 2307.

Smith, J.D., Foster, J.H. (1969). Geomagnetic reversal in the Brunhes normal polarity epoch. *Science*, 163, 565–567.

Snowball I. (2018). Is the Hilina Pali 'palaeomagnetic excursion' becoming another example of the reinforcement syndrome? A comment inspired by Nawrocki et al. (2018). *Boreas*, 47, 967–968.

Tauxe, L., Herbert, T., Shackleton, N.J., Kok Y.S. (1996). Astronomical calibration of the Matuyama-Brunhes boundary: Consequences for magnetic remanence acquisition in marine carbonates and Asian loess sequences. *Earth and Planetary Science Letters*, 140, 133–146.

Thompson, R., Berglund, B. (1976). Late Weichselian geomagnetic "reversal" as a possible example of the reinforcement syndrome. *Nature*, 263, 490–491.

Thouveny, N., Carcaillet, J., Moreno, E., Leduc, G., Nerini, D. (2004). Geomagnetic moment variation and paleomagnetic excursions since 400 kyr BP; a stacked record from sedimentary sequences of the Portuguese margin. *Earth and Planetary Science Letters*, 219, 377–396.

Valero, L., García-Alix, A., Jiménez-Moreno, G., Camuera, J., López-Avilés, A., Ramos-Román, M.J., Jiménez-Espejo, F.J., Beaud, E., Maestre, E., Anderson, R.S. (2023). Evidences of the Blake and Iceland Basin magnetic excursions in southeastern Iberia and chronological implications for the Padul sedimentary record. *Quaternary Geochronology*, 74, 101421.

Verosub, K.L. (1982). Geomagnetic excursions: a critical assessment of the evidence as recorded in sediments of the Brunhes Epoch. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. *Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 306, 161–168.

References

Ahn, H.S., Sohn, Y.K., Lee, J.Y., Kim, J.C. (2018). Preliminary paleomagnetic and rock magnetic results from 17 to 22 ka sediment of Jeju Island, Korea: Geomagnetic excursions behavior or rock magnetic anomalies? *Earth Planets Space*, 70, 78.

Bakhmutov, V.G. (2006). *Paleovekovyye geomagnitnye variatsii*. Naukova dumka [in Russian].

Bakhmutov, V.G., Hlavatskyi, D.V., Poliachenko, I.B. (2023). Magnetostratigraphy of the Pleistocene loess-palaeosol sequences in Ukraine and Moldova: a historical overview and recent developments. *Geological Quarterly*, in press.

Biswas, D.K., Hyodo, M., Taniguchi, Y., Kaneko, M., Katoh, S., Sato, H. et al. (1999). Magnetostratigraphy of Plio-Pleistocene sediments in a 1700-m core from Osaka Bay, southwestern Japan and short geomagnetic events in the middle

- Matuyama and early Brunhes chrons. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 148, 233–248.
- Bonhommet, N., Babkine, J. (1967). Sur la presence d'alimentation inverse dans la Chaîne des Puys. *C.R. Hebs. Seances Acad. Sci. Ser. B*, 264, 92–94.
- Champion, D., Lanphere, M., Kuntz, M. (1988). Evidence for a new geomagnetic reversal from lava flows in Idaho: discussion of short polarity reversals in the Brunhes and Late Matuyamapolarity chrons. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 93 (B10), 11667–11680.
- Channell, J.E.T. (2014). The Iceland Basin excursion: age duration, and excursion field geometry. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15, 4920–4935.
- Channell, J.E.T. (2017). Mid-Brunhes magnetic excursions in marine isotope stages 9, 13, 14, and 15 (286, 495, 540, and 590 ka) at North Atlantic IODP Sites U1302/3, U1305, and U1306. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 18, 473–487.
- Channell, J.E.T., Harrison, R.J., Lascu, I., McCave, I.N., Hibbert, F.D., Austin, W.E.N. (2016). Magnetic record of deglaciation using FORC-PCA, sortable-silt grain size, and magnetic excursion at 26 ka, from the Rockall Trough (NE Atlantic). *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 17, 1823–1841.
- Channell, J.E.T., Singer, B.S., Jicha, B.R. (2020). Timing of Quaternary geomagnetic reversals and excursions in volcanic and sedimentary archives. *Quaternary Science Reviews*, 228, 106114.
- Chen, Z., Yuan, F., Zhang, J., Shen, S., Li, X., Li, X. et al. (2020). Paleomagnetic evidence for the Gothenburg geomagnetic excursion during the Pleistocene–Holocene transition recorded in the Paleo-Danyang Lake, eastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 201, 104140.
- Chou, Y., Jiang, X., Liu, Q., Hu, H., Wu, C., Liu, J., Jiang, Z., Lee, T., Wang, C., Song, Y., Chiang, C., Tan, L., Lone, M.A., Pan, Y., Zhu, R., He, Y., Chou, Y., Tan, A., Roberts, A.P., Zhao, X., & Shen, C. (2018). Multidecadally resolved polarity oscillations during a geomagnetic excursion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115 (36), 8913–8918.
- Clement, B. (2004). Dependence of the duration of geomagnetic polarity reversals on site latitude. *Nature*, 428, 637–640.
- Creer K.M., Anderson T.W., Levis C.F.M. (1976). Late Quaternary geomagnetic stratigraphy recorded in Lake Erie sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 31, 37–47.
- Denham, C.R., Cox, A. (1971). Evidence that the Laschamp polarity event did not occur 13,300–34,000 years ago. *Earth and Planetary Science Letters*, 13, 181–190.
- Dergachev, V.A., Raspopov, O.M., van Geel, B., Zaitseva, G.I. (2004). The "SternoEtrussia" geomagnetic excursion around 2700 BP and changes of solar activity, cosmic ray intensity, and climate. *Radiocarbon*, 46, 661–681.
- Herrero-Bervera, E. (2021). On the Possibility of Obtaining Geomagnetic Volcanic Records of the Short-Term Behavior of the Laschamp and Pringle Falls Excursions from the Long Sequence of Kahuku and Ninole Hills, Big Island of Hawaii, USA. *Open Journal of Geology*, 11, 712–733.
- Herrero-Bervera, E., Cañón-Tapia, E. (2013). On the directional geomagnetic signature of the Pringle Falls excursion recorded at Pringle Falls, Oregon, USA. *Geological Society London Special Publications*, 373(1), 261–278.
- Jicha, B.R., Kristjánsson, L., Brown, M.C., Singer, B.S., Beard, B.L., Johnson, C.M. (2011). New age for the Skalamafell excursion and identification of a global geomagnetic event in the late Brunhes Chron. *Earth and Planetary Science Letters*, 310, 509–517.
- Kornprobst, J., Lénat, J.-F., (2014). Centenary of the Discovery of Earth's Magnetic Field Reversals. *Eos*, 4 November. Retrieved from <https://eos.org/articles/centenary-discovery-earths-magnetic-field-reversals>.
- Korte, M., Brown, M.C., Panovska, S., Wardinski, I. (2019a). Robust Characteristics of the Laschamp and Mono Lake Geomagnetic Excursions: Results From Global Field Models. *Frontiers in Earth Science*, 7:86.
- Korte, M., Panovska, S., Constable, C. (2019b). A Global View on Geomagnetic Excursions Through the Past 100 kyr. *Abstracts, AGU 2019 Fall Meeting (San Francisco, USA 2019)*, GP34A-02.
- Krijgsman, W., Kent, D.V. (2004). Non-uniform occurrence of short-term polarity fluctuation in the geomagnetic field? New results from middle to late Miocene sediments of the north Atlantic (DSDP Site 608). In: Channell JET, et al. (eds.) *AGU Geophysical Monograph Series*, 145: *Timescales of the Geomagnetic Field*. (p. 161–174). Washington, DC: AG.
- Kristjánsson, L., Gudmundsson, A. (1980). Geomagnetic excursion in late-glacial basalt, outcrops in south-western Iceland. *Geophysical Research Letters*, 7, 337–340.
- Laj, C., Channell, J.E.T. (2007). Geomagnetic excursions. *Treatise on Geophysics*, 5, 373–416.
- Langereis, C.G., Dekkers, M.J., de Lange, G.J., Paterne, M., van Santvoort, P.J.M. (1997). Magnetostratigraphy and astronomical calibration of the last 1.1 Myr from an eastern Mediterranean piston core and dating of short events in the Brunhes. *Geophysical Journal International*, 129, 75–94.
- Langereis, C.G.; Krijgsman, W., Muttoni, G., Menning, M. (2010). Magnetostratigraphy concepts, definitions, and applications. *Newsletters on Stratigraphy*, 43(3), 207–233.
- Liddicoat, J.C., Coe, R.S. (1979). Mono Lake geomagnetic excursion. *Journal of Geophysical Research*, 84, (B1), 261–271.
- Liu, J., Nowaczyk, N.R., Panovska, S., Korte, M., Arz, H.W. (2020). The Norwegian-Greenland Sea, the Laschamps, and the Mono Lake excursions recorded in a Black Sea sedimentary sequence spanning from 68.9 to 14.5 ka. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2019JB019225.
- Liu, J., Nowaczyk, N.R., Ute, F., Arz, H.W. (2018). A 20–15 ka high-resolution paleomagnetic secular variation record from Black Sea sediments – no evidence for the 'Hilina Pali excursion'? *Earth and Planetary Science Letters*, 492, 174–185.
- Liu, J., Nowaczyk, N.R., Ute, F., Arz, H.W. (2019). Geomagnetic paleosecular variation record spanning from 40 to 20 ka – implications for the Mono Lake excursion from Black Sea sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 509, 114–124.
- Lund, S.P. (2018). A new view of long-term geomagnetic field secular variation. *Frontiers of Earth Science*, 6, 40.
- Lund, S.P., Schwartz, M., Stott, L. (2017). Long-term palaeomagnetic secular variation and excursions from the western Equatorial Pacific Ocean (MIS2–4). *Geophysical Journal International*, 209, 587–596.
- Merrill, R.T., McElhinny, M.W., McFadden, P.L. (1996). *The magnetic field of the Earth: paleomagnetism, the Core and the Deep Mantle*. USA: Academic press.
- Michalk, D.M., Bönnel, H.N., Nowaczyk, N.R., Aguirre-Diaz, G.J., López-Martínez, M., Ownby, S., Negendank, J.F.W. (2013). Evidence for geomagnetic excursions recorded in Brunhes and Matuyama Chron lavas from the trans-Mexican volcanic belt. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118, 2648–2669.
- Molina-Cardín, A., Dinis, L., Osete, M.L. (2021). Simple stochastic model for geomagnetic excursions and reversals reproduces the temporal asymmetry of the axial dipole moment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(10), e2017696118.
- Mörner, N.A., Lanser, J.P., Hospers, J. (1971). Late Weichselian palaeomagnetic reversal. *Nature Physical Science*, 234, 173–174.
- Nami, H.G. (2015). New Paleomagnetic results and evidence for a geomagnetic field excursion during the pleistocene-holocene transition at Pichincha province, Ecuador. *Geofísica Internacional*, 54(2), 127–148.
- Nami, H.G., Vasquez, C.A., Wadley, L., De la Peña, P. (2020). Detailed palaeomagnetic record at Rose Cottage Cave, South Africa: Implications for the Holocene geomagnetic field behaviour and chronostratigraphy. *South African Journal of Science*, 116(1/2), Art.6550, 9 pages.
- Nawrocki, J., Bogucki, A., Lanczont, M., Werner, T., Standzikowski, K., Pańczyk, M. (2018). The Hilina Pali palaeomagnetic excursion and possible self-reversal in the loess from western Ukraine. *Boreas*, 47, 954–966.
- Nowaczyk, N.R., Arz, H.W., Frank, U., Kind, J., Plessen, B. (2012). Dynamics of the Laschamp geomagnetic excursion from Black Sea sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 351–352, 54–69.
- Nowaczyk, N.R., Frank, U., Kind, J., Arz, H.W. (2013). A high-resolution paleointensity stack of the past 14 to 68 ka from Black Sea sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 384, 1–16.
- Nowaczyk, N.R., Liu, J., Arz, H.W. (2020). Records of the Laschamps geomagnetic polarity excursion from Black Sea sediments: magnetite versus greigite, discrete sample versus U-channel data. *Geophysical Journal International*, 224(2), 1079–1095.
- Nowaczyk, N.R., Liu, J., Ute, F., Arz, H.W. (2018). A high-resolution paleosecular variation record from Black Sea sediments indicating fast directional changes associated with low field intensities during marine isotope stage (MIS) 4. *Earth and Planetary Science Letters*, 484, 15–29.
- Oda, H., Nakamura, K., Ikehara, K., Nakano, T., Nishimura, M., Khlystov, O. (2002). Paleomagnetic record from Academician Ridge, Lake Baikal: a reversal excursion at the base of marine oxygen isotope stage 6. *Earth and Planetary Science Letters*, 202, 117–132.
- Ogg, J.G. (2020). Chapter 5 - Geomagnetic Polarity Time Scale. In Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M. (Eds.), *Geologic Time Scale*. Elsevier, p. 159–192.
- Panovska, S., Constable, C.G. (2017). An activity index for geomagnetic paleosecular variation, excursions, and reversals. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18, 1366–1375.
- Panovska, S., Korte, M., Liu, J., Nowaczyk, N. (2021). Global evolution and dynamics of the geomagnetic field in the 15–70 kyr period based on selected paleomagnetic sediment records. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126, e2021JB02681.
- Petrova G.N., Pospelova G.A. (1990). Excursions of the magnetic field during the Brunhes chron. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 63, 135–143.
- Petrova, G.N., Nechaeva, T.V., Pospelova, G.A. (1992). *Characteristic changes in the geomagnetic field in the past*. Nauka [in Russian].
- Pospelova, G.A. (2004). *Geomagnetic episodes. Short history and current status of geomagnetic investigation in Institute of Earth's physics RAS*. Publ. IPE RAS, p. 44–55 [In Russian].
- Raspopov, O.M., Guskova, E.G., Dergachev, V.A. (2010). Proyavlenie geomagnitnogo ekskursa Etrussiya-Sterno v polyarnykh siyaniyah? Paleomagnetizm i magnetizm gornyyh porod. *Materialy mezhdunarodnogo seminaru po problemam paleomagnetizma i magnetizma gornyyh porod, Sankt-Peterburg*, (p. 113–121) [in Russian].
- Roberts, A.P. (2008). Geomagnetic excursions: Knowns and unknowns. *Geophysical Research Letters*, 35, L17307.
- Shibuya, H., Iwasaki, Y., Tanaka, H., Hoshizumi, H. (2007). Paleomagnetism of Unzen volcano: a volcanic record (Senbongi excursion) of the Iceland Basin event and the Brunhes VGP distribution for Japan. *Earth Planets Space*, 59, 763–774.
- Sier, M.J., Parés, J.M., Antoine, P., Loch, J.-L., Dekkers, M.J., Limondin-Lozouet, N., Roebroeks, W. (2015). Evidence for the Blake Event recorded at the Eemian archaeological site of Caours, France. *Quaternary International*, 357, 149–157.
- Simon, Q., Suganuma, Y., Okada, M., Henda, Y., ASTER Team, (2019). High-resolution 10 Be and paleomagnetic recording of the last polarity reversal in the Chiba composite section: age and dynamics of the Matuyama-Brunhes transition. *Earth and Planetary Science Letters*, 519, 92–100

Singer, B.S. (2014). A Quaternary geomagnetic instability time scale. *Quaternary Geochronology*, 21, 29–52.

Singer, B.S., Jicha, B.R., He, H., Zhu, R. (2014). Geomagnetic field excursion recorded 17 ka at Tianchi Volcano, China: new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age and significance. *Geophysical Research Letters*, 41, 2794–2802.

Singer, B.S., Jicha, B.R., Mochizuki, N., Coe, R.S. (2019). Synchronizing volcanic, sedimentary, and ice core records of Earth's last magnetic polarity reversal. *Science Advances*, 5(8), eaaw4621.

Singer, B.S., Relle, M.R., Hoffman, K.A., Battle, A., Guillou, H., Laj, C., Carracedo, J.C. (2002). Ar/Ar ages of transitionally magnetized lavas on La Palma, canary islands, and the geomagnetic instability timescale. *Journal of Geophysical Research*, 107(B11), 2307.

Smith, J.D., Foster, J.H. (1969). Geomagnetic reversal in the Brunhes normal polarity epoch. *Science*, 163, 565–567.

Snowball I. (2018). Is the Hilina Pali 'palaeomagnetic excursion' becoming another example of the reinforcement syndrome? A comment inspired by Nawrocki et al. (2018). *Boreas*, 47, 967–968.

Tauxe, L., Herbert, T., Shackleton, N.J., Kok Y.S. (1996). Astronomical calibration of the Matuyama-Brunhes boundary: Consequences for magnetic remanence acquisition in marine carbonates and Asian loess sequences. *Earth and Planetary Science Letters*, 140, 133–146.

Thompson, R., Berglund, B. (1976). Late Weichselian geomagnetic "reversal" as a possible example of the reinforcement syndrome. *Nature*, 263, 490–491.

Thouveny, N., Carcaillet, J., Moreno, E., Leduc, G., Nerini, D. (2004). Geomagnetic moment variation and paleomagnetic excursions since 400 kyr BP; a stacked record from sedimentary sequences of the Portuguese margin. *Earth and Planetary Science Letters*, 219, 377–396.

Tretyak, A.N., Vigilyanskaya, L.I., Makarenko, V.N., Dudkin, V.P. (1989). *Tonkaya struktura geomagnitnogo polya v pozdnem kainozoe*. Naukova dumka [in Russian].

Valero, L., García-Alix, A., Jiménez-Moreno, G., Camuera, J., López-Avilés, A., Ramos-Román, M.J., Jiménez-Espejo, F.J., Beamud, E., Maestre, E., Anderson, R.S. (2023). Evidences of the Blake and Iceland Basin magnetic excursions in southeastern Iberia and chronological implications for the Padul sedimentary record. *Quaternary Geochronology*, 74, 101421.

Verosub, K.L. (1982). Geomagnetic excursions: a critical assessment of the evidence as recorded in sediments of the Brunhes Epoch. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. *Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 306, 161–168.

Отримано редакцією журналу / Received: 20.09.23

Прорецензовано / Revised: 05.10.23

Схвалено до друку / Accepted: 08.10.23

Volodymyr BAKHMUTOV¹, DSc (Geol.), Prof., Head of Department

ORCID ID: 0000-0003-3804-9953

e-mail: bakhmutovvg@gmail.com

Halyna MELNYK¹, PhD (Phys., & Math.), Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0002-3609-1181

e-mail: melnykgv@gmail.com

Dmytro HLAVATSKYI¹, PhD (Geol.), Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0002-9901-7827

e-mail: hlavatskyi@gmail.com

Ievgen POLIACHENKO¹, PhD (Geol.), Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0002-3316-4605

e-mail: poliachenkoib@gmail.com

¹Institute of Geophysics by S.I. Subbotin name, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

GEOMAGNETIC FIELD EXCURSIONS OF THE BRUNHES CHRON P.1: A HISTORICAL OVERVIEW AND CURRENT STATE OF RESEARCH

The use of the palaeomagnetic method in stratigraphy is based on the evidence of geomagnetic field polarity changes (inversions) as well as the existence of excursions, short-term (up to 10 ka) deviations of the virtual geomagnetic pole from its usual position, which occurred sometimes only on a regional scale. The excursions as magnetostratigraphic benchmarks are a powerful tool in the correlation of the Quaternary deposits. In 1960–1990 particular attention was paid to them as important correlation markers across the regional chronostratigraphic scales of the Quaternary. However, the quantity of the Brunhes chron excursions, their stratigraphic position and ages have been debatable. In recent years, many papers have been published clarifying the nature, age, and duration of excursions in various deposits. In the first part of the article a detailed overview of the Brunhes chron excursions is provided, considering the current state of the issue of determining their suitability.

K e y w o r d s : geomagnetic field inversions and excursions, magnetostratigraphy.

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 550.34

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.06>

Дмитро МАЛИЦЬКИЙ¹, д-р фіз.-мат. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-9156-739x
e-mail: dmalytskyy@gmail.com

Андрій ГНИП¹, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-2612-4234
e-mail: agnyp.gm@gmail.com

Олександра АСТАШКІНА¹, канд. геол. наук, наук. співроб.
ORCID ID: 0009-0004-2065-4236
e-mail: sac1@ukr.net

Наталя ЗАБРОДСЬКА¹, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.

Руслан ПАК¹, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0001-8781-4688

Василь ІГНАТИШИН^{1,2}, канд. фіз.-мат. наук
ORCID ID: 0000-0003-0727-2132

Віталій ФУРМАН^{1,3}, канд. фіз.-мат. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-4009-0923
e-mail: vitaliy.furman@lnu.edu.ua

Валерій НІКУЛІН^{1,4}, д-р геол. наук
ORCID ID: 0000-0003-4489-8708
e-mail: seismolat@gmail.com

¹Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Львів, Україна

²Закарпатський угорський інститут ім. Ф. Ракоці II, Берегове, Україна,

³Львівський національний університет ім. Івана Франка, Львів, Україна

⁴Латвійський центр навколишнього середовища, геології та метеорології, Рига, Латвія

ФОКАЛЬНІ МЕХАНІЗМИ СЕЙСМІЧНИХ ПОДІЙ НА МАРСІ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Згідно з даними, отриманими під час місії NASA InSight, Марс є сейсмічно активною планетою. У цій роботі ми зосередилися на двох подіях – S0235b та S1222a, друга з яких (4 травня 2022 р., Mw~4,7) є найсильнішою зі всіх зареєстрованих ширококутковою сейсмічною станцією ELYSE, єдиною на Марсі. Епіцентральною відстань S1222a становила 37,2°. Фокальні механізми цих подій ми визначаємо, використовуючи метод, оснований на моделі точкового вогнища у пружному горизонтально-шаровому середовищі. З метою визначення тензора сейсмічного моменту здійснюється інверсія високочастотних сейсмограм, обчислених матричним методом для прямих хвиль. Процес включає перетворення до переміщень у часовій області після інтегрування по частоті та хвильовому числу. Використання у запропонованому методі лише прямих P- і S-хвиль, менш чутливих до ефектів поширення, ніж відбиті та конвертовані, значно підвищує його точність і надійність. Для події S1222a продемонстровано відповідність синтетичних форм прямих хвиль спостереженням. Наведено також порівняльний аналіз фокальних механізмів події S0235b, отриманих шляхом інверсії лише прямих хвиль та шляхом повної прямої інверсії.

Ключові слова: марсотрус, фокальні механізми, пряма задача, тензор сейсмічного моменту, прямі P- і S-хвилі.

Вступ

Дані, зареєстровані сейсмічною станцією ELYSE (Lognonné et al., 2019, 2020), доставленою на Марс космічним апаратом у рамках місії InSight 26 листопада 2018 р. (Banerdt et al., 2020), свідчать про те, що планета є сейсмічно активною, з більш ніж 1300 марсотрусами, виявленими та каталогізованими Службою марсотрусів InSight (MQS) (Giardini et al., 2020; Clinton et al., 2020; Ceylan et al., 2022). Аналіз сейсмічної активності на Марсі свідчить про те, що вона зумовлена подіями з переважно дуже низькою магнітудою (максимум до 2) (Banerdt et al., 2020). Однак 4 травня 2022 р. станція ELYSE зареєструвала подію, яка виявилася набагато сильнішою за всі, що відбувалися раніше, протягом більш ніж трьох років неперервних спостережень. Марсотрус з магнітудою Mw 4,7 стався на 1222-й марсіанський день, або сол, місії (Kawamura et al., 2022). Зважаючи на це, особливо актуальним постало завдання визначення параметрів вогнища марсотрусу за даними лише однієї сейсмічної станції.

Основним засобом кількісної характеристики вогнищ сейсмічних подій є тензор сейсмічного моменту (СМ). Визначення параметрів СМ здійснюють, зокрема,

шляхом інверсії (обернення) повних хвильових форм, що є підходом, який широко використовують і який придатний як до великих, так і до малих землетрусів. Точність і надійність інверсій з метою визначення СМ залежить від виконання двох основних припущень. По-перше, про те, що точкова модель вогнища за даних умов прийнятна (адекватна), і, по-друге, що вплив середовища між вогнищем і станцією на сейсмічні хвилі моделюється достатньо точно. Якщо хоч одне з цих припущень неправильне, отриманий СМ може містити значну компоненту, що не є подвійною парою. Тут слід відзначити, що ми розглядаємо дислокаційну модель вогнища, у якій подвійна пара (double couple) є визначальною у механізмі вогнища. Для забезпечення адекватності точкової моделі вогнища у запропонованому нами методі визначення СМ використовуються лише хвилі з довжинами, що перевищують розміри площини розриву. Друге ж припущення передбачає наявність відповіді на питання про точність параметрів середовища між вогнищем і приймачем, за якими обчислюють функції Гріна, які далі використовують в інверсії. Перше дослідження з метою визначення фокальних

© Малицький Дмитро, Гніп Андрій, Асташкіна Олександра, Забродська Наталя, Пак Руслан, Ігнатишин Василь, Фурман Віталій, Нікулін Валерій, 2023

механізмів зареєстрованих на Марсі подій, представлено в роботі Брінкмана (Brinkman et al., 2021). Її автори, зокрема, роблять висновок, що використана у роботі швидкісна модель середовища Марса, достатньо адекватно відображає процес поширення сейсмічних хвиль між станцією та вогнищами. (Jacob et al., 2022) розробили метод визначення тензора СМ та застосували його до дев'яти тектонічних землетрусів. З цією метою було здійснено інверсію форм P - і S -хвиль, а також амплітуд вторинних фаз (PP , SS , PPP і SSS).

Далі наведемо основні результати моделювання поширення хвильового поля у шаруватому півпросторі з використанням матричного методу Томсона–Хаскелла та розглянемо можливість розв'язання оберненої задачі щодо вогнищ подій на Марсі з використанням лише прямих P - і S -хвиль (Малицький, 2016). Отже, розроблені теоретичні основи використаємо для визначення механізмів вогнищ марсотрусів й оцінимо їхню перспективність і щодо інших сейсмологічних задач.

Теорія. Спочатку розглядаємо поширення сейсмічних хвиль у вертикально неоднорідних середовищах і представляємо запропоновану нами версію матричного методу обчислення синтетичних сейсмограм на вільній поверхні горизонтально-шаруватого ізотропного середовища (пряма задача). Точкове джерело розташоване всередині одного шару і представлене тензором СМ. Для визначення тензора СМ ми пропонуємо інвертувати лише прямі хвилі замість повного поля. Перевага такого підходу полягає в тому, що порівняно з відбитими та розсіяними хвилями прямі P - і S -хвилі зазнають значно меншого впливу середовища між вогнищем і станцією і, відповідно, менше залежать від неточності моделі, використаної в інверсії. Перевага ж нашої версії матричного методу полягає саме у можливості аналітичного виділення з повного хвильового поля лише прямих хвиль (Малицький, 2016). Якщо і час у вогнищі відомий заздалегідь, обернена задача зводиться до обчислення за спостереженими хвильовими формами компонент тензора СМ. Із цією метою ми використовуємо розв'язок узагальненого обернення (Aki, & Richards, 1980).

У попередній версії нашого методу – як і в більшості інших методів визначення тензора СМ – здійснювалася одночасна інверсія хвильових форм на кількох сейсмічних станціях (Malyskyu, & D'Amico, 2015; Малицький, 2016). Хоч набагато більше інформації про вогнище і міститься у хвилях, зареєстрованих на кількох станціях, нами доведено, що запропонований нами метод може бути придатний й у випадку лише однієї.

Таким чином, на основі матричного методу Томсона і Хаскелла (Aki, & Richards, 1980) запропоновано новий аналітичний метод (Малицький, 2016) обчислення сейсмічного хвильового поля у шаруватих середовищах (пряма задача) і підхід до визначення тензора СМ, а отже й фокального механізму і часової функції у вогнищі (STF) (обернена задача).

Пряма задача. Розглядаємо поширення сейсмічних хвиль у вертикально неоднорідному середовищі, яке моделюємо системою однорідних ізотропних n шарів на $(n+1)$ півпросторі. Вважаємо, що границі між шарами горизонтальні і на кожній із них чинна умова ідеального контакту. Нашою первинною метою є обчислення хвильового поля на вільній поверхні шаруватого середовища, коли на глибині H_s в однорідному шарі діє точкове джерело, представлене тензором сейсмічного моменту. Вогнище землетрусу розташоване на довільній уявній границі і може бути представлене довільно-орієнтованою силою або дев'ятьма парами сил (тензором СМ). У сучасній

сейсмології таке представлення вогнища використовується найчастіше, а його опис тензором СМ є найефективнішим, оскільки дислокаційна модель вогнища описується площиною розриву, орієнтація у просторі якої визначається трьома кутами (рис. 1), і скалярним сейсмічним моментом M_0 , який визначає енергію землетрусу. Важливий аспект запропонованої нами версії матричного методу полягає в тому, що в ній із застосуванням розв'язку задачі на власні вектори і власні значення запропоновано спосіб аналітичного виділення з повного поля лише прямих P - і S -хвиль, що дає змогу звести пряму задачу до системи лінійних алгебраїчних рівнянь, в обчисленні розв'язку якої і полягає обернена.

Хоч і точкове у просторі, вогнище може бути розподілене в часі. Автори цієї статті доволі багато уваги зосереджували у попередніх роботах на саме такій моделі вогнища (Малицький, 2016). Отже, постановка прямої задачі полягає у визначенні хвильового поля на вільній поверхні шаруватого півпростору, коли вогнище землетрусу представлене як точкове у просторі, але розподілене в часі. Тоді кожна компонента тензора СМ є функцією часу, тобто згортокою сейсмічного тензора і так званої часової функції вогнища $STF(t)$.

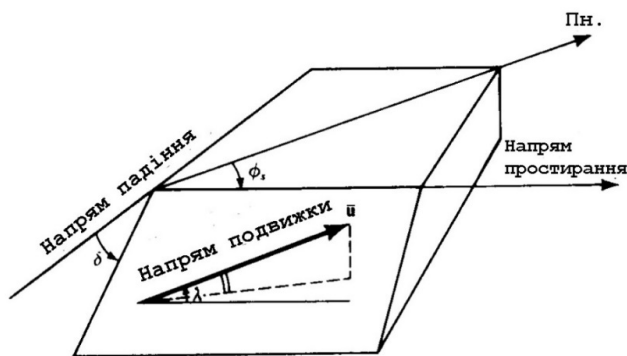


Рис. 1. Дислокаційна модель вогнища землетрусу

У роботах (Malyskyu, & D'Amico, 2015; Малицький, 2016) у циліндричній системі координат отримано такі вирази для поля переміщень на вільній поверхні шаруватого півпростору, зумовленого точковим вогнищем, представленим тензором сейсмічного СМ:

$$\begin{pmatrix} u_z^{(0)} \\ u_r^{(0)} \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^3 \int_0^\infty k^2 I_i L^{-1} [m_i g_i] dk, \\ u_\phi^{(0)} = \sum_{i=5}^6 \int_0^\infty k^2 J_i L^{-1} [m_i g_{\phi i}] dk, \quad (1)$$

де

$$\begin{aligned} m_1 &= M_{xz} \cos \phi + M_{yz} \sin \phi, \quad m_2 = M_{zz}, \\ m_3 &= \cos^2 \phi \cdot M_{xx} + \sin^2 \phi \cdot M_{yy} + \sin 2\phi \cdot M_{xy}, \\ m_4 &= -\cos 2\phi \cdot M_{xx} + \cos 2\phi \cdot M_{yy} - 2 \sin 2\phi \cdot M_{xy}, \\ m_5 &= M_{yz} \cos \phi - M_{xz} \sin \phi, \\ m_6 &= \sin 2\phi \cdot M_{xx} - \sin 2\phi \cdot M_{yy} - 2 \cos 2\phi \cdot M_{xy}, \end{aligned}$$

$M_{xx}, M_{xy}, \dots, M_{zz}$ – компоненти тензора сейсмічного моменту в декартовій системі координат, ϕ – азимут станції відносно епіцентру землетрусу (рис. 2), k – хвильове число, функції $\mathbf{g}_i = (g_{zi}, g_{\phi i})^T$ та $g_{\phi i}$ містять ефекти поширення хвиль між вогнищем і станцією, $I_1 = \begin{pmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_0 \end{pmatrix}$, $I_2 = \begin{pmatrix} J_0 & 0 \\ 0 & J_1 \end{pmatrix}$, $I_3 = I_2$, $I_5 = J_0$, $I_6 = J_1$ – функції Бесселя, L^{-1} – обернене перетворення Фур'є.

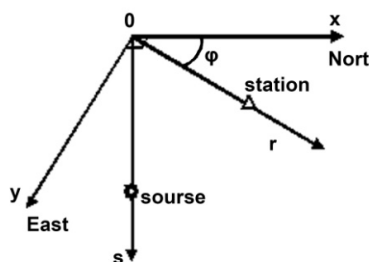


Рис. 2. Вогнище і станція в декартовій і циліндричній системі координат

Обернена задача. У роботі (Малицький, 2016) із застосуванням розв'язку задачі на власні значення та власні вектори запропоновано спосіб аналітичного виділення лише прямих P - і S -хвиль із повного хвильового поля (1), що дозволяє звести (1) до системи лінійних алгебраїчних рівнянь. У декартовій системі координат й у ділянці частот і хвильових чисел вона має такий вигляд:

$$U^{(0)} = K \cdot M, \quad (2)$$

де вектор $U^{(0)} = (U_x^{(0)P}, U_x^{(0)S}, U_y^{(0)P}, U_y^{(0)S}, U_z^{(0)P}, U_z^{(0)S})^T$ містить шість компонент переміщень у прямих P - і S -хвилях, вектор $M = (M_{xz}, M_{yz}, M_{zz}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy})^T$ містить шість компонент СМ, матриця K містить параметри швидкісної моделі.

Використовуючи розв'язок узагальненого обернення (Aki, & Richards, 1980), отримуємо вираз для тензора СМ у матричному вигляді:

$$M = (\tilde{K}^* \cdot K)^{-1} \tilde{K}^* U^{(0)}. \quad (3)$$

Розв'язок (3) для тензора M називають розв'язком узагальненого обернення за критерієм мінімального-квадратичного. Тензор сейсмічного моменту $M(\omega)$, обчислений за рівнянням (3) у ділянці частот, може бути перетворений в $M(t)$ у часовій з використанням оберненого перетворення Фур'є і виглядає так:

$$M_{ij}(t) = M_{ij} \cdot STF(t), \quad (4)$$

де M_{ij} – тензор сейсмічного моменту, а $STF(t)$ – часова функція вогнища.

Утім, у роботі (Vavryšuk, & Kuhn, 2012) продемонстровано, що в частотному діапазоні лише прямих хвиль припущення про незалежний від часу фокальний механізм є доволі точним наближенням.

Слід зазначити, що розв'язок (3) отримано з використанням переміщень лише на одній станції. Адже оскільки усі шість незалежних компонент тензора СМ містяться у виразах для прямих P - і S -хвиль на лише на одній станції, з перевизначеної системи рівнянь (2) схема інверсії (3) дозволяє, принаймні теоретично, отримати унікальний розв'язок для кожного з них. У межах припущення про адекватність точкової моделі вогнища й моделювання ефектів поширення хвиль у середовищі розв'язок (3) є точним і досягається після однієї ітерації. Обернена задача, таким чином, полягає в обчисленні параметрів

вогнища за умови, що відомі його координати і час, а також розподіл швидкостей хвиль між вогнищем і станцією (швидкісна модель).

Фокальні механізми подій S0235b та S01222a (рис. 3). Спочатку розглянемо визначення фокального механізму події S0235b, яка сталася 26 липня 2019 р. на відстані 25° від станції (Brinkman et al., 2021).

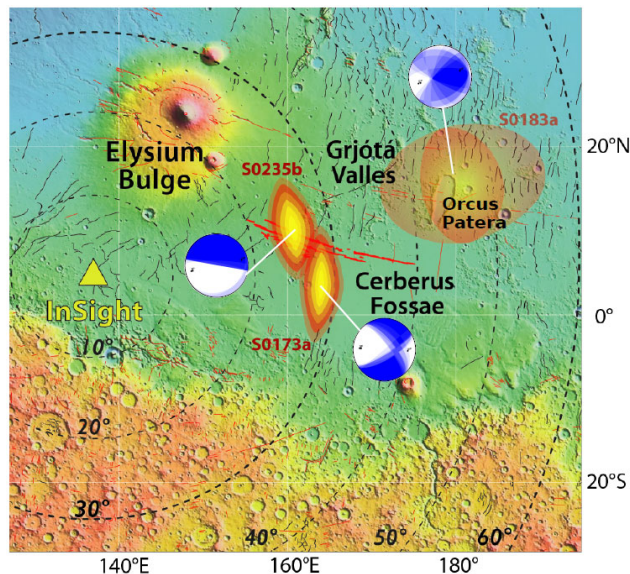


Рис. 3. Орбітальний рельєф Марса у ділянці площини Elysium Planitia (Giardini et al., 2020).

Сейсмічну станцію ELYSE зображено жовтим трикутником.

Еліпсоїди довкола епіцентрів сейсмічних подій:

S0235b (широта – 11°, довгота – 161°), S0173a (широта – 3°, довгота – 165°) і S0183a (широта – 23°, довгота – 177°) враховують ступінь неточності координат. Версії фокальних механізмів наведено за даними (Brinkman et al., 2021)

Для порівняння наведемо версії механізму, обчислені двома методами. У першому для інверсії використано лише прямі хвилі (Малицький, 2016). У другому здійснюється пряма інверсія повного хвильового поля (Brinkman et al., 2021). Розглянуто три варіанти глибини вогнища: 17, 32 і 56 км. Для обчислення СМ обома методами було використано швидкісну модель TAYAK (табл. 1).

Версії фокального механізму за глибини вогнища 32 км, зображені на рис. 4, виявилися дуже схожі між собою.

Версії механізмів для глибин вогнища 17 і 56 км теж були дуже схожі.

Далі наведемо результати визначення механізму найбільшої за час спостережень події S1222a (2022-05-04, вступ P -хвилі: 23:27:45, 3:54 LMST, Mw 4,7, зворотний азимут 109° (Kawamura et al., 2022)), що сталася на відстані 37,2° від станції ELYSE. На рис. 5 наведено записи цієї події у переміщеннях, профільовані у межах смуги пропускання від 0,2 до 9,0 Гц.

Таблиця 1

Параметри швидкісної моделі TAYAK (Brinkman et al., 2021)

Товщина шару [км]	Швидкість V_p [км/с]	Швидкість V_s [км/с]	Густина ρ [кг/м³]
10	3.800	1.850	2304
14	4.500	2.800	2570
24	6.224	3.753	2863

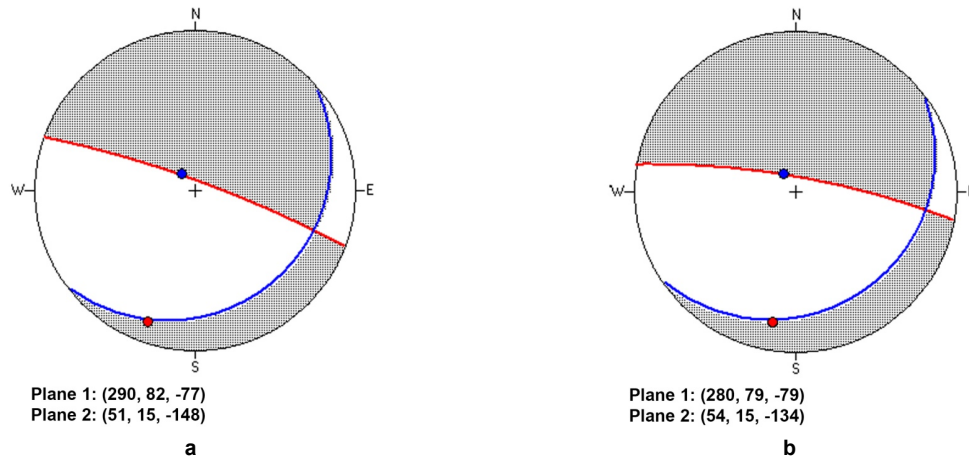


Рис. 4. Версії фокального механізму події S0235b, отримані шляхом інверсії лише прямих хвиль (Малицький, 2016) (а) та шляхом прямої повної інверсії хвильового поля (Brinkman et al., 2021) (b), за глибини вогнища 32 км

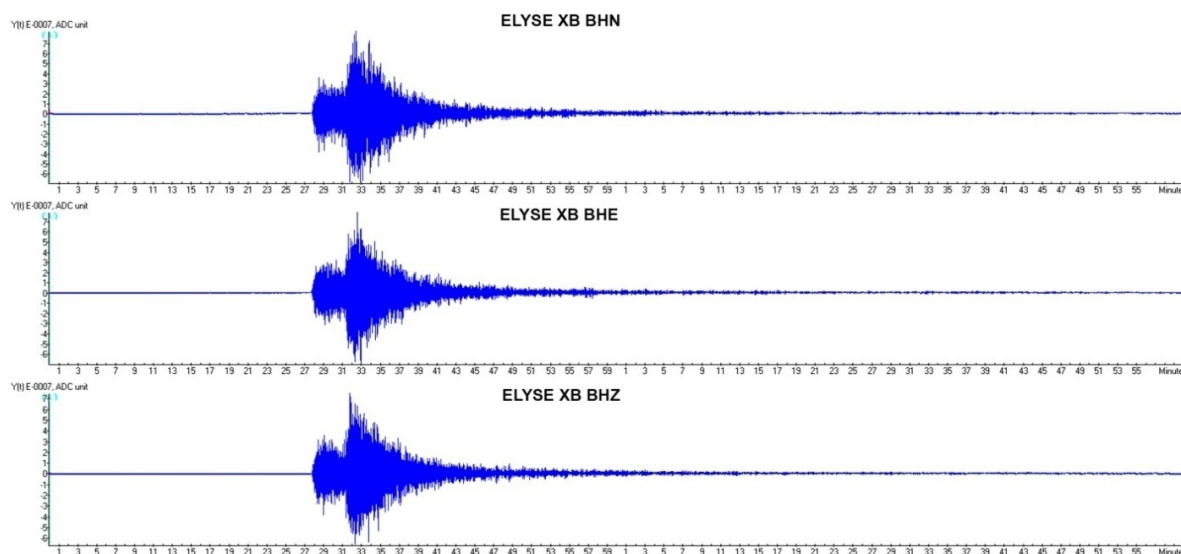


Рис. 5. Записи сейсмічної події S1222a на станції ELYSE у переміщеннях, профільовані у межах смуги пропускання від 0,2 до 9,0 Гц

Тривалість відрізків записів, що відповідають лише прямим P - і S -хвилям, ми оцінювали візуально і з урахуванням затримки вступів фаз за відповідної епіцентральної відстані та глибини вогнища. Для події S1222a на станції ELYSE вона могла змінюватися в інтервалі між 1,1 і 4,5 с для P -хвилі, і від 1,4 до 3 с для S -хвилі.

На рис. 6. зображено версію фокального механізму події S1222a, обчислену з використанням лише прямих P - і S -хвиль.

На рис. 7 для порівняння наводимо синтетичні й спостережені форми сигналу у ділянці лише прямих хвиль. Компоненти синтетичних сигналів E , N та Z у переміщеннях було обчислено для версії тензора моменту, отриманого шляхом інверсії лише прямих P - і S -хвиль за глибини вогнища 22 км, з використанням модифікованої швидкісної моделі TAYAK та алгоритму Instaseis (van Driel et al., 2015), який дає змогу швидко отримувати за-здалегідь обчислені з використанням програми AxiSEM (Nissen-Meyer et al., 2014) функції Гріна. Перед порівнюванням синтетичні й спостережені форми сигналу перетворюємо до радіальної (R), тангенціальної (T) і вертикальної (Z) компонент і фільтруємо у межах смуги пропускання з періодами від 3 до 12 с. Для кожної з фаз візуально обираємо вікна, у яких порівнюватимемо

форми сигналу. Вертикальну і радіальну складові P -хвилі порівнюємо у вікні, що починається за 2,5 с до та закінчується через 17,5 с після її вступу (P_z , P_R). Радіальну і тангенціальну складові S -хвилі порівнюємо у вікні, що починається за 12,5 с до та 17,5 с до її вступу (S_R , S_T).

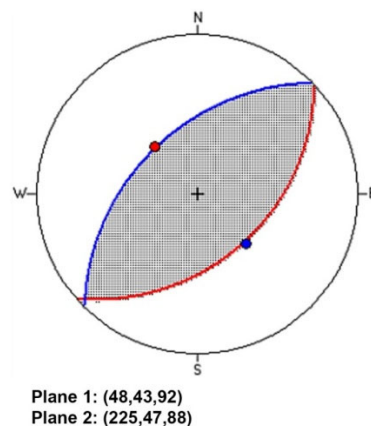


Рис. 6. Версія фокального механізму події S1222a, отримана шляхом інверсії хвильових форм лише прямих P - і S -хвиль

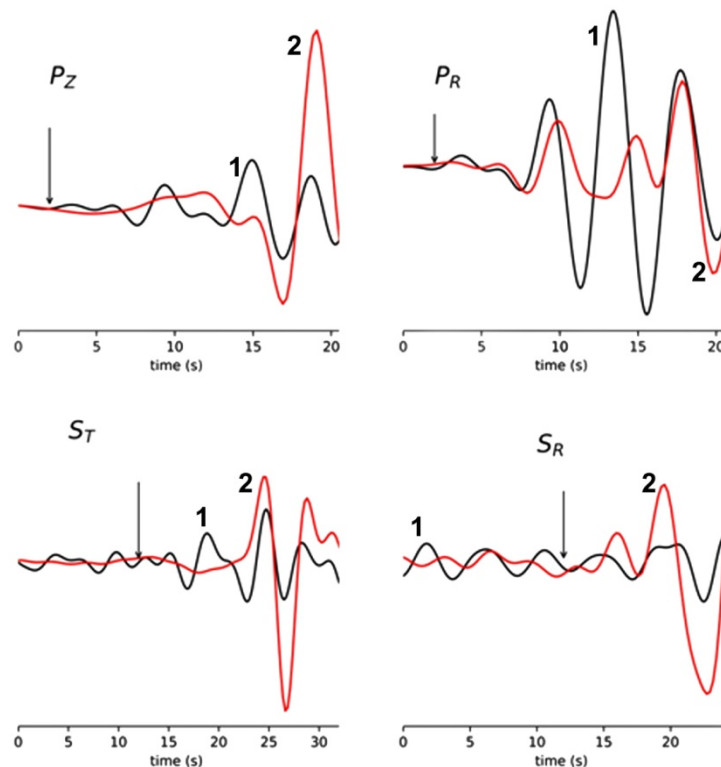


Рис. 7. Синтетичні та спостережені записи об'ємних P - і S -хвиль для події S1222a у переміщеннях
Синтетичний запис, що відповідає глибини вогнища 22 км, обчислено з використанням моделі TAYAK (табл. 1).
Записи профільовано у межах смуги пропускання з періодами від 3 до 12 с.
Спостережені сигнали зображено чорною лінією (1), а синтетичні – червоною (2)

Обговорення та висновки. У представлений статті ми вперше дослідили можливість визначення фокальних механізмів для двох подій на Марсі (S0235b та S01222a) з використанням тільки прямих P - та S -хвиль на одній станції. Теоретично показано, що переміщення в кожній точці на вільній поверхні горизонтально шаруватого й ідеально пружного напівпростору, у випадку точкового джерела, представленого змінним у часі симетричним тензором моменту, залежать від усіх шести його компонент і можуть бути обчислені шляхом узагальненого обернення. Обрання замість повного поля лише прямих P - і S -хвиль, обчислених матричним методом, дає змогу зменшити вплив неточності моделі середовища, оскільки відбиті та конвертовані фази значно більше спотворюються нею. Отже, ми представили метод отримання інверсії тензора моменту прямих P - і S -сигналів, зареєстрованих лише на одній станції. Метод базується на інверсійному підході, описаному Д. Малицьким (2016), де представлено версію матричного методу для розрахунку прямих P - та S -хвиль у горизонтально-шаруватому півпросторі від точкового джерела, представленого тензором моменту CM. Порівняльний аналіз синтетичних сейсмограм та спостережуваних записів (рис. 7) показав достатньо високий відсоток кореляції для прямих хвиль. Отже, представлений метод можна використовувати для визначення фокальних механізмів для подій на Марсі, що буде продовжено та показано у наступних роботах.

Список використаних джерел

Малицький, Д. (2016). *Математичне моделювання в задачах сейсмології*. Наукова думка.
Aki, K., & Richards, P.G. (2002). *Quantitative seismology*. University Science Books.

Banerdt, W.B., Smrekar, S., Banfield, D., Giardini, D., Golombek, M.P., Johnson, C., et al. (2020). Initial results from the insight mission on Mars. *Nature Geoscience*, 13 (3), 183–189. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0544-y>
Brinkman, N., Stähler, S.C., Giardini, D., Schmelzbach, C., Khan, A., Jacob, A., et al. (2021). First focal mechanisms of marsquakes. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126(4), e2020JE006546. <https://doi.org/10.1029/2020JE006546>
Ceylan, S., Clinton, J., Giardini, D., Stähler, S.C., Horleston, A., Kawamura, T. et al. (2022). The marsquake catalogue from InSight, sols 0-1011. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 333, 106943. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2022.106943>
Clinton, J., Ceylan, S., van Driel, M., Giardini, D., Stähler, S.C., Bose, M. et al. (2020). The Marsquake catalogue from InSight, sols 0-478. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 310, 106595. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106595>
Giardini, D., Lognonné, P., Banerdt, W.B., Pike, W.T., Christensen, U., Ceylan, S. et al. (2020). The seismicity of Mars. *Nature Geoscience*, 13, 205–212. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0539-8>
Jacob, A., Plasman, M., Perrin, C., Fuji, N., Lognonné, P., Xu, Z. et al. (2022). Seismic sources of InSight marsquakes and seismotectonic context of Elysium Planitia, Mars. *Tectonophysics*, 837, 229434. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229434>
Kawamura, T., Clinton, J.F., Zenhausen, G., Ceylan, S., Horleston, A.C., Dahmen, N.L. (2022). S1222a- the largest Marsquake detected by InSight. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1029/2022GL101543>
Lognonné, P., Banerdt, W., Pike, W.T., Giardini, D., Christensen, U., Garcia, R.F. et al. (2020). Constraints on the shallow elastic and anelastic structure of Mars from InSight seismic data. *Nature Geoscience*, 13(3), 213–220. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0536-y>
Lognonné, P., Banerdt, W.B., Giardini, D., Pike, W.T., Christensen, U., Laudet, P. et al. (2019). SEIS: InSight's Seismic Experiment for Internal Structure of Mars. *Space Science Reviews*, 215(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s11214-018-0574-6>
Malysky, D., D'Amico, S. (2015). Moment tensor solutions through waveforms inversion, *Mistral Service S.a.S., Earth and Environmental Sciences*.
Nissen-Meyer, T., van Driel, M., Stähler, S. C., Hosseini, K., Hempel, S., Auer, L. et al. (2014). AxiSEM: broadband 3-D seismic wavefields in axisymmetric media. *Solid Earth*, 5(1), 425–445.
van Driel, M., Krischer, L., Stähler, S. C., Hosseini, K., & Nissen-Meyer, T. (2015). Instaseis: Instant global seismograms based on a broadband waveform database. *Solid Earth*, 6(2), 701–717.
Vavryčuk, V., & Kuhn, D. (2012). Moment tensor in version of waveforms: a two-step time-frequency approach. *Geophysical Journal International*, 190(3), 1761–1776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05592.x>

References

- Aki, K., & Richards, P.G. (2002). *Quantitative seismology*. University Science Books.
- Banerdt, W.B., Smrekar, S., Banfield, D., Giardini, D., Golombek, M.P., Johnson, C., et al. (2020). Initial results from the insight mission on Mars. *Nature Geoscience*, 13 (3), 183–189. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0544-y>
- Brinkman, N., Stähler, S.C., Giardini, D., Schmelzbach, C., Khan, A., Jacob, A., et al. (2021). First focal mechanisms of marsquakes. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126(4), e2020JE006546. <https://doi.org/10.1029/2020JE006546>
- Ceylan, S., Clinton, J., Giardini, D., Stähler, S.C., Horleston, A., Kawamura, T. et al. (2022). The marsquake catalogue from InSight, sols 0–1011. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 333, 106943. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2022.106943>
- Clinton, J., Ceylan, S., van Driel, M., Giardini, D., Stähler, S.C., Bose, M. et al. (2020). The Marsquake catalogue from InSight, sols 0–478. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 310, 106595. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106595>
- Giardini, D., Lognonné, P., Banerdt, W.B., Pike, W.T., Christensen, U., Ceylan, S. et al. (2020). The seismicity of Mars. *Nature Geoscience*, 13, 205–212. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0539-8>
- Jacob, A., Plasman, M., Perrin, C., Fuji, N., Lognonné, P., Xu, Z. et al. (2022). Seismic sources of InSight marsquakes and seismotectonic context of Elysium Planitia, Mars. *Tectonophysics*, 837, 229434. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229434>
- Kawamura, T., Clinton, J.F., Zenhausem, G., Ceylan, S., Horleston, A.C., Dahmen, N.L. (2022). S1222a- the largest Marsquake detected by InSight. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1029/2022GL101543>.
- Lognonné, P., Banerdt, W., Pike, W.T., Giardini, D., Christensen, U., Garcia, R.F. et al. (2020). Constraints on the shallow elastic and anelastic structure of Mars from InSight seismic data. *Nature Geoscience*, 13(3), 213–220. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0536-y>
- Lognonné, P., Banerdt, W.B., Giardini, D., Pike, W.T., Christensen, U., Laudet, P. et al. (2019). SEIS: InSight's Seismic Experiment for Internal Structure of Mars. *Space Science Reviews*, 215(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s11214-018-0574-6>
- Malytskyy, D. (2016). *Mathematical modeling in the tasks of seismology*. Naukova dumka [in Ukrainian].
- Malytskyy, D., D'Amico, S. (2015). Moment tensor solutions through waveforms inversion, *Mistral Service S.a.S., Earth and Environmental Sciences*.
- Nissen-Meyer, T., van Driel, M., Stähler, S. C., Hosseini, K., Hempel, S., Auer, L. et al. (2014). AxiSEM: broadband 3-D seismic wavefields in axisymmetric media. *Solid Earth*, 5(1), 425–445.
- van Driel, M., Krischer, L., Stähler, S. C., Hosseini, K., & Nissen-Meyer, T. (2015). Instaseis: Instant global seismograms based on a broadband waveform database. *Solid Earth*, 6(2), 701–717.
- Vavryčuk, V., & Kuhn, D. (2012). Moment tensor in version of waveforms: a two-step time-frequency approach. *Geophysical Journal International*, 190(3), 1761–1776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05592.x>

Отримано редакцією журналу / Received: 17.05.23
Прорецензовано / Revised: 27.09.23
Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Dmytro MALYTSKYI¹, DSc (Phys.-Math.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-9156-739x
e-mail: dmalytskyy@gmail.com

Andriy GNYP¹, PhD (Phys.-Math.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-2612-4234
e-mail: agnyp.gm@gmail.com

Oleksandra ASTASHKINA¹, PhD (Geol.), Researcher
ORCID ID: 0009-0004-2065-4236
e-mail: sac1@ukr.net;

Natalia ZABRODSKA¹, PhD (Phys.-Math.), Senior Researcher

Ruslan PAK¹, PhD (Phys.-Math.), Researcher
ORCID ID: 0000-0001-8781-4688

Vasil IGNATYSHYN², PhD (Phys.-Math.)
ORCID ID: 0000-0003-0727-2132

Vitaliy FURMAN³, PhD (Phys.-Math.)
ORCID ID: 0000-0002-4009-0923

Valery NIKULIN⁴, DSc (Geol.)
ORCID ID: 0000-0003-4489-8708

¹Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

²Ferenc Rákóczi II. Transcarpathian Hungarian Institute, Ukraine

³Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

⁴Latvian Environment, Geology and Meteorology Center, Riga, Latvia

FOCAL MECHANISMS OF SEISMIC EVENTS ON MARS

According to data obtained by NASA's InSight mission, Mars appears to be a seismically active planet. In this paper, we focus on two events – S0235b and S1222a, the second of which (May 4, 2022, Mw~4.7) is the strongest of all recorded by the broadband seismic station ELYSE, the only one on Mars. Epicentral distance of S1222a was 37.2°. We determine the focal mechanisms of events using the method based on the model of a point source in an elastic horizontally layered medium. Seismic moment tensor is determined by inversion of high-frequency seismograms calculated by the matrix method for direct waves. The process involves conversion into displacements in the time domain after integration over frequency and wavenumber. The use of only direct P- and S-waves, which are less sensitive to propagation effects than reflected and converted ones, significantly improves accuracy and reliability of the proposed method. For the event S1222a, the match of the synthetic forms of direct waves to the observed ones is demonstrated. A comparative analysis of the focal mechanisms obtained for the S0235b event by inversion of only direct waves and by full direct inversion is also presented.

Keywords: Marsquake, focal mechanisms, direct problem, seismic moment tensor.

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.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

UDC 549:551.435.322(262.5)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.07>

Viktor NESTEROVSKIY, DSc (Geol.), Prof.

ORCID ID: 0000-0002-7065-8962

e-mail: v.nesterovski@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Mykhailo DEIAK, PhD (Geol.), Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0002-9330-2766

e-mail: nayk@ukr.net

State Scientific Institution "Marine Geological and Environmental Center of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Andrii TARNOVETSKIY, PhD Student

ORCID ID: 0009-0008-4919-6637

e-mail: youketeroamano22@gmail.com

State Scientific Institution "Marine Geological and Environmental Center of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

LITHOLOGICAL AND MINERALOGICAL COMPOSITION
OF ACCUMULATIVE BEACH SEDIMENTS
OF THE DNIESTER-DNIPRO SEGMENT OF THE BLACK SEA*(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.В. Озарем)*

The article presents the results of studies of modern beach sediments of the northwestern Black Sea coast from the village of Karolino-Buhaz (Odesa oblast) to the village of Rybakivka (Mykolaiv oblast). The length of the coastal zone is about 110 km. Most of the beaches here are sloping beaches of various morphologies and widths. Using a uniform methodology, 64 samples were collected and processed along the entire profile. The sampling was carried out from the middle part of the beach strip between the water's edge and the shore in the summer in the absence of storms from a depth of 30 cm. The area of the sweep was 30×30 cm. Each sampling point was accompanied by a description of the geological structure, condition of the coastal zone and characteristics of the beach area. The sampling points were georeferenced using a GPS system.

Grain size and mineralogical analyses were carried out, and the main patterns of lithological composition and distribution of mineral fractions along the entire profile were established. Several contrasting areas were identified: 1) Karolino-Buhaz-Chornomorsk, where the medium-grained (0.5–0.25 mm) fraction significantly prevails (67 %). In the sediments of this area, the main mineral of all fractions is quartz (90 %). The dominant heavy minerals are garnet, ilmenite, and magnetite; 2) Chornomorsk – Cape Velykyi Fontan and Lanzheron (Odesa oblast) – Kobleve (Mykolaiv oblast) with a significant content of coarse-grained psamite (2–1 mm) – 29 % and gravel (2–5 mm) – 16 % fractions. The main minerals here in all fractions are quartz and calcite; 3) Cape Velykyi Fontan -Lanzheron is characterised by a variable particle size distribution, with the bulk represented by fractions of 0.25–0.5 mm and 0.25–0.1 mm, which have different proportions on different beaches. The dominant mineral in all fractions is quartz, with calcite detritus present in subordinate amounts. Heavy minerals are represented by single grains of garnet, ilmenite, magnetite, staurolite; 4) Kobleve – Rybakivka (Mykolaiv oblast) with an increase in the content of fractions of 0.25–0.1 mm (up to 42 %). The main mineral in all fractions is quartz (up to 87 %). The secondary component is calcite detritus. Biotite, muscovite and tourmaline are notable impurities in fine-grained fractions. On some beaches located near the seaport of Odesa, numerous glassy spheroidal aggregates of various compositions and ferruginous spheroids have been found in fractions of less than 0.5 mm. In places of concentration of such formations, the colour of the beach sediments becomes grey.

The total content of anthropogenic material in the beach sediments of the studied segment is on average 0.1–0.12 %. It increases significantly (up to 0.23 %) in the vicinity of the port of Odesa and adjacent areas. In addition, in contrast to the Danube-Dniester segment, there is a noticeable increase in the amount of large-sized material of man-made origin (plastic, concrete, bricks, wood fragments, metal, fabric, etc.) in the beach area.

The main factor in the formation of the mineral and particle size distribution of beach sediments in the Dniester-Dnipro segment of the coast is coastal abrasion. The role of terrigenous inputs from the land is minimal and is manifested only in the northern part (Berezan Bay area). The formation of the material and fractional composition is significantly influenced by periodic artificial sand alluviation (beach area of the Odesa agglomeration), strengthening of slopes with concrete blocks, piling up of blocks of igneous and metamorphic rocks, mainly granitoid, breakwaters and other structures that change the direction and influence along the coastal currents.

Key words: Black Sea, Dniester-Dnipro segment, lithological and mineralogical composition, beach sediments.

Introduction. Beach sediments of the Black Sea within the territorial waters of Ukraine play an extremely important role. They are an integral part of the creation and operation of recreational, health, sanatorium, tourist and sports complexes, as well as mass recreation centres. In the summer, beach sediments are a place of pilgrimage for millions of people, and in many cases the popularity of certain coastal areas of the sea is determined by the condition and nature of their sediments. The main parameters chosen are width, grain size and mineral composition, ecological status and accessibility. The Dniester-Dnipro segment of the coastal zone (Karolino-Buhaz-Rybakivka) is home to a large number of boarding houses, recreation centres, hotels, and entertainment facilities that exploit beach sediments to varying degrees.

Odesa is the largest resort agglomeration with a coastal zone of up to 35 km. Over the past 5 years, from 2 to 3.2 million people have had annual holidays here. In total, the coastal resorts of Odesa oblast received more than 6 million tourists in the summer season before the war. The most important centres of active summer recreation here, in addition to Odesa, are: Karolino-Buhaz, Hrybivka, Sanzhiika, Chornomorsk, Kryzhaniivka, Fontanka, Vapnyarka, Nova Dofinivka, Chornomorske, Hrygorivka, Yuzhne, Kobleve, Mors'ke, Rybakivka. Everywhere near these settlements, there is active urbanisation of the coastal zone, which is manifested in construction, changes in the original natural landscape, disruption of the natural stability of the coastal rocks and slopes, and an increase in the anthropogenic load on beach sediments.

© Nesterovskiy Viktor, Deiak Mykhailo, Tarnovetskiy Andrii, 2023

Coastal and beach sediments in the study segment are distributed along the entire coastline and are represented by two types: sloping beaches with a total length of about 65 km and alluvial beaches with a total length of up to 45 km.

Coastal zone of this segment of the coast is currently undergoing active development of landslide processes associated with the intensification of neotectonic movements and peculiarities of the lithological composition of rocks.

Beach sediments serve as an important marker for assessing the state of the natural environment at the land-water interface. They reflect geological and anthropogenic factors. That is why monitoring of these sediments is important for understanding the direction of these changes, assessing their quantitative and qualitative parameters, and predicting negative consequences.

Analysis of previous studies and setting the objectives of this publication. The formation of beach sediments is the result of the combined action of three main exogenous factors: coastal abrasion, solid runoff from the land and the hydrodynamics of the marine environment. In different segments of the coast, the importance of each of these factors may vary for objective reasons (shoreline configuration, lithological composition of rocks, landslide development, river runoff activity, direction and activity of coastal currents, sea depth, etc.), which will ultimately affect the volume and distribution of particle size and mineral content of beach sediments.

The coast of the north-western part of the Black Sea is an interesting and accessible scientific object for studying all the above factors influencing the formation of beach sediments and assessing the possibility of accumulating minerals in them. The largest waterways of Central Europe and Ukraine - the Danube River, the Dniester River, and the Dnipro River - discharge into the Black Sea, and there are various types of rocks that make up the coastal zone and numerous estuaries. In the previous report (Nesterovskiy et al., 2022), we provided a general analysis of the work carried out in this area in different periods and focused on their objectives and results. This primarily concerns the classical and generalising publications by M.I. Andrusov (Andrusov, 1890, 1927), A.D. Arkhangelsky (Arkhangelsky and Strakhov, 1938), M.M. Strakhov (Strakhov, 1956, 1965), E.F. Shnyukov (Shnyukov et al., 1981, 1983), V.H. Gevorkyan (Gevorkyan, 1981), O.Y. Mitropol'skii (Mitropol'skii and Moiseeva, 1975), M.G. Barkovskaya (Barkovskaya, 1960, 1963), E.M. Neves'kii (Neves'kii, 1967), Z.T. Novikova (Novikova, 1973), Y.Y. Yurk (Yurk et al., 1973), Y.Y. Shuiskiy (Shuiskiy, 1986; Shuiskiy and Murkalov, 2012; Shuiskiy and Organ, 2017), and others. Most of these works are devoted to the geological structure of the shelf and coastal zone, sediment stratigraphy and minerals. A significant contribution to the understanding and disclosure of the main factors of coastal sediment formation in the study area was made by scientists of Odesa National University supervised by Yuri Shuiskiy (Shuiskiy, 1986; Shuiskiy and Murkalov, 2012; Shuiskiy and Organ, 2017), who have been conducting monitoring expeditions to study the morphology of surface and submerged accumulative formations, the composition of suspended material and the ecology of the coastal environment for more than two decades. In recent years, the staff of State Scientific Institution "Marine Geological and Environmental Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine" has been conducting comprehensive lithological and mineralogical studies in the northwestern part of the Black Sea, aimed at obtaining the necessary parameters to build a comprehensive model of the formation of the material and particle size distribution and assessing the importance of each factor. The algorithm of these studies and partial results are presented in (Nesterovskiy et al., 2022, Lomakin et al., 2022). This paper

is a continuation of these studies and covers a new segment of the coast from Karolino-Buhaz village (Odesa oblast) to Rybakivka village (Mykolaiv oblast). It focuses on the study of lithological and mineralogical composition, fractional distribution, ecological status and genesis of beach sediments.

Among the most recent works on this topic, it is worth highlighting the publication by Bayram (Bayram et al., 2020), which discusses the peculiarities of the mineral and chemical composition of the coast of the southwestern part of the Black Sea. Also noteworthy are studies of the quantitative indicators of the main provinces that come from the southern coastal area (Dimitrov et al., 2002, Berkun, Aras, 2012) and the eastern part of the Black Sea (Tătu, Pîrvan et al., 2019, Berkun, Aras, 2012).

Factual material and research methods. The actual material from the Dniester-Dnipro segment of the northwestern part of the Black Sea was collected directly by the authors during the 2021 field season. The sampling was carried out in July in the absence of storm waves at all accessible beach sediment sites. The same methodology was used to collect samples: on sloping beaches – from the middle part, on shoals – at a distance of 5–7 m from the water's edge. The material was collected in standard 1-litre plastic containers from a depth of 30 cm from the surface and a stripping area of 30×30 cm. At each point, a preliminary description of the coastal zone, condition and morphology of beach sediments was carried out. The sampling locations were georeferenced using a GPS system and recorded in a field log along with a description. A total of 64 samples were collected for the study in this segment. The length of the coastline under study is 110 km. The sampling scheme for the study area is shown in Fig. 1.

The methodology for preparing and examining samples in the laboratory had a standard scheme and sequence. All fractional groups were studied using an MBS 9 microscope, scanning electron microscope and electron probe microanalysis. Statistical and graphical methods were used to interpret and present the results.

Research results and their interpretation.

Age and lithological composition of the coastal zone rocks in the studied coastal segment. In this segment, the coastal zone sediments that are in direct contact with the marine environment are represented by Neogene and Quaternary sedimentary rocks. A schematic section of these rocks is shown in Fig. 2.

Sediments of the Neogene system that contribute to the structure of the coastal zone and the adjacent part of the water area are represented by rocks of the Sarmatian, Meotian, Pontic, and Kuyalnik stages. The rocks of the Sarmatian Stage are located below the water's edge and are exposed only at the bottom of estuaries (Dniester, Kuyalnik-Khadzhibeyiskiy, Big and Small Adzhalitskiy, Tiligulskiy, Karabuzhskiy and Berezanskiy) (Zelinskiy et al., 1993). Their influence on the formation of the particle size distribution and mineralogical composition of beach sediments is minimal.

The rocks of the Meotian Stage are involved in the structure of the lower part of the coastal zone section above the water's edge. However, they are not widespread, intermittent, and in some fragments of the shore they are partially eroded and underwater. They occur transgressively on Sarmatian sediments and are mostly composed of clay facies. Small layers of limestone-sandy and silt-sandy rocks are recorded in subordinate amounts. The thickness of the Meotian sediments above the water table in the study areas ranges from minimal to 10–12 m. The surface of the Meotian sediments is uneven, eroded, and contains layers of the basal horizon composed of coarse-grained and gravelly material.

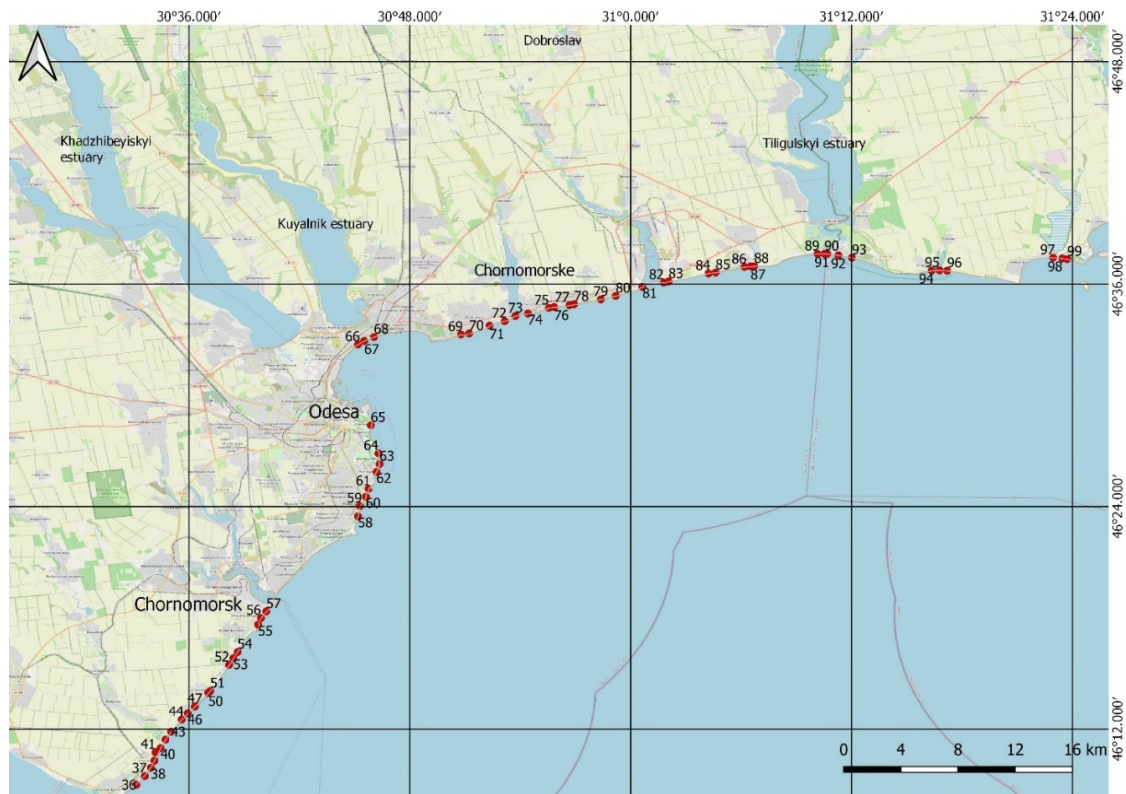


Fig. 1. Scheme of beach sediment sampling in the Dniester-Dnipro segment

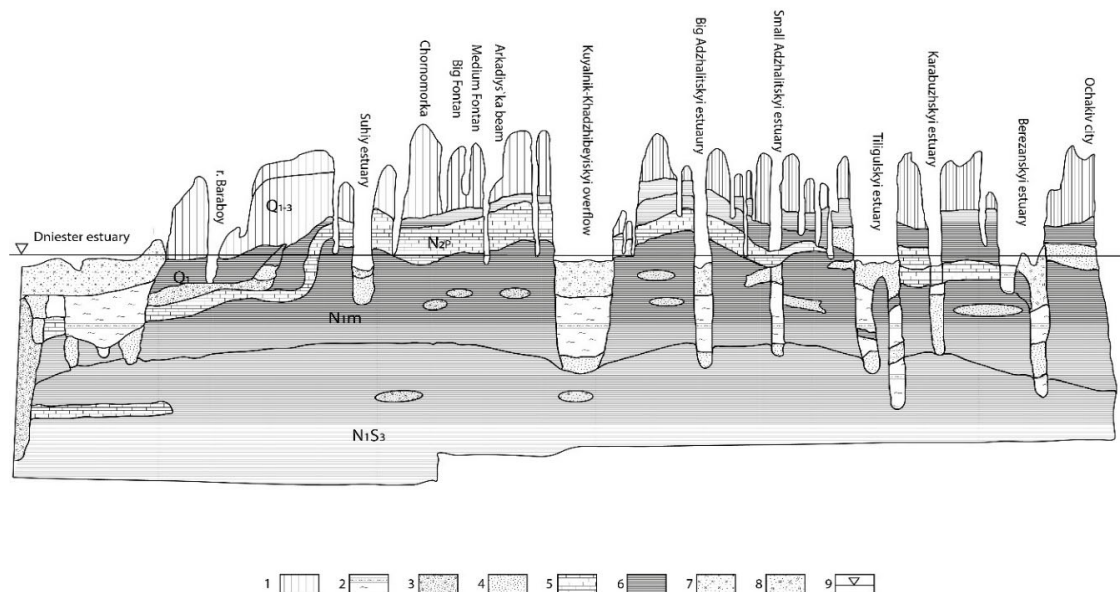


Fig. 2. Schematic geological section along the coastal zone of the Dniester-Dnipro segment

Symbols: 1 – loess loam; 2 – silts; 3, 4 – coarse and fine-grained sands; 5 – limestone; 6 – clays; 7 – sand with shell detritus; 8 – sandy silts; 9 – sea level (Zelinskyi et al., 1993)

The Pontic sediments directly lie on top of the Meotian. They are intermittently present in the coastal section. Above sea level, they are exposed on the coast from the Sukhyi to the Tiligulskyi estuaries. To the southwest of Sanzhiika, they gradually sink and do not come to the surface. They are represented by limestones, clays, siltstones and sandstones belonging to shallow marine and coastal facies. Limestones predominate in the section. The upper and lower parts of the limestone section are stronger, recrystallised, and the middle part is composed of detrital and oolitic limestone with interlayers of sandy clay material. Limestones are poorly

dislocated, small anticline folds with slight steepness of their wings are observed. Pliatic and disjunctive faults, as well as landslides at the contact with meotic clays are often observed. Limestones, which are exposed in the zone of active marine abrasion, affect the stability of the shore and prevent its erosion. The thickness of the Pontic sediments above sea level in the coastal study area ranges from the first few metres to 12 metres or more.

Deposits of the Kuyalnik Formation are naturally occurring in the coastal slopes of the Kuyalnik-Khadzhibeyivskyi and Sychavskyi estuaries, and are also

observed on the sea coast between the Tiligulskyi and Berezanskyi estuaries. Their best sections are located near the villages of Fontanka and Rybakivka. They lie on the eroded surface of Meotian and Pontic sediments and are overlain by Quaternary loams. In most of the outcrops studied, they are represented by interbedded sands and clays. The sandy facies is predominantly of fine- to medium-grained, feldspar-quartz composition. To the north-east, the role of clay layers increases significantly (Rybakivka – Ochakiv). The thickness of the Kuyalnik deposits ranges from 2 to 13 metres. On the coastal area from Small Adzhaliyskyi estuary to Rybakivka, undivided Middle and Upper Pliocene sediments lie on top of the Kuyalnik Formation rocks. They are composed of alluvial facies of sands and clays and continental red-brown clays. The latter are distributed only in the watersheds and are not found directly in the coastal zone. The total thickness of these sediments ranges from 2.5 to 15 metres.

Quaternary sediments are widespread in the coastal outcrops of the studied coastal segment. They are represented by different genetic alluvial, estuarine, marine and lagoonal marine facies. They occur on sediments of different ages from the Meotian to the Upper Pliocene. They are mostly represented by loess and loess-like loams, with fossil soils present in the upper part. The thickness of the Quaternary sediments varies from minimal to 25–30 m.

Landslide phenomena are recorded along the entire profile, except for the embayments in estuaries. Landslides develop at the contact of different facies and different ages of sediments. The most active landslide activity is characteristic of the contact between Pontic (limestone) and Meotian (clay) sediments, Pontic (limestone) and Kuyalnik (sandy-clayey) sediments, as well as Quaternary (loam) sediments and Neogene sediments. The activity of landslide processes increases with watering of the section rocks.

Landslide formation processes in the coastal zone are also largely controlled and amplified by neotectonic differential movements, which are quite active in this region and have different amplitudes in different parts of the coast (Lomakin et al., 2022). All of this, together with anthropogenic load, accelerates coastal erosion and increases the total mass of material entering the abrasion zone.

A typical fragment of the coastal zone with active landslide processes is shown in Fig. 3.



Fig. 3. Coastal landslides near Chornomorske

Condition and morphology of modern beach sediments. In the Dniester-Dnipro segment of the coastal zone there are two main types of natural beach deposits: sloping beaches formed directly along the rocky shore and open beaches formed on alluvial deposits. In addition, urban agglomerations have developed beach sediments of artificial and partially artificial origin.

Slope beaches are the longest and most dominant, with a total length of about 65 km in the study area. They are developed on the coastal areas between the settlements of Karolino-Buhaz, Chornomorsk, Kryzhaniivka – Rybakivka.

Their width in calm sea conditions ranges from 1–2 to 12–15 metres. In stormy weather, these beaches are completely or partially flooded with water and subjected to active overwash. At the same time, the erosion of the shoreline rocks increases. The most actively eroded sediments are those of sandy-aleurite and loess composition. The least vulnerable are dense limestone and clay. The general slope of beach sediments towards the sea is 5–7°. After storms, boulders of coastal rocks appear in the beach area, which then gradually break down to the size of the prevailing fractions. In addition, deposits of man-made material appear.

Open-air beaches are fragmented and are associated with the reclaimed areas of the Kuyalnik-Khadzhibeyiskiy, Big and Small Adzhaliyskyi, Tiligulskyi, Karabuzhskyi and Berezanskyi estuaries. Their width ranges from several tens to several hundred metres, and their height above sea level is from 0.5 to 2 metres. The slope of the sandbanks' surface towards the sea averages 2–5°. In stormy weather, the beach sediments of the embankments are only partially washed away, with the most active impact being on the area in direct contact with the water. As the shore is not eroded in these areas, beach sediments are replenished or reduced after storms by material redistributed or brought in by the sea.

Beach sediments developed directly within the urban agglomerations of Odesa, Chornomorsk, Fontanka and Yuzhne are of a natural and artificial nature. The bedrock in most of these beaches is protected from sea abrasion, with breakwaters built on the sea side, and in some places the shore is reinforced with concrete and crystalline rocks (Fig. 4). There is also periodic replenishment of beach sediments by adding sandy material from various extraction sites (Fedoronchuk et al., 2015).



Fig. 4. Typical view of the coastal fortifications of the beach area of the Dniester-Dnipro segment (Fontanka village)

Particle size distribution of beach sediments. Based on the results of granulometric studies, it was found that the beach sediments consist of gravel (2–10 mm), psamite (0.1–2 mm), siltstone (0.01–0.1 mm) and pelite (<0.01 mm) fractions. The content and proportion of different fractions varies from site to site, but in general, psamites predominate (up to 81 %) throughout the study area. The content of the gravel fraction is variable, but does not exceed 16 %. The siltstone fraction has a minimum content of up to 5 %. The content of the pelitic component is less than 0.5 % and generally correlates with the siltstone fraction. However, it is distributed sporadically along the profile, with concentrations increasing slightly in areas of active landslide events. If landslides occur infrequently, this fraction is then quickly removed by waves into the sea. The general distribution of the fractional composition of beach sediments along the entire profile is shown in Fig. 5. Four contrasting areas can be distinguished by the peculiarities of its distribution:

1) Karolino-Buhaz – Chornomorsk (Odesa oblast). Here, the beach sediments are represented by the predominance of

medium-grained (0.5–0.25 mm) psamite fraction, the content of which is up to 67%. Secondary fractions are coarse-grained psamite (0.5–1 mm) – 17 % and fine-grained psamite (0.25–0.1 mm) – 10 %. Silty, coarse-grained psamite and gravel fractions are completely absent in this area (Fig. 6).

2) Chornomorsk – Cape Velykyi Fontan and Lanzheron (Odesa oblast) – Kobleve (Mykolaiv oblast). It is characterised by a significant decrease in medium-grained and an increase in coarse-grained psamite fractions. There is also a noticeable increase in coarse-grained psamite (1–2 mm) – 29 % and gravelly (2–10 mm) – 16 % fractions. The content of siltstone fraction is less than 1 % (Fig. 7).

3) Cape Velykyi Fontan Lanzheron is characterised by an unstable particle size distribution, where the bulk of the fractions is represented by medium (0.25–0.5 mm) and fine (0.25–0.1 mm) material, which has different proportions on different beaches (Fig. 8);

4) Kobleve – Rybakivka (Mykolaiv oblast). There is a sharp increase in the content of fine-grained psamite (up to 42 %) due to a decrease in medium-grained psamite (up to 20%) and gravel (up to 11 %) fractions. The content of siltstone fraction also increases (Fig. 9).

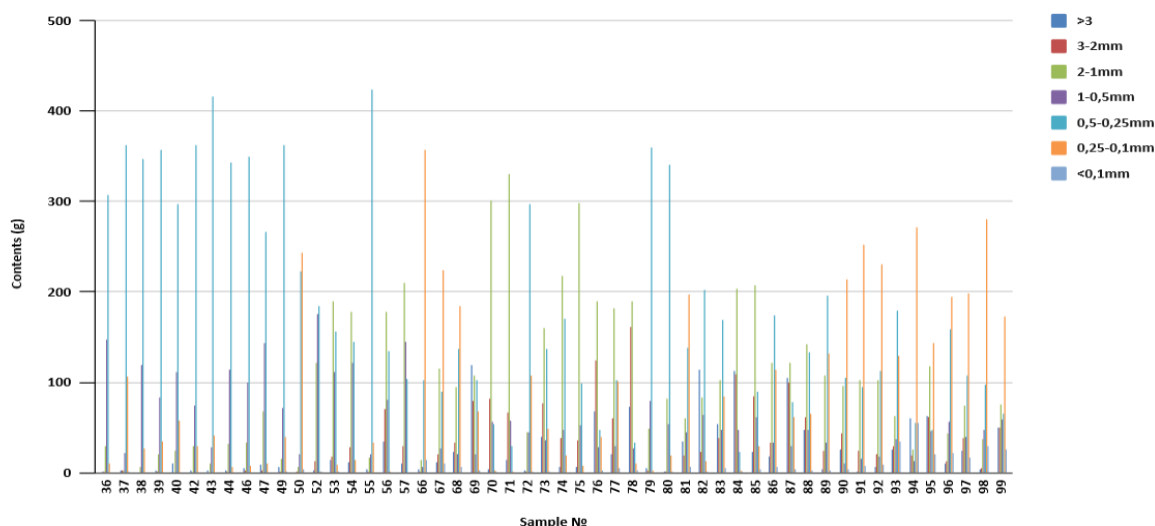


Fig. 5. Generalised particle size distribution of accumulative beach sediments in the Dniester-Dnipro segment

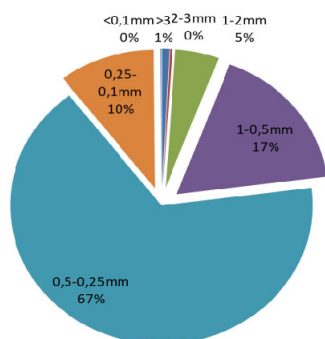


Fig. 6. Average content of beach sediment fractions in the area from Karolino-Buhaz village to the outskirts of Chornomorske

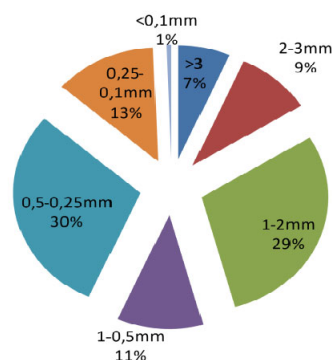


Fig. 7. Average content of beach sediment fractions in the area from the outskirts of Chornomorske (Odesa oblast) to the outskirts of Kobleve (Mykolaiv oblast)

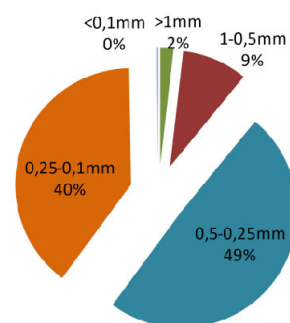


Fig. 8. Average content of beach sediment fractions in the area from Cape Velykyi Fontan – Lanzheron (Odesa)

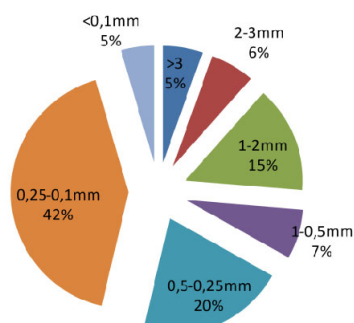


Fig. 9. Average content of beach sediment fractions in the area from the outskirts of Kobleve to Rybakivka village (Mykolaiv oblast)

Mineral composition of beach sediments. The beach sediments of the Dniester-Dnipro segment contain natural minerals: quartz, calcite, garnets, ilmenite, glauconite, tourmaline, mica (phlogopite, muscovite), feldspar, staurolite, magnetite, limestone fragments, detritus, fragments and whole shells and technogenic formations: glass fragments, glass balls, iron balls, shapeless metal alloys, slag.

Natural components. The main rock-forming minerals are quartz and calcite.

Quartz is widespread and predominant in all fractions, except for the Kryzhanivka (Odesa oblast) – Kobleve (Mykolaiv oblast) area, where carbonate formations prevail.

Most of the quartz (up to 97 %) is distributed in fractions of less than 1 mm, but with a sharp predominance in fractions of less than 0.5 mm. It is represented by transparent, medium and poorly rolled grains of colourless,

yellowish and white colour (Fig. 10). Some grains contain inclusions of iron oxides – ilmenite and hematite.

Prismatic quartz crystals, which were common in the fraction of less than 0.25 mm in the beach sediments of the Danube-Dniester segment, are almost absent in this segment.

Carbonate formations are represented by weakly rolled fragments of calcite crystals and aggregates, fragments of limestone, oolite, detritus, and individual shells (Figs. 11–13). Limestone fragments and detritus are typical for fractions larger than 0.5 mm, and calcite grains in fractions smaller than 0.25 mm. Calcite oolites are found in fractions of 0.5–1 and 0.25–0.5 mm. Whole and partially destroyed shells of small fauna are common in fractions larger than 1 mm. As a rule, all carbonate formations are coloured in different shades of yellow and brown.

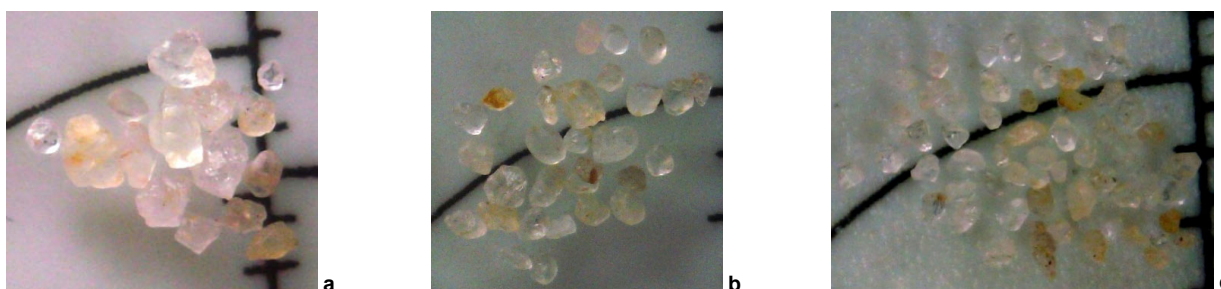


Fig. 10. Morphology of quartz grains:
a – 1–2 mm fraction, b – 0.5–1 mm fraction, c – 0.25–0.5 mm fraction

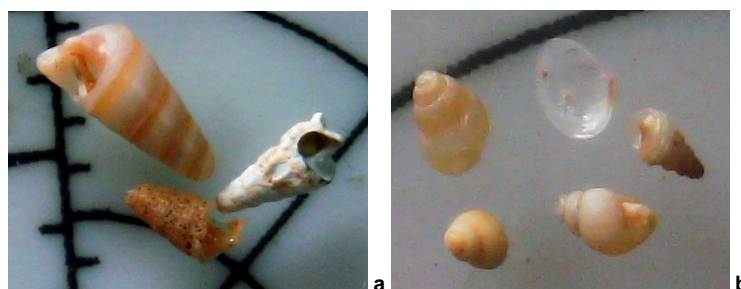


Fig. 11. Whole shells of gastropods and molluscs:
a – fraction 2–3 mm, b – fraction 0.5–1 mm

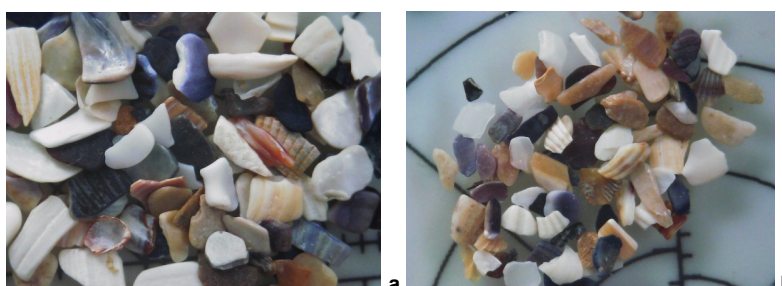


Fig. 12. General view of detritus:
a – 2–3 mm fraction, b – 1–2 mm fraction

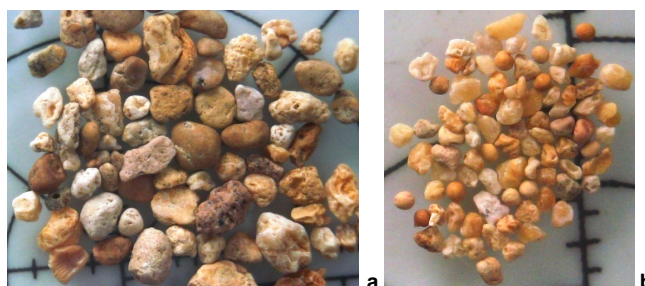


Fig. 13. Carbonate formations (fragments of limestone, calcite crystals, oolites):
a – 2–3 mm fraction, b – 0.5–1 mm fraction

Secondary and accessory minerals are represented by garnets, ilmenite, mica (phlogopite, muscovite), staurolite, magnetite, glauconite, tourmaline, and feldspars.

Among garnets, almandine and transitional varieties between almandine and spessartine as well as almandine and pyrope have been identified. They are found in fine-grained fractions, but are mostly present in the 0.1–0.25 mm fraction. Almandine grains are more frequent and found in all observation points. They are recorded in minimal quantities within the Odesa agglomeration and are practically absent in places where limestone deposits outcrop into the coastal zone. The garnet grains are semi-coated, corroded, but mostly with a shiny surface (Fig. 14).

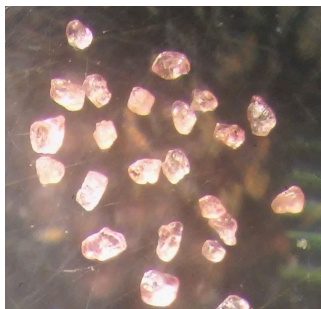


Fig. 14. Almandine grains, fraction 0.1–0.25 mm

Ilmenite occurs in fractions together with garnets and has a correlation with them. However, its content is 2–3 times lower than that of garnets. In the samples, ilmenite is rolled, not transparent with a shiny surface (Fig. 15). The chemical composition of ilmenite is given in Table 1.

Glauconite occurs in all points of observation as single grains of 0.1–0.25 mm fraction. Its aggregates are well rolled, oval and flattened-oval in shape. The colour is light green (Fig. 16). It should be noted that this mineral is absent in the samples of the Danube-Dniester segment.

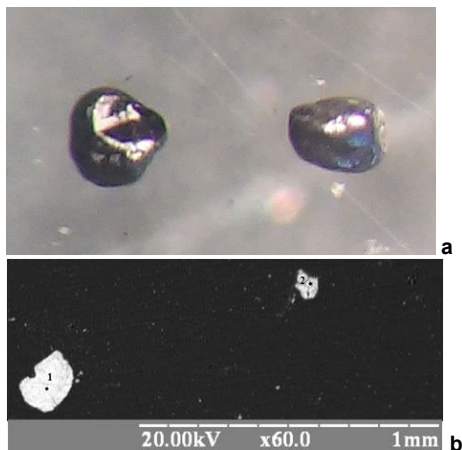


Fig. 15. Ilmenite grains:

a – binocular; b – electron microscope

Table 1
Chemical composition of ilmenite

Sample	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	Total
1	73.46	0.28	0.41	0.77	25.07	100.00
2	82.60	0.85	0.17	0.13	16.25	100.00



Fig. 16. Glauconite grains, fraction 0.1–0.25 mm

Tourmaline was found in single grains in the Kobleve-Rybakivka beach area (Mykolaiv oblast) in a fraction of less than 0.25 mm. It is a weakly short-prismatic, well-cut crystal with a characteristic vertical hatching on the faces. There are no traces of rolling. The crystals are transparent, green-brown in colour with various shades (Fig. 17). The chemical composition of individual tourmaline crystals varies, but within the limits corresponding to its varieties (Tab. 2).

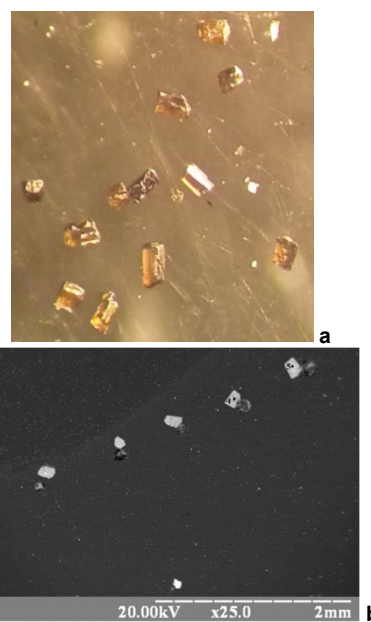


Fig. 17. Tourmaline crystals:

a – binocular, fraction 0.1–0.25 mm; b – electron microscope

Table 2
Chemical composition of tourmaline crystals

Sample	TiO ₂	FeO	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Total
3	1.10	9.76	3.38	9.47	34.36	40.32	0.13	1.48	100.00
4	0.86	7.36	2.59	10.01	37.10	41.04	0.05	0.75	100.00
5	1.30	11.92	3.53	9.08	32.61	41.22	0.06	0.17	100.00
9	1.00	6.87	3.05	11.60	32.76	43.40	0.00	1.16	100.00
11	1.17	15.90	3.04	7.60	31.53	40.04	0.08	0.48	100.00

Mica is represented by muscovite and phlogopite laminae, which occur in fractions of 0.25–0.5 and 0.1–0.25 mm. The highest concentration of mica is observed in the 0.1–0.25 mm fraction. Muscovite is widespread throughout all observation points, while phlogopite is found only from the area of Nova Dofinivka (Big Adzhagilskyi estuary) to Rybakivka village (Berezanskyi estuary). Muscovite laminae are transparent, water-transparent, colourless, rounded and phlogopite laminae are translucent, brown in different shades (Fig. 18).

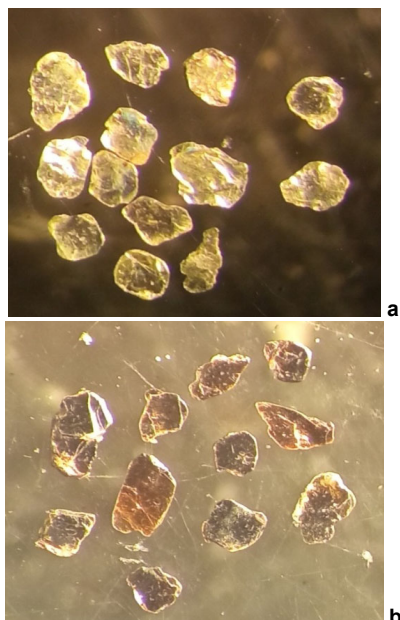


Fig. 18. Mica grains:

a – muscovite; b – phlogopite, 0.25–0.5 mm fraction

Feldspar occurs as rounded, opaque or translucent, more or less prismatic grains of grey-yellow, yellow-brown colour. Its total content is much lower than in the Danube-Dniester sediments and averages about 1.5 % of the total light fraction. Its distribution by size is not regular, but there

is still a correlation with quartz, which is concentrated in fractions of less than 0.25 mm.

Staurolite occurs together with garnet and ilmenite in fractions of 0.1–0.25 mm. Its grains are transparent, almost not rolled, and have a yellow-brown colour of various shades (Fig. 19). Some of its grains contain micro-inclusions of ilmenite and magnetite. The chemical composition of staurolite is given in Table 3.

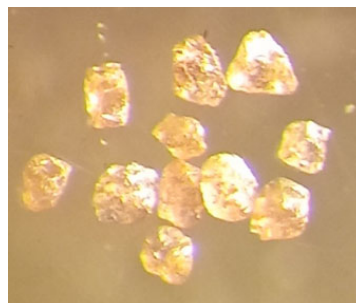


Fig. 19. Staurolite grains under the binocular, fraction 0.1–0.25 mm

Magnetite occurs sporadically in fractions of less than 0.25 mm together with garnets. Its grains have a moderately rolled shape with a rough surface. Some grains have remnants of facets with a shiny surface. The colour is black, resinous black. In contrast to the Danube-Dniester segment magnetite, it has a fresh, non-oxidised character (Fig. 20).

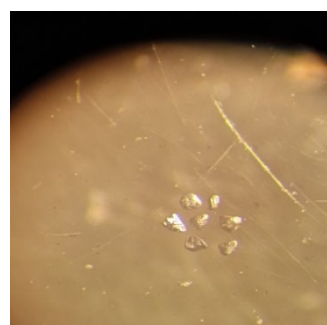


Fig. 20. Magnetite grains under a binocular, fraction 0.1–0.25 mm

Chemical composition of staurolite

Sample	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	FeO	MnO	Total
3	0.42	3.78	50.27	26.73	0.54	17.84	0.41	100
4	0.84	4.29	49.97	26.95	0.6	16.74	0.61	100
5	0.57	3.01	50.92	26.12	0.58	18.35	0.44	100
6	0.63	4.13	50.04	28.06	0.62	16.27	0.24	100
7	0.72	3.69	50.19	26.91	0.73	17.67	0.09	100

Table 3

Technogenic formations. Technogenic formations are represented by glass, glass balls, iron spheroids, shapeless metal alloys, and slag.

Glass fragments are irregularly shaped, prismatic-elongated, lamellar aggregates and balls (Fig. 21). They come in a wide range of colours: green, brown, black, yellow, blue, etc., and are mostly transparent. Dark-coloured and black ones are translucent and opaque. Their chemical composition is also not homogeneous, and they often exhibit magnetic properties. They contain the following elements in different proportions: Al, Si, Fe, K, Ti, Ca, Na (Tab. 4). The highest concentrations of glass and glass beads are recorded in the beach sediments of the Odesa industrial

agglomeration, where they are found mainly in medium- and fine-grained psamites of 0.25–0.5 and 0.1–0.25 mm and make up up to 15 % of their total fractional content.

The iron spheroids are found in fractions of 0.1–0.5 mm. They are of different sizes, spherical in shape with a smooth, shiny and rough surface (Fig. 22). The main component is iron (81.3–96.3 %). The constant impurity components in different proportions are: Si, Al, Mg. Less frequently, Na, Ca, Cu, Zn, Mn are present in them (Tab. 5). Ferrous spheroids in single specimens are present in almost all the samples studied, but their highest concentrations are typical for the beaches of Luzanivka and Odesa agglomeration.

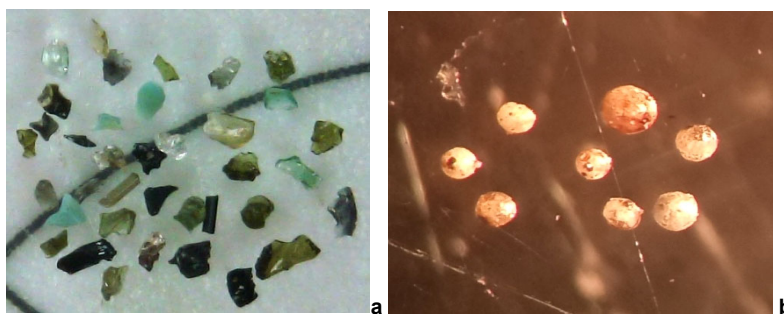


Fig. 21. Glass fragments of different colours, fraction 0.25–0.5 mm (a); glass beads (b), fraction 0.1–0.25 mm

Table 4

Chemical composition of glass beads

Sample	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	MgO	Total
1	0,00	18,51	45,13	2,60	1,45	0,83	31,49	0,00	100,00
2	0,31	6,32	84,21	1,69	0,72	0,40	6,34	0,00	100,00
3	0,00	23,84	54,96	3,34	4,04	0,60	13,23	0,00	100,00
4	0,00	52,57	41,51	2,02	0,81	0,68	2,42	0,00	100,00
5	0,00	27,60	55,53	3,59	7,81	0,82	4,65	0,00	100,00
6	0,00	27,78	59,85	4,61	2,71	1,36	3,69	0,00	100,00
7	1,09	16,12	73,38	6,18	0,96	0,66	1,61	0,00	100,00
8	0,00	29,18	54,19	4,52	4,41	1,01	6,68	0,00	100,00
9	0,00	30,31	59,23	4,79	0,14	1,17	4,17	0,00	100,00
10	8,10	22,92	64,71	0,17	3,22	0,27	0,63	0,00	100,00
11	0,00	18,25	68,00	6,33	1,54	0,51	5,37	0,00	100,00
12	0,00	25,64	64,44	5,25	0,20	1,19	3,30	0,00	100,00
18	0,50	27,58	57,73	4,31	7,00	0,00	0,82	2,04	100,00
19	0,00	30,52	56,65	5,94	0,82	0,58	4,25	1,25	100,00
20	0,00	22,42	39,37	0,58	26,36	0,95	8,84	1,47	100,00
21	0,00	14,69	60,19	1,90	7,48	1,41	10,54	3,79	100,00
22	0,00	29,12	54,53	4,78	1,02	1,46	6,63	2,47	100,00

Notes: 1–4 – black opaque; 5–8 – brown translucent; 9–12 – white opaque; 18–22 – colourless transparent.

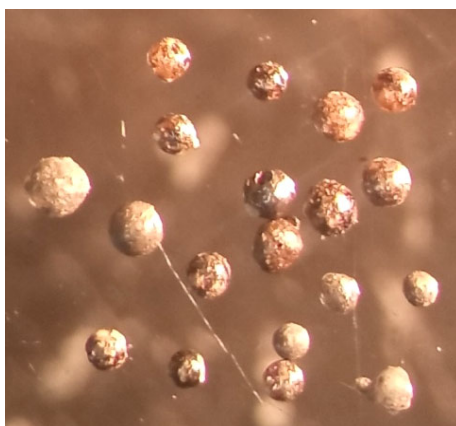


Fig. 22. Iron spheroids, fraction 0.1–0.25 mm

Table 5

Chemical composition of iron spheroids

Sample	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	MnO	FeO	CaO	Cu ₂ O	ZnO	Total
1	1,76	0,4	0,33	0,56	2,56	3,11	83,31	0,57	4,29	3,12	100
2	–	0,44	0,26	1,58	–	–	97,73	–	–	–	100
3	–	–	0,61	1,75	1,32	–	96,32	–	–	–	100

Metal alloys. They are metal-like aggregates of acute-angled, lamellar, bizarre shape. Opaque, often covered with a yellow-brown oxidised film on top. On fresh fractures, they have a metallic lustre with a coloured shine (Fig. 23). They have magnetic properties. They were found in all observation points in fractions of 0.25–0.5 and 0.1–0.25 mm, but their highest content is recorded in the area from Chornomorsk to Rybakivka village. Here they make up the

medium-grained fraction and reach a concentration of up to 95 %. The chemical composition of these aggregates is given in Table 6.

Slag in single irregularly shaped fragments was found in beach sediments in the area from Odesa to Rybakivka. It is a light porous aggregate, black, black-brown in colour, magnetic. It is concentrated in fractions of 0.25–0.5 and 0.1–0.25 mm.

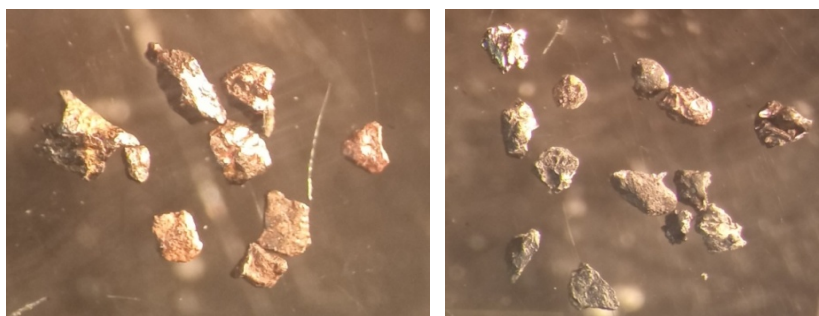


Fig. 23. Metal alloys, fraction 0.25–0.5 mm

Table 6

Chemical composition of iron alloys

Sample	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	Total
1	1,4	2,12	5,31	11,62	79,55	100
2	0	0,52	1,6	3,99	93,89	100
3	0	0	0,81	2,77	96,42	100

Conclusions

• Beach sediments in this segment are formed mainly by coastal abrasion. A small part is supplied by benches and longshore transport. Beach sediment material in the Odesa agglomeration area is also replenished by artificial filling. The input of material by river runoff is minimal. The Dniester River, given its direction along the coastal course, discharges on the beaches below the Dniester estuary towards the River Danube, while The Dnipro River discharges into the Dnipro estuary, which is semi-isolated. Smaller rivers such as Serednyi and Velykyi Kuyalnyk and the Tiligul River are completely regulated by estuaries and embankments. The influence of the Berezan River is local.

• The particle size distribution of beach sediments in the study area, unlike the Danube-Dniester segment, is characterised by considerable variability. There are several contrasting areas with a predominance of certain fractions, which is explained by changes in the lithological composition of the shoreline rocks and the peculiarities of sea wave dynamics in local areas. However, in general, there is a gradual increase in the grain size of the material and a decrease in its sorting in the direction from Chornomorsk to Kobleve. The beach sediments of the Odesa agglomeration do not have such a pattern, as they are regularly replenished with artificially produced sandy material from the shelf zone sediments. These sediments are well sorted and dominated by fractions smaller than 0.25 mm.

• The beach sediments of the Dniester-Dnipro segment are generally almost devoid of pelitic fractions. Their content is less than 0.5 %, which indicates a rather active hydrodynamics of the coastal zone. Pelites are washed out of the beach sediments by wave processes and are transported beyond their influence.

• The general trend in the distribution and content of the main rock-forming components of beach sediments in the studied coastal segment, except for the Kryzhanivka-Kobleve area, generally coincides with the Danube-Dniester. The main mineral of the light fraction is quartz, which makes up more than 87%. The heavy fraction includes garnets, ilmenite, magnetite, and staurolite. At the Kryzhanivka-Kobleve area, the main rock-forming mineral of the light fraction is calcite. In the Kobleve-Rybakivka area, tourmaline also appears in the heavy fraction. The occurrence of tourmaline indicates that the material was brought to this site from the land by the Berezan, Pivdennyi Buh and Dnipro rivers.

• In the beach sediments of the Odesa agglomeration, iron spheroids and glass balls of man-made origin are of

significant importance in the heavy fraction. The bulk of them is concentrated in the fraction of less than 0.25 mm. Its content gradually decreases to single digits from Odesa towards the Dniester and Dnipro rivers.

• The results obtained can be used to build a genetic model of modern beach sediments and to calculate quantitative indicators of the accumulation of certain mineral components that accumulate on beaches and are transported to other areas of the shelf.

• In general, the content of anthropogenic material in the beach sediments of the studied segment averages 0.1–0.12 % of the total sample weight. However, it increases significantly (up to 0.23 %) in the area of the port of Odesa and adjacent areas.

• The contamination of beach sediments with anthropogenic material, the size of the components of which is much larger than the bulk of the sediments, is significant. This primarily concerns plastic, construction material, wood fragments, metal objects, fabric, etc.

References

- Andrusov, N.I. (1890). Preliminary report on participation in the Black Sea deep-sea expedition. *News of the Russian Geographical Society*, 26(2), 380–409 [In Russian].
- Andrusov, N.I. (1927). Paleogeography of the Black Sea coast. *Nature*, 6 [in Russian].
- Arkhangelsky, A.D., Strakhov, V.M. (1938). *Geological structure and development history of the Black Sea*. USSR Academy of sciences [in Russian].
- Barkovskaya M.G. (1960). Regularities in the distribution of heavy minerals on the beach and shelf of the Soviet coast of the Black Sea. Riga. *Proceedings of the Institute of Geology of the Latvian SSR*, 71–82 [in Russian].
- Barkovskaya, M.G. (1963). Some regularities of formation in water bodies of industrial concentrations of heavy minerals. *Geology of ore deposits*, 1, 50–64 [in Russian].
- Berkun, M., & Aras, E. (2012). River sediment transport and coastal erosion in the Southeastern Black Sea Rivers. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60, 299–308.
- Dimitrov, P., Solakov, D., Peychev, V., Dimitrov, D. (2002). The source provinces in the Black Sea. *Oceanology*, 5, 29–35.
- Fedoronchuk, N.A., Snigireva, A.A., Suchkov, I.A. (2015). Granulometric composition of Odesa beach sands, its change as a result of artificial beach reclamation and impact on biota. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences*, 8, 173–180 [in Ukrainian].
- Gevorkyan, V.X., Pavlov, A.V., Mitin, L.I. et al. (1981). Submarine investigations of the Calamite nodule field by means of a deep-water apparatus. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Ser. B*, 1, 6–9 [in Russian].
- Kiknadze, A.G., Sakvarelidze, V.V., Peshkov, V.M., Russo, G.E. (1990). Beach-Forming Process Management of the Georgian Black Sea Coast. *Journal of Coastal Research*, 6, 33–44. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/44779882>
- Lomakin, I.E., Sarvirov, E.A., Kochelab, V.V. (2022). Tectonic Factors of the Formation of Coastal Zones of the Near-Black Sea Coastal Zone. *Geology*

and Geodynamics of the World Ocean, 18(4), 29–40. <https://doi.org/10.15407/gpimo2022.04.029> [in Ukrainian]

Mitropolsky, A. Y., Moiseeva, Y.Y. (1975). On the concentration of trace elements from sea water with the help of chelate ion exchangers. *Problems of Hydrogeology and Engineering Soil Science*, 4, 171–175 [in Russian].

Nevesky, E.Y. (1967). *Sedimentation processes in the coastal zone of the sea*. Nauka. [in Russian].

Nesterovskiy, V.A., Deiak, M.A., Tarnovetsky, A.K. (2022). Lithological and mineralogical composition of the acoustic and beach deposits of the Danube-Dniestrovsky segment of the Black Sea. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(97), 5–13. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.97.01> [in Ukrainian].

Nesterovskiy, V., Tarnovetsky, A., Deiak, M. (2022). Approaches to the creation of an algorithm for building a genetic beach sediments model of the North-Western part of the Black Sea. *16th International Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, Nov. 2022, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580202> [in Ukrainian].

Novikova, Z.T. (1973). Characteristic features and dynamics of formation of terrigenous and mineralogical provinces of the northwest Black Sea. *Oceanology*, 13(2), 297–302 [in Russian].

Shnyukov, E.F., Inozemtsev, Y.I., Lyalko, V.I. et al. (1983). Geology of the shelf of the USSR. Solid minerals. Naukova dumka [in Russian].

Shnyukov, E.F., Ogorodnikov, V.I., Inozemtsev, Y.I., Frantseva, I.A. (1981). Terrigenous-mineralogical zoning of modern sediments of the Black Sea shelf of the Ukrainian SSR. *Report of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Ser. B*, 1, 42–45 [in Russian].

Shuisky, Y.D. (1986). *Problems of investigating the balance of sediment in the coastal zone of seas*. Gidrometeoizdat [in Russian].

Shuisky, Y.D., Murkalov, A.B. (2012). Laws of development of natural reclined single-slope beaches on abrasion shores of the Black Sea. *Journal of Odessa National University: Geography and Geology*, 17(3), 8–31 [in Russian].

Shuisky, Y.D., Organ, L.V. (2017). Main regularities of development along the coastal sediment flow in the coastal zone of the Black Sea. *Austrian science*, 6, 4–8 [in Russian].

Strakhov, N.M. (1956). To the knowledge of diagenesis. *Lviv University*, 3/4, 7–26 [in Russian].

Strakhov, N.M. (1965). Types of accumulations of manganese in modern water bodies and their importance for knowledge of manganese-ore process. *Lithology and minerals*, 4 [in Russian].

Yurk, Y.Y., Kashkarov, I.F., Polkanov, Y.A., Eremenko, G.K., Yalovenko, I.P. (1973). *Diamonds of sandy sediments of Ukraine*. Naukova dumka [in Russian].

Zelinskyl, P., Korjnevsky, B.A., Cherkez, E.A., Shatokhina, L.N., Ibragimzadeh, D.D., Tsokalo, N.S. (1993). *Landslides of the Northwest Coast of the Black Sea*. Naukova dumka [in Russian].

Tătu, F., Pîrvan, M., Popa, M., Aydogan, B., Ayat, B., Görmüş, T., Korzinin, D., Văidianu, N., Vespremeanu-Stroe, A., Zăinescu, F., Kuznetsov, S., Preoteasa, L., Shtremel, M., Saprykina, Y. (2019). The Black Sea coastline erosion: Index-based sensitivity assessment and management-related issues. *Ocean, & Coastal Management*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104949>.

Отримано редакцією журналу / Received: 07.04.23

Прорецензовано / Revised: 24.09.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Віктор НЕСТЕРОВСЬКИЙ, д-р геол. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-7065-8962

e-mail: v.nesterovskiy@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Михайло ДЕЯК, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

ORCID ID: 0000-0002-9330-2766

e-mail: nayk@ukr.net

ДНУ "МорГеоЕкоЦентр НАН України", Київ, Україна

Андрій ТАРНОВЕЦЬКИЙ, асп.

ORCID ID: 0009-0008-4919-6637

e-mail: youketeroamano22@gmail.com

ДНУ "МорГеоЕкоЦентр НАН України", Київ, Україна

ЛІТОЛОГО-МІНЕРАЛОГІЧНИЙ СКЛАД АКУМУЛЯТИВНО-ПЛЯЖЕВИХ ВІДКЛАДІВ ДНІСТРОВСЬКО-ДНІПРОВСЬКОГО СЕГМЕНТУ ЧОРНОГО МОРЯ

Наведено результати досліджень сучасних пляжових відкладів північно-західного узбережжя Чорного моря від с. Кароліно-Бугаз (Одеська область) до с. Рибаківка (Миколаївська область). Протяжність берегової зони сягає близько 110 км. Тут здебільшого розвинуті пляжі присхилового типу різної морфології та ширини.

Проведено гранулометричний і мінералогічний аналізи, встановлено основні закономірності літологічного складу і розподілу мінеральних фракцій уздовж усього профілю. Виділяються декілька контрастних ділянок: 1) с. Кароліно-Бугаз – м. Чорноморськ, де суттєво переважає середньозерниста (0,5–0,25 мм) фракція – (67 %). У відкладах цієї ділянки основним мінералом усіх фракцій є кварц (90 %). З важких мінералів домінують гранат, ільменіт, магнетит. 2) м. Чорноморськ – мис Великий Фонтан і Ланжерон (Одеська обл.) – Коблево (Миколаївська обл.) із суттєвим вмістом грубозернистої псамітової (2–1 мм) – 29 % і гравійної (2–5 мм) – 16 % фракцій. Головними мінералами тут у всіх фракціях є кварц та кальцит. 3) мис Великий Фонтан – Ланжерон характеризується мінливим гранулометричним складом, основна маса представлена фракціями 0,25–0,5 мм та 0,25–0,1 мм, які на різних пляжах мають різні співвідношення. Домінує в усіх фракціях кварц, у підпорядкованій кількості є кальцитовий детрит. Важкі мінерали представлені поодинокими зернами гранату, ільменіту, магнетиту, ставроліту. 4) м. Коблево – с. Рибаківка (Миколаївська обл.) зі зростанням вмісту фракцій 0,25–0,1 мм (до 42 %). Основним мінералом усіх фракцій є кварц до 87 %. Другорядним компонентом є кальцитовий детрит. Помітною домішкою у дрібнозернистих фракціях є біотит, мусковіт, турмалін. На деяких пляжах, що розташовані неподалік від морського порту Одеси, у фракціях, менших за 0,5 мм, встановлено численні скляні кулеподібні агрегати різного складу та залізисті сфероїди. У місцях концентрації таких утворень колір пляжових відкладів стає сірим.

Основним фактором формування мінерального і гранулометричного складу пляжових відкладів Дністровсько-Дніпровського сегменту узбережжя є берегова абразія. Роль теригеного привносу із суходолу мінімальна і проявляється лише в північній частині (район Березанської затоки). Суттєвий вплив на формування речовинного і фракційного складу оказують періодичні штучні намети пісків (пляжева зона Одеської агломерації), укріплення схилів бетонними блоками, нагромадженням брил магматичних і метаморфічних порід переважно гранітоїдного складу, хвирелізи та інші споруди, що змінюють напрямок та вплив уздовж берегових течій.

Ключові слова: Чорне море, Дністровсько-Дніпровський сегмент, літолого-мінералогічний склад, пляжеві відклади.

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.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.048

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.08>

Володимир МИХАЙЛОВ¹, д-р геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-1837-9739
e-mail: vladvam@gmail.com

Іван ВІРШИЛО¹, канд. геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-1285-5308
e-mail: ivirshylo@gmail.com

Василь ЗАГНІТКО¹, д-р геол.-мінералог. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-1837-9739
e-mail: zagnitkow@i.ua

Дмитро КРАВЧЕНКО¹, канд. геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0001-6312-819X
e-mail: dm.vl.kravchenko@gmail.com

Олександр ДУБИНА¹, д-р геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-6003-4873
e-mail: dubyna_a@ukr.net

Віталій СУКАЧ², д-р геол. наук, ст. дослідник
ORCID ID: 0000-0002-4710-7230
e-mail: svital@ukr.net

Сергій ЧУЛКОВ³,
ORCID ID: 0009-0000-7109-7872
e-mail: chulkow@gmail.com

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна

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

ЗОЛОТОРУДНИЙ РАЙОН ТІЖІРІТ У МАВРИТАНІЇ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Обґрунтовано виділення нового золоторудного району в Республіці Мавританія – Tijirit, який пов'язаний із зеленокам'яним поясом (ЗКП) Sebket Nich субмеридіонального простягання. Він розташований у 25–30 км на схід від ЗКП Reguibat, де відомо велике родовище золота Tasiast. Збіг структурної позиції цих двох об'єктів і прямі ознаки золоторудної мінералізації на території рудного району Tijirit у вигляді контрастних літохімічних аномалій золота, штучних і борозенних проб з підвищеним вмістом золота дають змогу високо оцінити перспективи його золоторудної мінералізації. У рудному районі виділено чотири рудоносні зони субмеридіонального до північно-північно-східного простягання, в межах яких встановлено ряд проявів золота: Sophie-I, II, III, Lily, Eleonore, Eleonore East, Salma. Вони збігаються з ослабленими зонами того ж напрямку, зазвичай приурочені до контактів гірських порід різного складу (метабазальтів, метабазитів, смугастих залізистих формацій, гранітів), виділяються на космічних знімках, у геофізичних полях, контролюють розміщення зон мінералізації. Із цих зон найбільший інтерес для подальших геологорозвідувальних робіт становить відносно слабо вивчена зона мінералізації Eastern, яка приурочена до контакту гранітів Salma і метабазитів східного крила ЗКП Sebket Nich. З нею пов'язані прояви золота Eleonore East і Salma, численні літохімічні аномалії, штучні, борозенні і кернові проби з підвищеним вмістом золота (до 42–100 г/т). Саме в межах цієї зони рекомендується зосередити подальші геологорозвідувальні роботи. Цілий ряд родовищ золота України (Сергіївське, Балка Широка, Балка Золота, Суразьке) також приурочені до мезоархейських зеленокам'яних структур Українського щита. Сподіваємося, що досвід вивчення золоторудних об'єктів Західної Африки допоможе проведенню об'єктивної оцінки золоторудних об'єктів України.

Ключові слова: золоторудний район, зеленокам'яний пояс, вміст золота, метабазити, смугасті залізисті формації, граніти.

Постановка проблеми. Однією із нерозв'язаних проблем оцінки мінерально-сировинної бази (МСБ) України є проблема оцінки її золоторудного потенціалу. Справа в тім, що ще в 90-ті роки минулого століття в Україні було відкрито цілий ряд перспективних щодо золотого зруденіння об'єктів (родовища Сергіївське, Майське, Клишівське, Сауляк та ін.), але жоден з них так і не отримав остаточної оцінки. Нині здійснюються певні кроки для розв'язання цієї проблеми, зокрема, Держгеонадра 23.12.2020 р. вже провело аукціон, на який, разом з іншими, було виставлено Жовтоводську ділянку руд золота. Інші перспективні площі чекають свого часу. Зрозуміло, що для об'єктивної оцінки золоторудних площ України дуже корисним є світовий досвід пошуків і оцінки

подібних об'єктів. Одним з регіонів світу, де такі роботи проводяться, є Ісламська Республіка Мавританія. Останнім часом тут виявлено кілька родовищ золота, найбільшим з яких є Tasiast на північному заході країни, де у 2018 р. було добуто 8,6 т золота. Це родовище пов'язане із зеленокам'яним поясом (ЗКП) Reguibat мезоархею північно-північно-східного до субмеридіонального простягання. Золоторудний район Tijirit розташований у межах аналогічного ЗКП в 25–30 км на схід від попереднього. Збіг структурної позиції і наявність ознак золотого зруденіння в ЗКП Sebket Nich, до якого приурочений рудний район Tijirit, надають можливість високо оцінювати його золоторудний потенціал і розглядати як перспективний золоторудний район.

© Михайлов Володимир, Віршило Іван, Загнітко Василь, Кравченко Дмитро, Дубина Олександр, Сукач Віталій, Чулков Сергій, 2023

Аналіз попередніх досліджень. На площі золоторудного району Tijirit відомі численні старательські розробки золота, виявлено й досліджено цілий ряд перспективних ділянок і об'єктів: Sophie, Salma, Eleonore, Lily, New Veins, Southern Target. Ці роботи проведені переважно фахівцями золотодобувних компаній Algold, Ausenco, Aura Energy Limited, їх результати віддзеркалені у науково-виробничих звітах цих компаній (Algold: 2018, н.д.; Algold to File, н.д.; BGS, 2004¹, 2004²; Bolster, 2011; Ciesielski, 2015; Davies, 2012; Gold, Base..., 2019; SGS, 2016, 2017¹, 2017², 2018; Strong results for Algold..., н.д; Zwirz et al., 2018). Всього на площі цього району пробурено 721 свердловина (загальний об'єм буріння становив 91 043 погонних метри), пройдено 265 траншей, відібрано і проаналізовано 76 297 проб (літохімічних, штуфних, борозенних, кернових). Тут встановлено 220 об'єктів мінералізації, виявлено перспективні ділянки, зокрема Sophie, Eleonore, Lily та ін., де вміст золота сягає у середньому від 2,7 до 3,0 г/т. Щодо трьох названих ділянок були підраховані передбачувані, обчислені та виміряні ресурси (Inferred, Indicated, Measured, Resources).

Виділення невиіршених частин загальної проблеми. У наявній науковій геологічній літературі відсутня загальна характеристика рудного району Tijirit, його структури і особливостей просторового розміщення зон мінералізації, не визначені фактори і критерії золотого зруденіння і напрямки майбутніх геологорозвідувальних робіт (ГРП).

Формулювання цілей статті. Головним завданням статті є визначення факторів і критеріїв золотого

зруденіння, просторового розміщення зон мінералізації, визначення напрямків подальших ГРП. Стаття базується як на архівних матеріалах золотодобувних компаній, так і на власних матеріалах авторів, які у 2018 і 2022 рр. проводили геологорозвідувальні роботи на південних флангах району Tijirit (Virshylo et al., 2021).

Виклад основного матеріалу. Золоторудний район Tijirit розташований у північно-західній частині Мавританії, у 260 км на північ від столиці країни м. Нуакшот, та в південно-західній частині Перібатського кратону, у 25–30 км на схід від родовища Tasiast. Він включає дві концесії на видобування корисних копалин: 2480C2 площею 306 км² і 1117B2 площею 460 км². Таким чином, загальна площа території ділянки перевищує 760 км², що співрозмірно площі відомих світових рудних районів.

Кратон складений глибокометаморфізованими породами мезоархею (гнейси, гранітогнейси, амфіболіти, мігматити, граніти), з віком 3,1–2,9 млрд р., на які в цій частині кратону накладена серія зеленокам'яних поясів субмеридіонального і північно-північно-східного простягання, складених серією вулканогенно-осадових порід (базальти, толеїти, грауваки, смугасті залізорудні формації, сланці тощо), метаморфізованих у зеленосланцевий, зрідка в амфіболітовій фації. Вони контролюються серією ослаблених зон того ж простягання, переважно зсувової природи (Key et al., 2008). До таких ЗКП і приурочені родовище золота Tasiast і рудний район Tijirit (рис. 1).

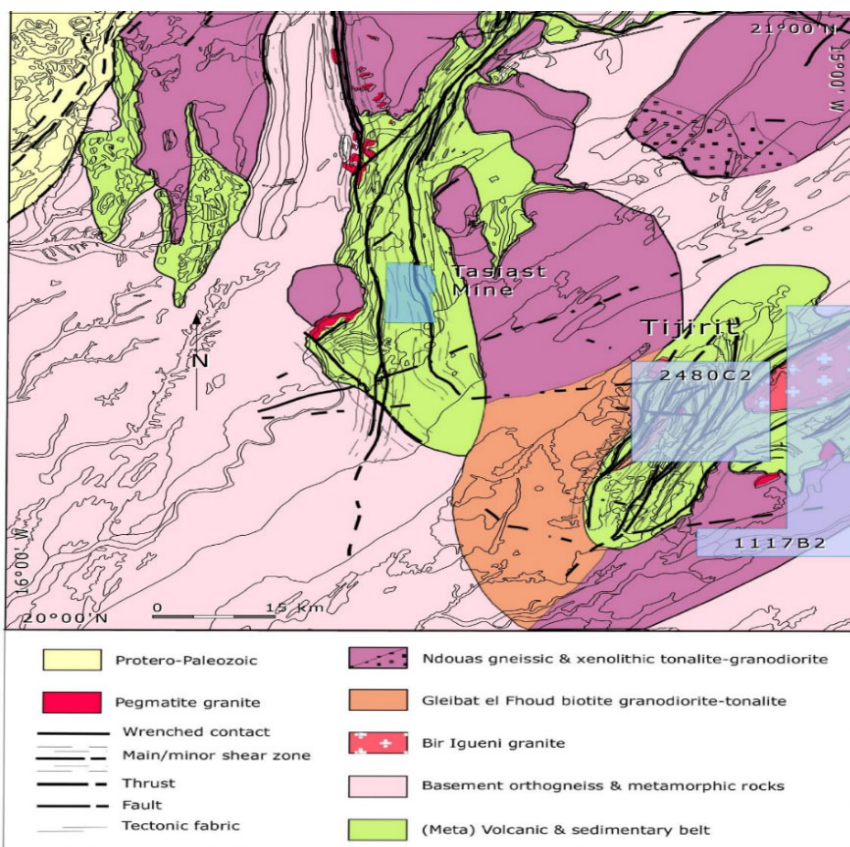


Рис. 1. Структурна схема району родовища Tasiast і ділянки Tijirit (BGS, 2004¹)

Родовище золота Tasiast є найважливішим золоторудним об'єктом Мавританії, розробка якого канадською компанією Red Back Mining Inc. почалася в 2007 р., коли було видобуто 1,6 т золота. У 2018 р. тут було

видобуто вже 8,6 т золота, що поставило копальню у ряд золоторудних об'єктів світового рівня. Рудні тіла родовища приурочені до горизонтів смугастої залізистої формації в межах архейського зеленокам'яного поясу

Reguibat субмеридіонального до північно-північно-східного простягання. Формация складена перешаруванням шарів магнетитових кварцитів, залізистих пісковиків, кременистих сланців. Зруденілі горизонти залізистої формации складають смуги субмеридіонального простягання завдовжки до 15–30 км, які занурюються у східному напрямку під кутом 55–70°, чергуючись з метатеригенними і метавулканічними породами ЗКП, вкладеного в архейські гнейси кристалічної основи. Зруденіння представлене субмеридіональними тілами магнетитових кварцитів із пластовими покладами вкраплених сульфідних руд завширшки до 25–50 м із вмістом золота до 3 г/т, з лінзами багатих руд завтовшки до 1,5 м із вмістом золота до 100 г/т. Загальні передбачувані та обчислювальні ресурси (Indicated, Measured Resources) руд родовища оцінюються у 74,7 млн т із середнім вмістом золота 1,2 г/т (90,8 т золота), виміряні ресурси (Inferred Resources) – у 120 млн т із середнім вмістом золота 1,9 г/т (231 т золота).

Золоторудний район Tijirit розташований у межах ЗКП Sebkheth Nich, який характеризується північно-північно-східним простяганням. Пояс складений витягнутими у тому ж напрямку смугами основних і ультраосновних вулканічних порід (базальти, толеїти, коматіїти), які перемежаються зі смугами вулканічних порід проміжного і помірно кислого складу (андезити, дацити, зрідка ріоліти) і метаосадових порід, у тому числі смугастих

залізистих формацій. Контакти товщ зазвичай збігаються з розломами і ослабленими зонами. Вулканогенно-осадовий комплекс на заході контактує з тоналітовими і кварц-польовошпатовими гранітами кристалічної основи, у свою чергу він прорваний інтрузіями гранітів і гранодіоритів, дайками мафічного складу.

Зони мінералізації рудного району Tijirit приурочені до зон сульфідизації і силіцифікації в межах ослаблених зон субмеридіонального до північно-північно-східного простягання, часто розміщених на контактах метайнтрузивних та метаосадових порід, метабазитів і метаосадових утворень, метаосадових порід і смугастих залізорудних формацій. Вони представлені переважно зонами силіцифікації, кварцовими жилами, кварц-карбонатними жилами і штокверками із золоторудною мінералізацією. У районі відомі десятки старательських розробок, які представлені чисельними кар'єрами (розмір до 100 × 700 м, глибина до 40 м), витягнутих переважно згідно з північно-північно-східним простяганням рудних тіл.

У результаті геологорозвідувальних робіт виявлено кілька ділянок концентрації зон мінералізації, основними з яких є (з заходу): Sophie-I, II, Sophie-III, Lily, Eleonore, Eleonore East, Salma (рис. 2). У загальному структурному плані фони формують чотири зони мінералізації субмеридіонального до північно-північно-східного напрямку, згідно із загальною структурою ЗКП Sebkheth Nich.

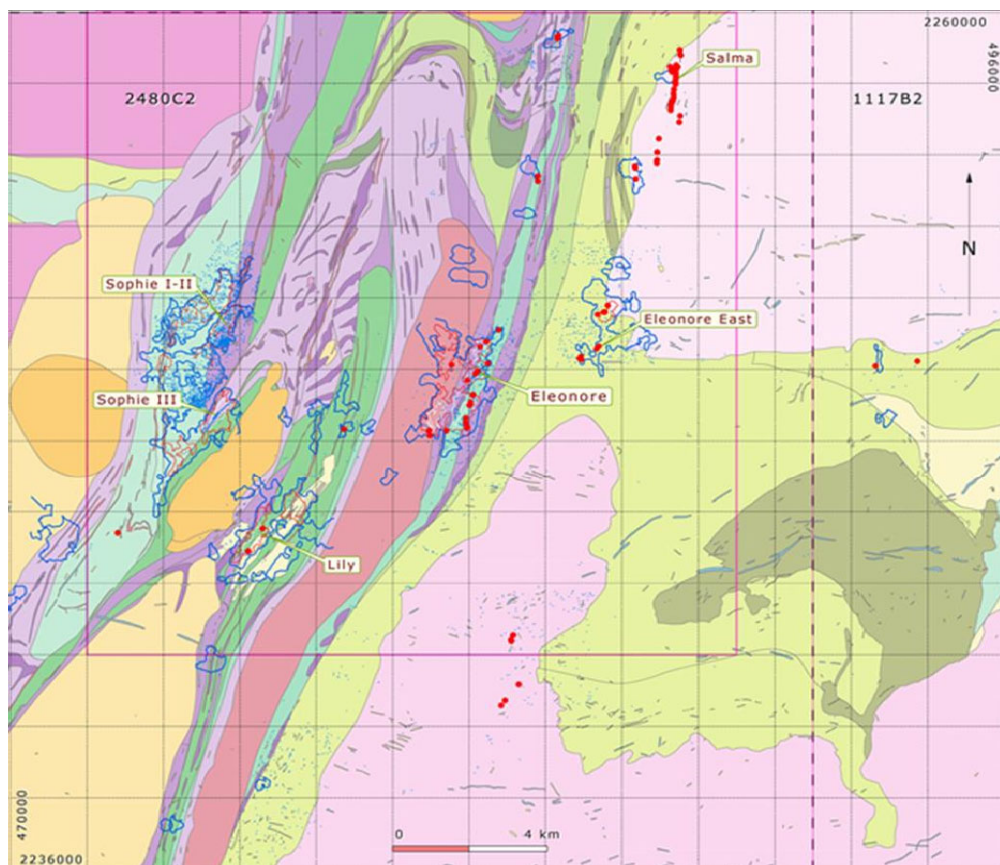


Рис. 2. Контури літохімічних аномалій площі Tijirit із вмістом золота 0,03-0,1 г/т (блакитний колір) та штупні проби із вмістом золота понад 1 г/т (червоні символи) (SGS, 2017)

Зона мінералізації Sophie приурочена до західних флангів ЗКП, її довжина сягає 14 км, ширина до 2 км. У межах цієї зони відомі прояви золота Sophie-I, II, III, пов'язані з кварц-карбонат-сульфідними жилами на контакті між метабазитами і метаосадовими товщами, у

тому числі смугастими залізорудними формаціями. У центральній і північній частині зони виділяється ряд контрастних літохімічних аномалій золота інтенсивністю понад 0,05 г/т (більше 50 ppb), які збігаються з проявами золота Sophie-I, II, III. Однак локальні аномалії золота та

окремі проби з підвищеним вмістом золота (до 1 г/т) встановлені і на північних, і на південних флангах цієї зони, що дає змогу припускати, що золота мінералізація не обмежується контурами відомих ділянок, а має значно більший горизонтальний розмах.

Зона мінералізації Lily розташована на півдні центральної частини ЗКП Sebkhet Nich, її довжина сягає 12 км, ширина до 2 км. До центральної частини зони приурочений прояв золота Lily, з яким збігається ряд контрастних літохімічних аномалій золота інтенсивністю понад 0,05 г/т (50 ppb). Встановлено, що дрібна вкрапленість золота тут приурочена до кварц-карбонатно-сульфідних жил і прожилків у зоні розсланцювання і сульфідизації північно-північно-східного напрямку переважно в метабазитових породах, частково на їх контакті з метаосадовими породами, з імпрегнацією піротину і піриту. Однак літохімічні аномалії та окремі проби з підвищеним вмістом золота (до 1 г/т) відомі і за межами ділянки Lily, на північних і південних флангах зони мінералізації, що дає змогу розширити просторовий розмах перспективної зони.

Зона мінералізації Eleonore розташована на сході центральної частини ЗКП Sebkhet Nich, її довжина сягає 20 км, ширина 1–2 км. У центральній частині зони – ділянка Eleonore, з якою збігаються контрастні літохімічні аномалії золота (0,05–0,1 г/т) і численні штучні проби (11 проб) із вмістом золота 1 г/т і вище. Штучні проби відібрані переважно з кварцових жил, іноді – із зон

силіцифікації по залізо-карбонатних породах. Кварц-карбонатно-сульфідні жили і прожилки із золотою мінералізацією приурочені до субмеридіональних (до північно-північно-східних) зон розсланцювання поблизу контактів товщ метабазальтів і метаосадових порід. На північ і південь зона продовжується у вигляді розрізнених літохімічних аномалій золота і окремих штучних проб з підвищеним вмістом золота. У той же час тільки в одній із пробурених 284 неглибоких (до 6 м) свердловин було встановлено підвищений вміст золота (0,28 г/т). Це можна пояснити невдалим розташуванням бурових профілів, більша частина з яких зосереджена поза межами (на захід і північний захід) від основної зони мінералізації.

Разом з тим підвищений вміст золота встановлений у латеритах кори вивітрювання зони Eleonore, де виділяється п'ять золотоносних ділянок у латеритах, які збігаються з літохімічними аномаліями золота інтенсивністю 0,05–0,1 г/т (50–100 ppb).

У межах цих трьох зон мінералізації, на проявах золота Sophie-I, II, Sophie-III, Lily, Eleonore було пробурено 721 свердловину, загальний об'єм буріння – 91 043 погонних метри. Кількома свердловинами розкриті мінералізовані зони (рудні інтервали), що дало змогу підтвердити перспективність зон мінералізації і конкретних проявів та підрахувати їх передбачувані, обчислені та виміряні ресурси (Inferred, Indicated, Measured Resources). Загальні ресурси цих проявів оцінюються в 818 240 унцій золота, чи 26,307 т золота (табл. 1).

Таблиця 1

Ресурси перспективних проявів (SGS, 2018)

Категорія	Вміст золота, г/т	Об'єм руди, т	Ресурси золота,	
			унції	т
Eleonore				
Indicated	4,08	71 900	94 250	3,030
Inferred	4,07	3 016 000	394 690	12,690
Всього		3 087 900	488 940	15,720
Sophie + Lily				
Measured	0,98	376 000	11 900	0,382
Indicated	0,93	2 122 000	63 300	2,035
Inferred	1,06	7 476 000	254 100	8,170
Всього		9 974 000	329 300	10,587
Всього				
Measured	0,98	376 000	11 900	0,382
Indicated	1,72	2 193 900	157 550	5,065
Inferred	1,92	10 492 000	648 790	20,860
ВСЬОГО		13 061 900	818 240	26,307

Зона мінералізації Eastern субмеридіонального напрямку завдовжки до 10 км, завширшки 0,5–1,0 км приурочена до східного обмеження ЗКП Sebkhet Nich, до його контакту з гранітоїдами Salma, які проривають ЗКП Sebkhet Nich. У південній частині зони відомий прояв Eleonore East, де зони мінералізації приурочені до контактів інтрузії гранітоїдів з метаосадовими породами. На його території виявлено літохімічні аномалії золота і штучні проби з підвищеним вмістом золота. На північних флангах зони мінералізації відомий прояв золота Salma, де золота мінералізація проявлена в серії кварцових жил субмеридіонального простягання, приурочених до зон сульфідизації і метасоматозу на контакті метабазитів і гранітів Salma, вік яких оцінюється в 2933±16 млн р. У межах цієї ділянки відібрано численні штучні проби з підвищеним вмістом золота. Зокрема, в межах Східної зони мінералізації у 225 пробах вміст золота перевищує 1 г/т, а в 38 штучних пробах – 30 г/т (SGS, 2017²).

Отже, структурна позиція відомих ділянок, розташування літохімічних аномалій золота і штучних проб із

підвищеним вмістом золота дає змогу передбачати наявність чотирьох протяжних зон мінералізації субмеридіонального напрямку. Відомі прояви золоторудної мінералізації збігаються з літохімічними аномаліями інтенсивністю від 0,03 до 0,1 г/т (30–100 ppb), у штучних пробах вміст золота часто перевищує 1 г/т (225 проб з відібраних 704 проб), інколи перевищує 30 г/т (38 проб), сягаючи в окремих випадках 102,5 г/т. Основна концентрація проб з підвищеним (понад 1 г/т) вмістом золота приурочена до двох смугоподібних структур субмеридіонального до північно-північно-східного простягання у східній частині рудного поля. Одна з них приурочена до ділянки Eleonore, а друга охоплює ділянки Salma та Eleonore East уздовж контакту інтрузії гранітоїдів. На південь інтенсивність золотої мінералізації знижується.

Описані зони гарно виділяються на космічних знімках (Ikonos і WorldView) у вигляді структурних смуг субмеридіонального до північно-північно-східного простягання, які відповідають ослабленим зонам того ж напрямку чи/і контактам гірських порід різного складу (рис. 3). Вони

збігаються з витягнутими в тому ж напрямку аеромагнітними аномаліями, які, у свою чергу, збігаються з ослабленими зонами, що контролюють розташування зон мінералізації (рис. 4). Подібні структури встановлюються за результатами дипольного профілювання, проведеного на ділянках Sophie-I, II, III, Lily, Eleonore, де виявлено витягнуті в північно-північно-східному напрямку аномалії поляризації, зони високого і низького опору, які відповідають різним за літологічним складом породам, вірогідно – зонам розсіяної сульфідної мінералізації (Davies, 2012).

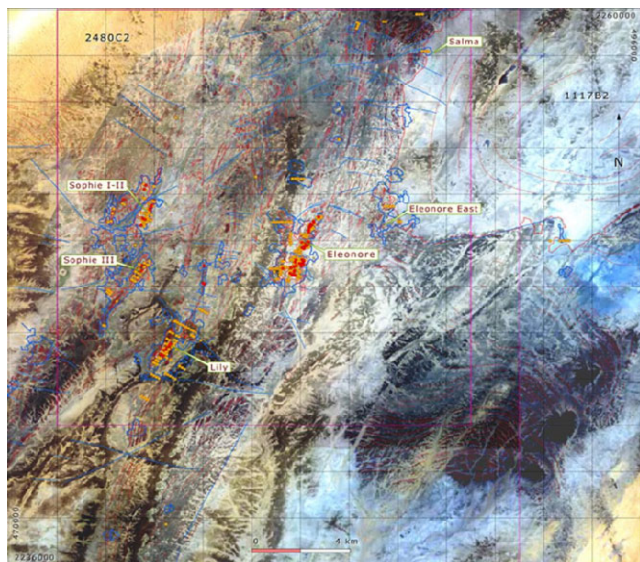


Рис. 3. Структурна інтерпретація космічних знімків району Tijirit з роздільною здатністю 50 см (Davies, 2012)

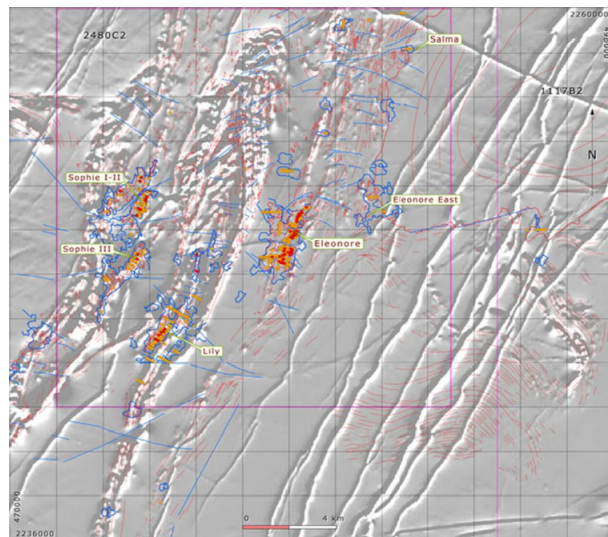


Рис. 4. Схема інтерпретації даних аеромагнітної зйомки з літохімічними аномаліями (Davies, 2012)

Таким чином, вірогідно, що найбільший інтерес становить відносно слабо вивчена зона мінералізації Eastern з численними (225) штуфними пробами з підвищеним (понад 1 г/т) вмістом золота і рядом літохімічних аномалій золота (понад 0,05 г/т). Але жодної оцінки ресурсів цієї зони не було проведено.

Зона приурочена до контакту гранітів Salma і комплексу метабазитів східного крила ЗКП Sebkhet Nich з прошарками серпентинітів, метаандезитів, порфіритів, метапісковиків, смугастих залізистих формацій, прорваних дайками габроїдів і фельзитів (рис. 5).

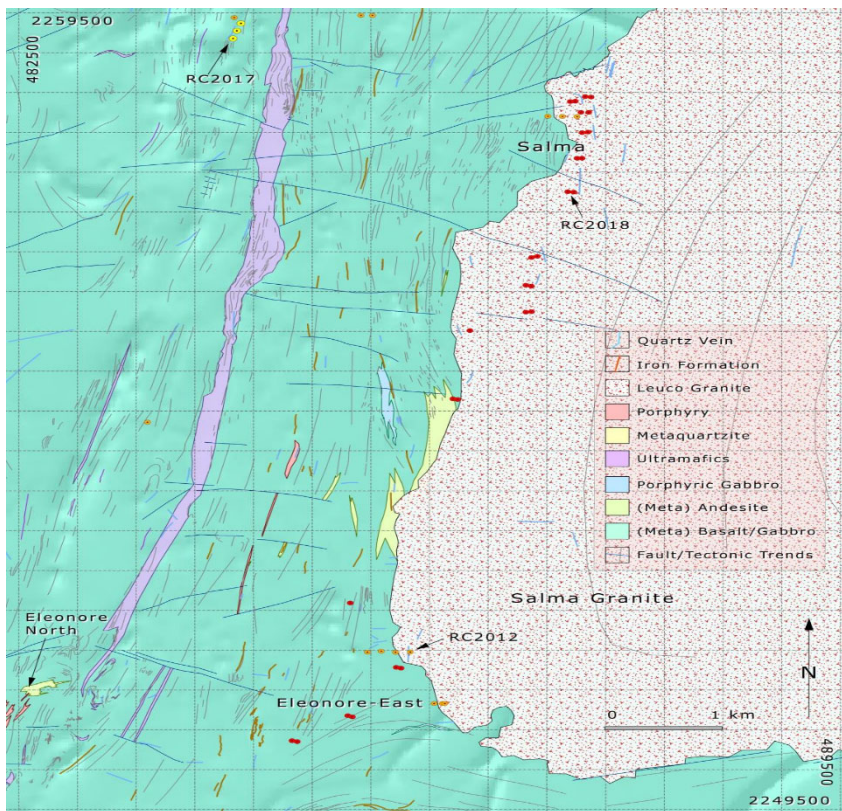


Рис. 5. Схема геологічної будови зони Eastern (Davies, 2012)

Зона орієнтована в субмеридіональному напрямку, вздовж контакту гранітів і метавулканічних порід, для яких також характерна субмеридіональна орієнтація сланцюватості і шаруватості. Зона контакту сильно деформована, часто супроводжується кварцовими жилами і прожилками, зонами каолінізації і лімонітизації. З нею збігаються літохімічні аномалії золота інтенсивністю 0,03–

0,05 г/т (30–50 ppb), штуфні і борозенні проби із вмістом золота понад 1 г/т. Всього відібрано 186 борозенних проб, з них у 34 пробах вміст золота перевищує 1 г/т, інколи сягаючи 42–100 г/т (Strong results..., н.д.). Кількома свердловинами розкриті зони мінералізації з підвищеним вмістом золота (табл. 2). Ці дані раніше не використовувалися для оцінки ресурсів зони мінералізації.

Таблиця 2

Перетини мінералізованих зон у свердловинах (SGS, 2018)

№ св.	Координати		Ділянка	Інтервал		Товщина, м	Вміст Au, г/т
	Довгота	Широта		від	до		
12TRC078	485513	2259467	Nour	0	1	1	0,62
12TRC142	487021	2258199	Salma	168	169	1	11,75
12TRC141	487149	2258198	Salma	165	166	1	2,92
12TRC134	485808	2251476	Eleonore-East	41	45	4	2,07
12TRC135	485674	2251473	Eleonore-East	54	55	1	0,77
12TRC136	485557	2251485	Eleonore-East	47	52	5	0,70
12TRC136	485548	2251485	Eleonore-East	55	71	16	0,74
12TRC137	485436	2251474	Eleonore-East	52	54	2	3,16
12TRC166	486091	2250829	Південний-схід	81	85	4	1,52
12TRC167	486117	2250830	Південний-схід	14	15	1	16,95

З аналізу табл. 2 виходить, що в межах зони мінералізації Eastern свердловинами фрагментарно розкрито ряд рудних зон на протязі хоча б менше 9 км з півночі на південь, де вміст золота на товщину від 1 до 16 м коливається від 0,62 до 16,95 г/т. Враховуючи низький ступінь вивченості зони, можемо припускати її високий рудний потенціал, який як мінімум відповідає прояву Eleonore, тобто за категорією передбачуваних ресурсів (Inferred Resources) може бути оцінений в 15 т золота. Отже, загальні ресурси рудного району можуть сягати 40 т золота, що зумовлює його перспективність і необхідність подальшого проведення геологорозвідувальних робіт, які доцільно сконцентрувати в межах зони мінералізації Eastern, як найбільш перспективної структури рудного району.

Авторами проведені польові дослідження на південних флангах двох меридіональних структур, у зоні їх зчленування і виклинювання зеленокам'яної структури. Встановлені зони карбонатної метасоматизації, що відповідають підвищеним значенням літо-геохімічних аналізів. Простягання зон зруденіння добре корелюється з геофізичними аномаліями (горизонтальний і вертикальний

градієнти магнітного поля, гамма-спектрометрія урану та торію). На локальному рівні деталізаційними магнітними дослідженнями встановлена наявність зсувних порушень північно-західного простягання, що створювали сприятливі канали для вертикальної міграції гідротермальних розчинів. У просторовому відношенні виділені два окремих патерни позитивних аномалій магнітного поля, що відповідають найбільшим геохімічним аномаліям і підтверджуються наявними даними буріння або старательськими розробками. Перший тип містить широкосмугові (подекуди знакозмінні аномалії) північно-західного або меридіонального простягання (січного до загального північно-східного архейського структурного плану). Найчастіше аномалії корелюється з наявністю залізистих кварцитів. За простяганням структури схожі на протерозойський террейн, що фіксується в 30–40 км на захід від досліджуваного району (рис. 6). Другий тип є згідним з архейським структурним планом і представлений вузькосмуговими позитивними аномаліями, що відповідають мінімальним значенням спектрометрії урану (нижче 5 ppm) (рис. 7).

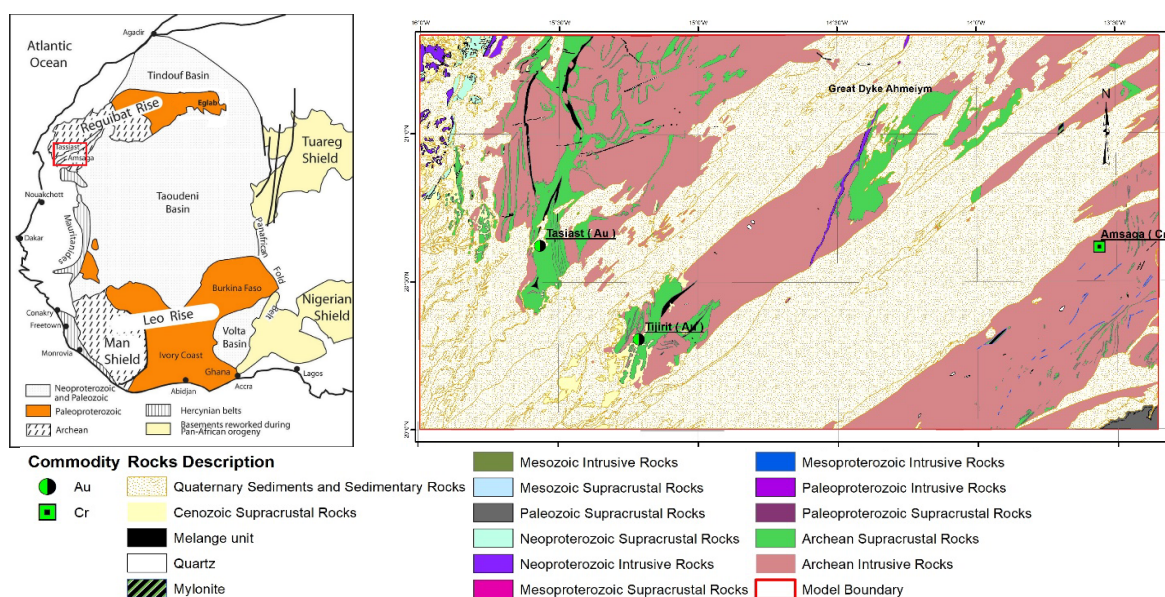


Рис. 6. Схематичне розташування досліджуваної території (змінено за Potrel et al., 1998) та узагальнена геологічна карта досліджуваної території (Second..., 2013; Goldfarb et al., 2015). Найзначніші родовища показані умовними позначеннями

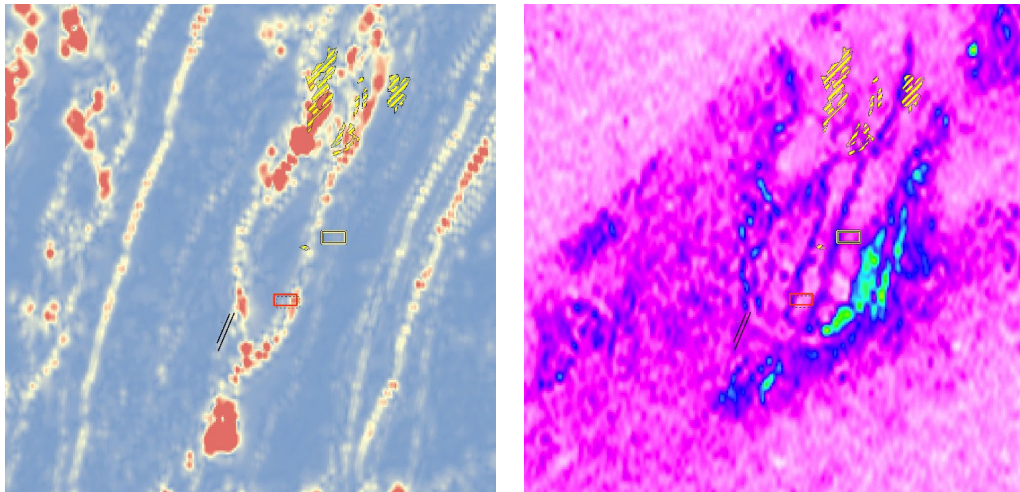


Рис. 7. Схематичне розташування ділянок дослідження на схемах магнітного поля (аналітичний сигнал) та аероспектрометрії урану. Жовтими штрихованими областями показані головні літогеохімічні аномалії золота

Висновки

1. Обґрунтовано виділення нового золоторудного району в Республіці Мавританія – Tijirit, який пов'язаний із зеленокам'яним поясом Sebkhet Nich субмеридіонального простягання, розташований в 25–30 км на схід від ЗКП Reguibat, де відомо велике родовище золота Tasiast. Збіг структурної позиції цих двох об'єктів і прямі ознаки золоторудної мінералізації на території рудного району Tijirit у вигляді контрастних літохімічних аномалій золота, штучних і борозених проб з підвищеним вмістом золота дають змогу високо оцінити перспективи золоторудної мінералізації рудного району Tijirit.

2. У межах рудного району Tijirit виділено чотири рудоносні зони субмеридіонального до північно-північно-східного простягання, в межах яких встановлено ряд проявів золота: Sophie-I, II, Sophie-III, Lily, Eleonore, Eleonore East, Salma. Вони збігаються з ослабленими зонами того ж напрямку зазвичай приурочені до контактів гірських порід різного складу (метабазальтів, метапсковиків, смугастих залізистих формацій, гранітів), виділяються на космічних знімках, у геофізичних полях, контролюють розташування зон мінералізації.

3. Із цих зон найбільший інтерес для подальших геологорозвідувальних робіт становить відносно слабо вивчена зона мінералізації Eastern, яка приурочена до контакту гранітів Salma і метабазитів східного крила ЗКП Sebkhet Nich. До неї приурочені прояви золота Eleonore East і Salma, численні літохімічні аномалії, штучні, борозенні і кернові проби з підвищеним вмістом золота (до 42–100 г/т). Саме в межах цієї зони рекомендується зосередити подальші геологорозвідувальні роботи.

4. За категорією передбачуваних ресурсів (Inferred Resources) рудний потенціал цієї зони може бути оцінений в 15 т золота, а загальні ресурси золоторудного району Tijirit – в 40 т золота, що, безумовно, становить значний економічний інтерес.

4. Цілий ряд родовищ золота України (Сергіївське, Балка Широка, Балка Золота, Суразьке) також приурочені до мезоархейських зеленокам'яних структур Українського щита. Сподіваємося, що досвід вивчення золоторудних об'єктів Західної Африки допоможе встановленню факторів і проведенню об'єктивної оцінки золоторудних об'єктів України.

Список використаних джерел

Algold: 2018 Recap and 2019 Tijirit Exploration Program Overview (n.d.). <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/02/20/1738177/0/en/Algold-2018-Recap-and-2019-Tijirit-Exploration-Program-Overview.html>

Algold to File Maiden Mineral Resource Estimate for its Tijirit Gold Project in Mauritania (n.d.). <https://www.juniorminingnetwork.com/junior-miner-news/press-releases/610-tsx-venture/alg/21325-algold-to-file-maiden-mineral-resource-estimate-for-its-tijirit-gold-project-in-mauritania.html>

BGS (2004¹). Notice Explicative des Cartes Géologiques et Métallogéniques à 1/200 000 et 1/500 000 au Sud de la Mauritanie; Vol. I. Géologie; Rapport final du PRISM, British Geological Survey.

BGS (2004²). Notice Explicative des Cartes Géologiques et Métallogéniques à 1/200 000 et 1/500 000 au Sud de la Mauritanie; Vol. II. Potentiel Minier; Rapport final du PRISM, British Geological Survey.

Bolster, S. (2011). Field Visit and data review and interpretation, Tijirit, Mauritania. Report to Gryphon Minerals.

Ciesielski, A. (2015). Algold Resources Ltd. Tijirit Property. Mauritania. 430101 Technical Evaluation Report. Canada: Algold Resources Ltd.

Davies, B. (2012). Tijirit Project – a brief review of the district geological framework. Renaissance Geology report for Gryphon Minerals.

Gold, Base and Battery Metal Tenements Granted in Mauritania (2019). Aura Energy.

Goldfarb, R.J., Marsh, E.E., Anderson, E.D., et al. (2015). Mineral potential tracts for orogenic, Carlin-like, and epithermal gold deposits in the Islamic Republic of Mauritania. (phase V, deliverable 69), chap. H of C.D. Taylor (Ed.), Second projet de renforcement institutionnel du secteur minier de la République Islamique de Mauritanie (PRISM-II): U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1280-H. <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20131280>

Key, R.M., Loughlin, S.C., Gillespie, M. (2008). Two Mesoarchean Terranes in the Reguibat Shield of NW Mauritania. Geological Society, London, Special Publications, 297, 33–52.

Potrel, A., Peucat, J. J., & Fanning, C. M. (1998). Archean crustal evolution of the West African Craton: example of the Amsaga Area (Reguibat Rise). U-Pb and Sm-Nd evidence for crustal growth and recycling. Precambrian Research, 90(3–4), 107–117. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(98\)00044-8](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(98)00044-8)

Second Projet de Renforcement Institutionnel du Secteur Minier de la République Islamique de Mauritanie (PRISM-II) (2013). Phase V Open-File Report 2013–1280 Edited by: C. D. Taylor. <https://doi.org/10.3133/ofr20131280>

SGS (2016): Tijirit Property NI 43-101 Technical Report with Resource Estimate, Tijirit, Mauritania. Report submitted to Algold on August 4, 2016.

SGS (2017¹): Tijirit Property NI 43-101 Technical Report with Resource Estimate Update, Tijirit, Mauritania. Report submitted to Algold on June 15, 2017.

SGS (2017²). An Investigation into the Recovery of Gold from Tijirit Project Samples, unpublished report for Algold.

SGS (2018). Tijirit Property NI 43-101 Technical Report with Resource Estimate Update, Tijirit, Mauritania. Report submitted to Algold on April 10, 2018.

Strong results for Algold Resources at Tijirit Project in Mauritania (n.d.). <https://www.miningglobal.com/smart-mining/strong-results-algold-resources-tijirit-project-mauritania>

Virshylo, I., Mykhailov, V., Zagnitko, V., Kravchenko, D., Volkova, S. (2021). Time-space topological dataset for fuzzy logic mineral prospectivity modelling in MesoArchean terranes of Reguibat shield (Mauritania). International scientific conference Geoinformatics-2021, 11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine.

Zwirz, T., Raponi, R., Sims, D. et al. (2018). Technical Report for the Preliminary Economic Assessment of the Tijirit Project in Mauritania. Canada: Algold Resources Ltd.

References

Algold: 2018 Recap and 2019 Tijirit Exploration Program Overview (n.d.). <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/02/20/1738177/0/en/Algold-2018-Recap-and-2019-Tijirit-Exploration-Program-Overview.html>

Algold to File Maiden Mineral Resource Estimate for its Tijirit Gold Project in Mauritania (n.d.). <https://www.juniorminingnetwork.com/junior-miner-news/press-releases/610-tsx-venture/alg/21325-algold-to-file-maiden-mineral-resource-estimate-for-its-tijirit-gold-project-in-mauritania.html>

BGS (2004¹). Notice Explicative des Cartes Géologiques et Métallogéniques à 1/200 000 et 1/500 000 au Sud de la Mauritanie; Vol. I. Géologie; Rapport final du PRISM, British Geological Survey.

BGS (2004²). Notice Explicative des Cartes Géologiques et Métallogéniques à 1/200 000 et 1/500 000 au Sud de la Mauritanie; Vol. II. Potentiel Minier; Rapport final du PRISM, British Geological Survey.

Bolster, S. (2011). Field Visit and data review and interpretation, Tijirit, Mauritania. *Report to Gryphon Minerals*.

Ciesielski, A. (2015). Algold Resources Ltd. Tijirit Property. Mauritania. *430101 Technical Evaluation Report*. Canada: Algold Resources Ltd.

Davies, B. (2012). Tijirit Project – a brief review of the district geological framework. *Renaissance Geology report for Gryphon Minerals*.

Gold, Base and Battery Metal Tenements Granted in Mauritania (2019). Aura Energy.

Goldfarb, R.J., Marsh, E.E., Anderson, E.D., et al. (2015). Mineral potential tracts for orogenic, Carlin-like, and epithermal gold deposits in the Islamic Republic of Mauritania. (phase V, deliverable 69), chap. H of C.D. Taylor (Ed.), *Second projet de renforcement institutionnel du secteur minier de la République Islamique de Mauritanie (PRISM-II): U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1280-H*. <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20131280>

Key, R.M., Loughlin, S.C., Gillespie, M. (2008). Two Mesoarchean Terranes in the Reguibat Shield of NW Mauritania. *Geological Society, London, Special Publications*, 297, 33–52.

Potrel, A., Peucat, J. J., & Fanning, C. M. (1998). Archean crustal evolution of the West African Craton: example of the Amsaga Area (Reguibat Rise). U-Pb

and Sm-Nd evidence for crustal growth and recycling. *Precambrian Research*, 90(3–4), 107–117. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(98\)00044-8](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(98)00044-8)

Second Projet de Renforcement Institutionnel du Secteur Minier de la République Islamique de Mauritanie (PRISM-II) (2013). *Phase V Open-File Report 2013-1280* Edited by: C. D. Taylor. <https://doi.org/10.3133/ofr20131280>

SGS (2016). Tijirit Property NI 43-101 Technical Report with Resource Estimate, Tijirit, Mauritania. *Report submitted to Algold on August 4, 2016*.

SGS (2017¹). Tijirit Property NI 43-101 Technical Report with Resource Estimate Update, Tijirit, Mauritania. *Report submitted to Algold on June 15, 2017*.

SGS (2017²). An Investigation into the Recovery of Gold from Tijirit Project Samples, unpublished report for Algold.

SGS (2018). Tijirit Property NI 43-101 Technical Report with Resource Estimate Update, Tijirit, Mauritania. *Report submitted to Algold on April 10, 2018*.

Strong results for Algold Resources at Tijirit Project in Mauritania (n.d.). <https://www.miningglobal.com/smart-mining/strong-results-algold-resources-tijirit-project-mauritania>

Virshylo, I., Mykhailov, V., Zagnitko, V., Kravchenko, D., Volkova, S. (2021). Time-space topological dataset for fuzzy logic mineral prospectivity modelling in MesoArchean terranes of Reguibat shield (Mauritania). *International scientific conference Geoinformatics-2021, 11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine*.

Zwirz, T., Raponi, R., Sims, D. et al. (2018). Technical Report for the Preliminary Economic Assessment of the Tijirit Project in Mauritania. Canada: Algold Resources Ltd.

Отримано редакцією журналу / Received: 14.07.23

Прорецензовано / Revised: 30.09.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Volodymyr MYKHAILOV¹, DSc (Geol.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-1837-9739
e-mail: vladvam@gmail.com

Ivan VIRSHYLO¹, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-1285-5308
e-mail: ivirshylo@gmail.com

Vasyl ZAGNITKO¹, DSc (Geol.-Min.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-1837-9739
e-mail: zagnitkow@i.ua

Dmytro KRAVCHENKO¹, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-6312-819X
e-mail: dm.vl.kravchenko@gmail.com

Oleksandr DUBYNA¹, DSc (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-6003-4873
e-mail: dubyna_a@ukr.net

Vitaliy SUKACH², DSc (Geol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-4710-7230
e-mail: svital@ukr.net

Sergii CHULKOV³
ORCID ID: 0009-0000-7109-7872
e-mail: chulkow@gmail.com

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²Institute of Geochemistry, Petrology and Ore Formation NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine

³Institute of Geophysics NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine

TIJIRIT GOLD ORES DISTRICT IN MAURITANIA

The distribution of a new gold ore district in the Republic of Mauritania – Tijirit, which is associated with the greenstone belt (GSB) of Sebket Nich of submeridional extension, is substantiated. It is located 25–30 km to the east of the Reguibat GSB, where the large Tasiast gold deposit is known. The coincidence of the structural position of these two objects and direct signs of gold ore mineralization in the territory of the Tijirit ore district in the form of contrasting lithochemical anomalies of gold, grab sample and trench sample with an increased gold content make it possible to highly evaluate the prospects of its gold ore mineralization. In the ore district, four submeridional to north-northeast trending ore-bearing zones have been identified, within which a number of gold occurrences have been established: Sophie-I, II, III, Lily, Eleonore, Eleonore East, Salma. They coincide with the weakened zones of the same direction, as a rule, they are confined to the contacts of rocks of different composition (metabasalts, metasandstones, banded iron formations, granites), stand out on space image, in geophysical fields, and control the placement of mineralization zones. Of these zones, the most interesting for further geological exploration works is the relatively poorly studied Eastern mineralization zone, which is confined to the contact of the Salma granites and the metabasites of the eastern wing of the Sebket Nich GSB. It is associated with the Eleonore East and Salma gold occurrences, numerous lithochemical anomalies, grab, trench and core samples with increased gold content (up to 42–100 g/t). It is recommended to concentrate further geological exploration work within this zone. A number of gold deposits in Ukraine (Sergiiivske, Balka Shiroka, Balka Zolota, Surozke) are also associated with the Mesoarchean greenstone structures of the Ukrainian Shield. We hope that the experience of studying gold ore objects in West Africa will help to conduct an objective assessment of gold ore objects in Ukraine.

Keywords: gold ore district, greenstone belt, gold content, metabasites, banded iron formations, granites.

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 553.042:552.57(447)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.09>

Олег УЛИЦЬКИЙ, д-р геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-2674-2208
e-mail: olegulytsky@gmail.com

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Київ, Україна

Марія КУРИЛО, д-р геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-1411-2754
e-mail: kurilo@univ.kiev.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Володимир БАЛА, канд. геол. наук
ORCID ID: 0000-0001-6180-5126
e-mail: balavv79@gmail.com

Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВУГЛЕВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ ДОНЕЦЬКОЇ ТА ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛАСТЕЙ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Встановлено, що техногенні та екологічні ризики, визначені за критерієм еколого-економічної ефективності вуглеводобувних підприємств, знижують вірогідність подальшої їх роботи. Значна частина наукових досліджень у розглянутій сфері присвячена розв'язанню проблем, пов'язаних зі шляхами управління екологічною безпекою на вугільних шахтах із застарілим технологічним комплексом (проммайданчиками, підземним комплексом гірничих робіт, затопленням гірничих виробок) на основі геологічних особливостей та визначення наслідків для політики на національному та місцевому рівнях у Донецькій та Луганській областях. Розкрито особливості геологічних і технічних умов вугільних родовищ Донецького вугільного басейну, що зосереджені в межах Донецької та Луганської областей. Наведено основні показники та виконано аналіз техніко-економічного стану вугільної галузі на прикладі основних вуглеводобувних підприємств досліджуваних територій. Здійснено оцінку комплексного впливу основних вуглеводобувних підприємств на довкілля, на основі детального розгляду та виявлення ряду факторів створення техногенного навантаження у межах технологічних комплексів вуглеводобувних об'єктів.

Виконана оцінка техногенного та екологічного ризику за критерієм еколого-економічної ефективності вуглеводобувних підприємств Донецької та Луганської областей дала змогу сформулювати перші наближені, але науково обґрунтовані уявлення щодо рентабельності (нерентабельності) вуглеводобувної діяльності деяких підприємств, що є основою для подальшої розробки рекомендацій щодо послідовності та доцільності (з погляду збереження прийнятного екологічного стану прилеглих до шахт територій у сучасних економічно-технічних умовах вуглеводобувної галузі) закриття шахт з метою зниження техногенного навантаження. Проаналізовано та використано дані офіційної екологічної звітності вуглеводобувних підприємств, дані ДНВП "Геоінформ України", Міненерго, Держстату та науково-методичних джерел.

Ключові слова: Екологічні ризики, управління екологічною безпекою, вугільні шахти, фактори техногенного навантаження, еколого-економічна ефективність.

Актуальність дослідження. Велика частина досліджень у розглянутій сфері присвячена розв'язанню проблем, пов'язаних із шляхами управління екологічною безпекою на вугільних шахтах і застарілим технологічним комплексом (проммайданчиками, підземним комплексом гірничих робіт, затопленням гірничих виробок) на основі геологічних особливостей та визначення наслідків для політики на національному та місцевому рівнях у Донецькій та Луганській областях (Москаленко, 2011; Павличенко, 2017; Пруднік, 2018). Проектна потужність видобутку вугілля державними шахтами становить 32,6 млн т за рік, а фактичний видобуток у 2020 р. – лише 4,7 млн т рядового вугілля. Собівартість товарної вугільної продукції на державних шахтах у середньому понад 4000 гривень за тону за ринкової ціни 1350 гривень за тону. Державні вугледобувні підприємства є збитковими та вимагають постійної фінансової підтримки з державного бюджету.

Слід нагадати, що втрати енергоспоживання за рахунок вугілля компенсували шляхом збільшення споживання природного газу, який закуповували в основному за кордоном.

Аналіз показав, що сучасний паливно-енергетичний баланс України не відповідає тим запасам у країні і загальносвітовим тенденціям у використанні енергоносіїв. За станом шахтного фонду, структури управління, кадрової політики та іншим питанням сьогодні вугільна галузь не може бути гарантом енергетичної безпеки в

країні. За останні три десятиліття в галузі практично не проводились роботи з будівництва і реконструкції шахт. Виробничі фонди вуглеводобувних підприємств відпрацювали свій ресурс на 80 і більше відсотків.

Виникла потреба заміни повного технологічного оснащення шахт. Основною причиною є брак коштів на підтримку галузі, а також невелике залучення інших джерел інвестування.

Із середини 90-х років відбувається реструктуризація у вугільній галузі, а точніше – ліквідація неперспективних шахт. На цей час їх ліквідовано вже понад 120. Втрати потужності перевищили 70 млн т вугілля в рік. Процес закриття вугільних підприємств є дорогавартісним і породжує багато проблем в економічному, соціальному та екологічному аспектах. Водночас зазначається, що основними причинами є падіння видобутку вугілля (Енергетична стратегія..., 2017; Про схвалення Концепції..., 2021). Системний аналіз та оцінка ризиків мають на меті розробку прикінцевих управлінських рішень, що приймаються з метою запобігання негативним впливам вуглеводобувної діяльності на стан навколишнього природного середовища (НПС). Однак система прийняття рішень, як демонструє досвід, не може існувати без узгодження стану промислового об'єкта із станом НПС. При цьому до уваги слід брати екологічні загрози, серед яких можуть бути різного рівня техногенні аварії, хімічне забруднення, небезпечні технології та ін.

Отже, під час аналізу схеми формування загальної техногенної складової екологічної безпеки навколо вуглевидобувних комплексів мають розглядатися такі вхідні параметри: ступінь матеріально-технічного забезпечення підприємства, що визначає ресурсозберігаючу направленість технологічного процесу його вуглевидобувної діяльності, ступінь трансформації природно-техногенного геологічного середовища (ПТГС) та фактори поширення забруднювальних речовин у НПС – включаючи МВВ, ставки-накопичувачі шахтних вод та ін.

Постановка проблеми. На сьогодні в Україні не існує уніфікованої науково-теоретичної бази, на основі якої можлива побудова ефективної теорії управління системою екологічної безпеки у вугільній галузі та отримання експертних оцінок безпеки життєдіяльності людини у вуглевидобувних регіонах на етапі ліквідації шахт (Андрейцев, 2002; Екологічна безпека..., 2016; Кірін, 2018; Лазаренко, 2010; Москаленко, 2011; Пруднік, 2018). В існуючих підходах і принципах, розроблених для забезпечення екологічної безпеки у вугільній галузі країни загалом, не можна виявити цілісність поглядів і методів, спрямованих на подолання кризових екологічних ситуацій постексплуатаційного періоду. Світова практика оцінки ризику у вуглевидобувній сфері ґрунтується на методології, що наводиться у базових стандартах гірничодобувної галузі. У країнах ЄС ризики прийнято оцінювати з погляду можливого прояву небезпеки у вигляді погіршення стану здоров'я працівників (оцінка ризиків у сфері управління охороною праці – PN-N-18001/OHSAS 18001, PN-N-18002:2011, Directive 83/391/EEC), можливого прояву небезпеки у вигляді аварій техніки та шахтного устаткування (Directive 2006/42/EC, ISO 12100:2010, ISO 13849-1:2015, PN-EN 14973:2016-01 та ін.). Основні вимоги до системи управління станом довкілля, яких мають дотримуватись видобувні підприємства з метою покращення наслідків своєї діяльності, наведені у стандарті PN-EN ISO 14001 (Tubis et al., 2020). Основні групи ризиків та наслідки їх прояву на гірничовидобувних підприємствах вугільної галузі, які висвітлюються в офіційних звітах Євростату, ОЕСР (Організація економічного співробітництва та розвитку) та у звітах національних організацій країн ЄС (наприклад, звіт Державного гірничого органу у Польщі), асоціюються із відходами виробництва (вуглевидобутку). Тому до основних факторів антропогенного навантаження, що існують у межах вуглевидобувного підприємства, відповідно до Директиви екологічної відповідальності ЄС (Environmental Liability Directive) та Директиви ЄС щодо відходів видобутку корисних копалин (Extractive Waste Directive) та інших регулювальних актів ЄС, є місця накопичення відходів вуглевидобутку. До останніх слід віднести: місця видалення відходів – гірської породи (терикони, конуси), місця накопичення та очищення шахтних вод (ставки-накопичувачі, очисні споруди), а також безпосередньо промислові майданчики шахтних підприємств.

Мета роботи. Запропонувати науково-обґрунтований підхід до аналізу та оцінки екологічної безпеки на вугільних підприємствах через використання матеріальних ресурсів і факторів впливу низького рівня досягнення виробничих потужностей та технологічно недосконалого виробничого процесу, який потребує модернізації з метою підвищення ресурсозберігаючого виробництва.

Аналіз основних досліджень і публікацій. На сьогодні Україна має найстаріший серед країн Європи шахтний фонд, прискорене зношення якого призвело до формування негативного балансу виробничих потужностей. На цей час 96 % українських шахт працюють без реконструкції вже понад 20 років. Дві третини основного стаціонарного устаткування відпрацювало нормативний термін експлуатації і потребує заміни. Одним із показових

економічних параметрів, що може характеризувати вугільну галузь України в цілому, є обсяги імпорту кам'яного вугілля. Так, у 2018 р. загальний обсяг імпорту кам'яного вугілля становив 21,3 млн т (Зелена книга..., 2018), що на 40 % більше за 2014 р., а у 2019 р. – 19,10 млн т. Таким чином, обсяг видобутку кам'яного вугілля не покриває внутрішній національний попит на нього.

Наприкінці 2025 р., згідно з положенням ЕСУ (Енергетична стратегія..., 2017), планується закриття/консервація усіх збиткових шахт України. За попереднім переліком в межах Донецької області кількість таких до 2014 р. сягала 64 шахт, а в межах Луганської області – 26. Очікується, що даний список буде поповнено переліком шахт, що перебувають на невідконтрольних уряду України територіях, або тих, що зазнали гідродинамічного впливу в результаті затоплення останніх, через їх аварійний стан.

Результати досліджень та їх обговорення. Підрахунок запасів кам'яного вугілля в межах Донецького вугільного басейну здійснюється до глибини 1600 м в окремих районах Донецької області та до глибини 1800 м по окремих ділянках Луганської області. Балансові запаси категорії A+B+C₁ у межах басейну (включаючи родовища в межах Харківської та Дніпропетровської області) станом на 01.01.2021 р. становлять 40356,0 млн т, категорії C₂ – 10932,4 млн т. Кількість позабалансових запасів оцінюється у 16688,5 млн т, умовно балансових запасів – у 236,5 млн т (Державний баланс..., 2021). Балансові запаси коксівного вугілля категорії A+B+C₁ сягають 28,3 % від запасів басейну.

Всього у Донецькому басейні станом на 01.01.2021 р. розробляється та підготовлено до освоєння 18563,2 млн т балансових запасів категорії A+B+C₁. З них експлуатується та враховано балансом діючих шахт 7788,5 млн т (Державний баланс..., 2021).

Станом на 01.01.2021 р. всього в межах басейну за державним обліком запасів кам'яного вугілля перебувають 327 діючих шахт, видобуток у 2020 р. здійснювався на 326 шахтах. З них – 242 шахти комерційних недержавних підприємств, 84 шахти державних підприємств (рис. 1). Разом із тим загальний обсяг балансових запасів вугілля в межах недержавних підприємств різних форм власності становить 3756,1 млн т, тобто 48,2 % балансових запасів усіх діючих шахт (рис. 2).

Загальний видобуток вугілля в Донецькому басейні за 2020 р. становив 16 654 тис. т вугілля. Відомості щодо обсягів видобутку в розподілі по адміністративних областях за 2017, 2019 та 2020 рр. (за даними ДНВП "Геоінформ України" (Мінеральні ресурси, 2018, 2020, 2021)) наведено в табл. 1.

Виходячи з даних табл. 1, можна констатувати, що показники загального щорічного видобутку кам'яного вугілля в межах Донецького вугільного басейну мають тенденцію до зниження, починаючи із 2017 р. Зниження загальних обсягів щорічного видобутку в межах басейну відбувається через падіння обсягів видобутку вугілля у розрізі 2017–2020 рр. на шахтах, розташованих у Дніпропетровській та Луганській областях.

Такі показники характерні на тлі загальної динаміки видобутку кам'яного вугілля загалом по Україні. Так, загальне падіння щорічного видобутку кам'яного вугілля по всіх діючих шахтах України знизилось до 17 579 тис. т – тобто на 34 % порівняно із 2016 р., і на 68 % порівняно із 2012 р., враховуючи, що у 2012 р. було видобуто 55 553 тис. т (за даними ДНВП "Геоінформ України"). За даними Міненерго, зменшення обсягів видобутку у 2020 р. порівняно із 2012 р. (річний обсяг видобутку у 2012 р., за даними Міненерго, сягав 85 750 тис. т вугілля) відбулось на 65 %.

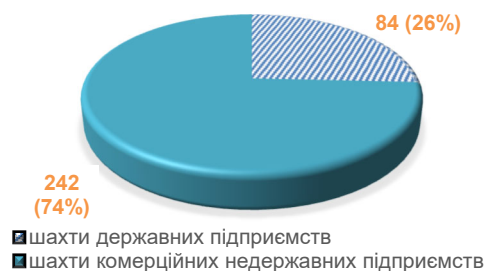


Рис. 1. Гірничі підприємства Донбасу за суб'єктами власності (Донецька та Луганська області разом)

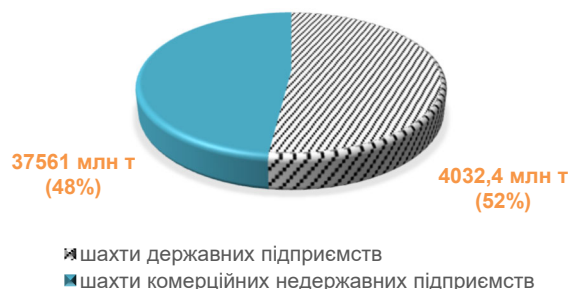


Рис. 2. Розподіл балансових запасів вугілля кат. А+В+С₁ (млн т) між шахтами державних та комерційних недержавних підприємств (Донецька та Луганська області разом)

Таблиця 1

Розподіл обсягів видобутку кам'яного вугілля по діючих шахтах у межах адміністративних областей Донецького вугільного басейну (по роках)

Назва області	Видобуток, тис. т		
	2017 р.	2019 р.	2020 р.
Дніпропетровська	11539	10474	9050
Донецька	6028	7250	7422
Луганська	484	229	182
Харківська	—	—	—
ВСЬОГО	18051	17953	16654

Як головний критерій технічної та екологічної безпеки і, відповідно, рівень ризику використано коефіцієнт еколого-економічної ефективності (оптимальності) технологічних процесів:

$$K_{ee} = \frac{Q_{\phi}}{Q_p} \cdot \frac{M_{\text{пр}}}{M_c} \cdot \frac{m_{\text{ТДС}}}{m_{\phi}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3,$$

де k_1 – коефіцієнт використання виробничої потужності, що дорівнює відношенню Q_{ϕ} – фактичної продуктивності до розрахункової продуктивності – Q_p ; k_2 – коефіцієнт використання матеріальних ресурсів, які характеризують технологічний випуск продукції – відношення маси продукції $M_{\text{пр}}$ до маси сировини M_c ; k_3 – коефіцієнт навантаження на навколишнє середовище, що виражається через відношення нормативно дозволеного викиду забруднювальної речовини $m_{\text{ТДС}}$ до фактичного значення викиду m_{ϕ} .

Для розрахунку коефіцієнта використання виробничої потужності (k_1) використано показники освоєння виробничих потужностей по основних вуглевидобувних підприємствах Донецької та Луганської областей. Як критерій визначення виробничої потужності кожного основного вуглевидобувного підприємства виступав показник освоєння виробничих потужностей, який розраховувався як відношення обсягів річного видобутку до сумарної потужності шахт різних підприємств.

Як коефіцієнт використання матеріальних ресурсів (k_2) використано показник втрат вугілля, який обчислюється як відношення втрат вугілля до загальної кількості відпрацьованих запасів у межах кожного підприємства за поточний звітний рік.

Для визначення коефіцієнта навантаження на НПС (k_3) доцільно було б використати показники викидів (скидів) забруднювальних речовин у навколишнє середовище, що наводяться в екологічній звітності підприємств. Однак інформація щодо допустимих норм таких викидів (або скидів), яка міститься переважно в дозвільних документах (спецдозвіл на водокористування та ін.), часто відсутня в офіційних відкритих базах даних – переважно через припинення дії спецдозволів у деяких вуглевидобувних підприємств. Тому як критерій оцінки навантаження

на навколишнє природне середовище використано показник, який розраховувався як відношення обсягів неочищених шахтних вод, скинутих у поверхневу гідросферу у межах кожного підприємства, до обсягів шахтних вод, які відкачано кожним підприємством протягом звітного періоду. Такий параметр дає змогу не лише оцінити ступінь орієнтації підприємства на створення екологічно безпечних технологій виробництва, а й ступінь його економічної ефективності. Адже поєднання низького за значенням коефіцієнта виробничої потужності з високим навантаженням на навколишнє середовище, яке в нашому випадку пов'язане із скидом неочищених шахтних вод у поверхневу гідросферу та надходженням забруднювальних речовин у навколишнє середовище, свідчить про низький рівень екологічної безпеки виробництва та нерентабельність його подальшої діяльності.

Первинна оцінка техногенного та екологічного ризику в межах вуглепромислових районів Донецької області.

Для розрахунку коефіцієнта використання виробничої потужності (k_1) використано показники освоєння виробничих потужностей по основних вуглевидобувних підприємствах Донецької області (табл. 2). Оскільки жодне з підприємств не може характеризуватися повним освоєнням виробничих потужностей, дані із табл. 2 (а саме – показник освоєння виробничих потужностей) були використані для нормування та ранжування відповідно до загального рейтингу ефективності вуглевидобувної діяльності кожного з підприємств (табл. 3).

Отже, отримано результуючу таблицю з визначеними показниками коефіцієнтів використання виробничої потужності в межах кожного підприємства (табл. 4).

У табл. 5 наведено результати призначення коефіцієнта використання матеріальних ресурсів (k_2) на основі врахування відношення втрат вуглевидобутку до кількості відпрацьованих запасів відносно кожного вуглевидобувного підприємства за 2020 рік.

У табл. 6 наведено значення коефіцієнтів використання матеріальних ресурсів (k_2).

Таблиця 2

Показники освоєння виробничих потужностей вуглевидобувними підприємствами Донецької області

Назва підприємства	Сумарна потужність шахт, тис. т/рік	Видобуток за стат. обліком, тис. т	Освоєння виробничих потужностей, %
ДП "Мирноградвугілля"	995	481	48,3
ДП "Селидіввугілля"	1895	146	7,7
ДП "Торецьквугілля"	410	202	49,3
ДП "Ш/у "Південнодонбаське № 1"	1200	Н.д.	–
Шахта ім. М.С. Сургая	1000	Н.д.	–
"ДТЕК "Добропіллявугілля"	4050	2141	52,9
ТДВ "Шахта "Білозерська"	1300	559	43,0
ПрАТ "Ш/у "Покровське"	6162	3446	56,0

Таблиця 3

Ранжування коефіцієнта k_2 за діапазонами значень показника освоєння виробничих потужностей

Діапазон значень виробничих потужностей, %	Величина k_2
0–30	0,2
30–40	0,4
40–50	0,6
50–60	0,8
60–100	1,0

Таблиця 4

Зведені значення коефіцієнтів використання виробничої потужності

Назва підприємства	Освоєння виробничих потужностей, %	Зведений k_1
ДП "Мирноградвугілля"	48,3	0,6
ДП "Селидіввугілля"	7,7	0,2
ДП "Торецьквугілля"	49,3	0,6
ДП "Ш/у "Південнодонбаське № 1"	–	–
Шахта ім. М.С. Сургая	–	–
ТОВ "ДТЕК "Добропіллявугілля"	52,9	0,8
ТДВ "Шахта "Білозерська"	43,0	0,6
ПрАТ "Ш/у "Покровське"	56,0	0,8

Таблиця 5

Показники втрат вугілля в межах основних вуглевидобувних підприємств Донецької області за 2020 р.

Назва підприємства	Кількість відпрацьованих запасів, всього тис. т	Видобуток, тис. т	Втрати	
			тис. т	%
ДП "Мирноградвугілля"	382	316	66	17,3
ДП "Селидіввугілля"	118	95	23	19,5
ДП "Торецьквугілля"	150	136	14	9,3
ДП "Ш/у "Південнодонбаське № 1"	115	100	15	13,0
Шахта ім. М.С. Сургая	258	221	37	14,3
ТОВ "ДТЕК "Добропіллявугілля"	2014	1479	535	26,6
ТДВ "Шахта "Білозерська"	253	250	3	1,2
ПрАТ "Ш/у "Покровське"	3640	3264	376	10,3

Таблиця 6

Значення коефіцієнтів використання матеріальних ресурсів (k_2)

Назва підприємства	Втрати, %	Зведений k_2
ДП "Мирноградвугілля"	17,3	0,6
ДП "Селидіввугілля"	19,5	0,6
ДП "Торецьквугілля"	9,3	1,0
ДП "Ш/у "Південнодонбаське № 1"	13,0	0,8
Шахта ім. М.С. Сургая	14,3	0,8
ТОВ "ДТЕК "Добропіллявугілля"	26,6	0,4
ТДВ "Шахта "Білозерська"	1,2	1,0
ПрАТ "Ш/у "Покровське" (шахта "Красноармійська Західна № 1")	10,3	0,8

Таблиця 7 містить результати розрахунку коефіцієнта навантаження на навколишнє середовище (k_3), що виражається через відношення об'ємів скинутих неочищених шахтних вод у поверхневу гідросферу до об'ємів відкачаних шахтних вод у межах кожного вуглевидобувного підприємства Донецької області.

Як вхідну інформацію використано дані екологічної звітності вуглевидобувних підприємств станом за 2019 р. (Екологічні паспорти регіонів, 2019).

Ранжування коефіцієнта k_3 за діапазонами значень наведено в табл. 8.

Кінцеві значення коефіцієнта навантаження на НПС представлено в табл. 9.

Результуючу таблицю розрахунку коефіцієнта еколого-економічної ефективності (оптимальності) технологічних

процесів основних вуглевидобувних підприємств Донецької області наведено нижче (табл. 10).

Висновки щодо ступеня екологічної безпеки вуглевидобувних підприємств можуть бути здійснені за допомогою табл. 11 (Музалевский, Карлин, 2011). Цю таблицю створено на основі аналізу та екологічного аудиту переліку промислових підприємств, які перебувають у різних природних умовах та належать до різних галузей промисловості – не тільки підприємств вуглевидобувної галузі. Тому, на нашу думку, для більш якісного аналізу та оцінки екологічної безпеки саме вуглевидобувних підприємств України, має бути здійснений їх детальний розширений екологічний аудит.

Таблиця 7

Вхідні дані для розрахунку коефіцієнта навантаження на НПС (k_3)

Назва підприємства	Об'єм шахтної води, що відкачано, тис. м ³ (А)	Об'єм недостатньо очищених та неочищених шахтних вод, скинутих у поверхневі водні об'єкти, тис. м ³ (В)	В/А, д.од.
ДП "Мирноградвугілля"	8715,78	7142,54	0,82
ДП "Селидіввугілля"	16427,76	16084,06	0,97
ДП "Торецьквугілля"	4518,90	4458,00	0,99
ТОВ "ДТЕК "Добропіллявугілля"	22812,60	4163,50	0,18
ДП "Ш/у "Південнодонбаське № 1"	2391,96	1132,76	0,47
Шахта ім. М.С. Сургая			
ТДВ "Шахта "Білозерська"			
ПрАТ "Ш/у "Покровське"			

Таблиця 8

Ранжування коефіцієнта k_3 за діапазонами значень показника навантаження на НПС

Відношення В/А, д.од. (таблиця 6)	Зведений k_3
0–0,2	1,0
0,2–0,4	0,8
0,4–0,6	0,6
0,6–0,8	0,4
0,8–1,0	0,2

Таблиця 9

Зведені значення коефіцієнтів навантаження на навколишнє середовище (k_3) у межах вуглевидобувних підприємств

Назва підприємства	В/А, д.од.	k_3
ДП "Мирноградвугілля"	0,82	0,2
ДП "Селидіввугілля"	0,97	0,2
ДП "Торецьквугілля"	0,99	0,2
ТОВ "ДТЕК "Добропіллявугілля"	0,18	1,0
ДП "Ш/у "Південнодонбаське № 1"	0,47	0,6
Шахта ім. М.С. Сургая		
ТДВ "Шахта "Білозерська"		
ПрАТ "Ш/у "Покровське" (шахта "Красноармійська Західна № 1")		

Таблиця 10

Результати розрахунку коефіцієнта еколого-економічної ефективності (оптимальності) технологічних процесів основних вуглевидобувних підприємств Донецької області

Назва підприємства	k_1	k_2	k_3	K_{ee}
ДП "Мирноградвугілля"	0,6	0,6	0,2	0,07
ДП "Селидіввугілля"	0,2	0,6	0,2	0,02
ДП "Торецьквугілля"	0,6	1,0	0,2	0,12
ДП "Ш/у "Південнодонбаське № 1"	–	0,8	0,6	–
Шахта ім. М.С. Сургая	–	0,8	0,6	–
ТОВ "ДТЕК "Добропіллявугілля"	0,8	0,4	1,0	0,32
ТДВ "Шахта "Білозерська"	0,6	1,0	0,6	0,36
ПрАТ "Ш/у "Покровське" (шахта "Красноармійська Західна № 1")	0,8	0,8	0,6	0,38

Таблиця 11

Оцінка екологічної небезпеки об'єктів промисловості за значеннями коефіцієнта еколого-економічної ефективності

Значення K_{ee}	Аналіз та висновки щодо екологічної безпеки
$K_{ee} > 0,8$	Екологічно безпечне виробництво, яке відповідає сучасним нормативам якості природного середовища
$0,8 > K_{ee} > 0,5$	Екологічно мало небезпечне виробництво, підвищення безпеки можна досягти удосконаленням очисних установок
$0,5 > K_{ee} > 0,3$	Екологічно небезпечне виробництво, необхідна модернізація технологічного процесу, підвищення ресурсозбереження
$K_{ee} < 0,3$	Виробництво абсолютно не відповідає сучасним вимогам, необхідно припинити його діяльність

Як показує аналіз табл. 10 та 11, жодне з вуглевидобувних підприємств Донецької області не можна віднести до екологічно безпечного або екологічно мало небезпечного. Наприклад, еколого-економічна ефективність підприємства ТОВ "ДТЕК "Добропіллявугілля" достатньо низька через нераціональне використання матеріальних ресурсів (показник втрати вугілля під час видобутку на підприємстві є одним із найбільших серед основних вуглевидобувних підприємств). Еколого-економічна ефективність самостійних вуглевидобувних підприємств знижена під фактором впливу низького рівня досягнення виробничих потужностей та технологічно недосконалого виробничого процесу, який потребує модернізації з метою підвищення ресурсозберігаючого виробництва.

Усі державні вуглевидобувні підприємства – ДП "Мирноградвугілля", ДП "Селидіввугілля", ДП "Торецьквугілля" – за оцінкою екологічної небезпеки на основі критерію екологічно-економічної ефективності, належать до підприємств, які абсолютно не відповідають сучасним екологічним вимогам і діяльність яких рекомендовано припинити. Кожен із показників – ступінь досягнення виробничих потужностей, ступінь раціонального використання природних ресурсів (виражений через коефіцієнт використання матеріальних ресурсів) – є дуже низьким на зазначених підприємствах. Натомість, навантаження на навколишнє природне середовище (оцінене тільки лише за об'ємами скинутих шахтних вод у поверхневу гідросферу, без кількісного урахування викидів

забруднювальних речовин у атмосферне повітря, без оцінки ступеня забруднення ґрунтів навколо МВВ та ін.) у результаті видобувної діяльності є вкрай високим, що логічно пояснюється низьким рівнем готовності впровадження вдосконалених і модернізованих еколого-орієнтованих та ресурсозберігаючих технологій на збиткових нерентабельних підприємствах.

Первинна оцінка техногенного та екологічного ризику в межах вуглепромислових районів Луганської області.

Для розрахунку коефіцієнта використання виробничої потужності (k_1) використано показники освоєння виробничих потужностей по основних вуглевидобувних підприємствах Луганської області (табл. 12).

Оскільки жодне з підприємств не може характеризуватися повним освоєнням виробничих потужностей, показник освоєння виробничих потужностей було нормовано та ранжовано відповідно до загального рейтингу ефективності вуглевидобувної діяльності кожного з підприємств Донецького вугільного басейну (табл. 13).

Отже, отримано результуючу таблицю з визначеними показниками коефіцієнтів використання виробничої потужності в межах кожного підприємства (табл. 14). Показник видобутку за статистичним обліком у межах підприємства ДП "Первомайськвугілля" відсутній, тому

для розрахунку величини освоєння виробничих потужностей у межах підприємства використано дані з видобутку вугілля у 2020 р. (111 тис. т).

У табл. 16 наведено результати призначення коефіцієнта використання матеріальних ресурсів (k_2) на основі врахування відношення втрат вуглевидобутку до кількості відпрацьованих запасів у межах кожного вуглевидобувного підприємства за 2020 р. (табл. 15).

Таблиця 17 містить дані результатів розрахунку коефіцієнта навантаження на НПС, що виражається через відношення об'ємів скинутих неочищених шахтних вод у поверхневу гідросферу до об'ємів відкачаних шахтних вод у межах кожного вуглевидобувного підприємства Луганської області. Як вхідну інформацію використано дані екологічної звітності вуглевидобувних підприємств станом за 2019 р.

Ранжування коефіцієнта k_3 за діапазонами значень наведено в табл. 18.

Результуючі значення коефіцієнта навантаження на навколишнє природне середовище представлено в табл. 19.

Результуючу таблицю розрахунку коефіцієнта еколого-економічної ефективності (оптимальності) технологічних процесів основних вуглевидобувних підприємств Луганської області наведено нижче (табл. 20).

Таблиця 12

Показники освоєння виробничих потужностей вуглевидобувними підприємствами Луганської області

Назва підприємства	Сумарна потужність шахт, тис. т/рік	Видобуток за стат. обліком, тис. т	Освоєння виробничих потужностей, %
ПАТ "Лисичанськвугілля"	1010	178	17,6
ДП "Первомайськвугілля"	1200	Н.д.	-

Таблиця 13

Ранжування коефіцієнта k_1 за діапазонами значень показника освоєння виробничих потужностей

Діапазон значень виробничих потужностей, %	Величина k_1
0–30	0,2
30–40	0,4
40–50	0,6
50–60	0,8
60–100	1,0

Таблиця 14

Зведені значення коефіцієнтів використання виробничої потужності (k_1)

Назва підприємства	Освоєння виробничих потужностей, %	Зведений k_1
ПАТ "Лисичанськвугілля"	17,6	0,2
ДП "Первомайськвугілля"	9,0	0,2

Таблиця 15

Показники витрат вугілля в межах основних вуглевидобувних підприємств Луганської області за 2020 р.

Назва підприємства	Кількість відпрацьованих запасів, всього тис. т	Видобуток, тис. т	Втрати	
			тис. т	%
ПАТ "Лисичанськвугілля"	54	47	7	19,6
ДП "Первомайськвугілля"	124	111	22	16,1

Таблиця 16

Зведені значення коефіцієнтів використання матеріальних ресурсів (k_2)

Назва підприємства	Втрати, %	Зведений k_2
ПАТ "Лисичанськвугілля"	19,6	0,6
ДП "Первомайськвугілля"	16,1	0,6

Таблиця 17

Вхідні дані для розрахунку коефіцієнта навантаження на навколишнє середовище (k_3)

Назва підприємства	Об'єм шахтної води, що відкачано, тис. м ³ (А)	Об'єм недостатньо очищених та неочищених шахтних вод, скинутих у поверхневі водні об'єкти, тис. м ³ (В)	В/А, д.од.
ПАТ "Лисичанськвугілля"	3077,86	2579,50	0,83
ДП "Первомайськвугілля"	13641,3	12181,3	0,89

Таблиця 18

Ранжування коефіцієнта k_3 за діапазонами значень показника навантаження на НПС

Відношення В/А, д.од.	Приведений k_3
0–0,2	1,0
0,2–0,4	0,8
0,4–0,6	0,6
0,6–0,8	0,4
0,8–1,0	0,2

Таблиця 19

Зведені значення коефіцієнтів навантаження на навколишнє середовище (k_3) у межах вуглевидобувних підприємств

Назва підприємства	В/А, д.од.	k_3
ПАТ "Лисичанськвугілля"	0,83	0,2
ДП "Первомайськвугілля"	0,89	0,2

Таблиця 20

Результати розрахунку коефіцієнта еколого-економічної ефективності (оптимальності) технологічних процесів основних вуглевидобувних підприємств Луганської області

Назва підприємства	k_1	k_2	k_3	$K_{\text{еє}}$
ПАТ "Лисичанськвугілля"	0,2	0,6	0,2	0,024
ДП "Первомайськвугілля"	0,2	0,6	0,2	0,024

Висновки відносно ступеня екологічної безпеки вуглевидобувних підприємств можуть бути здійснені за допомогою табл. 11 (Музалевский, Карлин, 2011).

За даними, наведеними в табл. 19 та 11, жодне з вуглевидобувних підприємств Луганської області не можна віднести до екологічно безпечного.

Еколого-економічна ефективність таких підприємств, як ДП "Лисичанськвугілля" та ДП "Первомайськвугілля" через низький рівень досягнення виробничих потужностей та технологічно недосконалий виробничий процес потребує модернізації з метою підвищення ресурсозбереження та охорони НПС від забруднення. Навантаження на НПС (оцінене тільки лише за об'ємами скинутих шахтних вод у поверхневу гідросферу, без кількісного урахування викидів забруднювальних речовин у атмосферне повітря, без оцінки ступеня забруднення ґрунтів навколо МВВ та ін.), що створюється обома підприємствами в результаті видобувної діяльності, є вкрай високим, що логічно пояснюється низьким рівнем готовності економічно нерентабельних підприємств до впровадження вдосконалених і модернізованих еколого-орієнтованих та ресурсозберігаючих технологій.

Виробнича діяльність підприємств ДП "Лисичанськвугілля" та ДП "Первомайськвугілля" за критерієм еколого-економічної ефективності абсолютно не відповідає сучасним екологічним вимогам. Діяльність підприємств рекомендовано припинити.

Первинна оцінка рівня екологічної безпеки основних вуглевидобувних підприємств Луганської та Донецької областей

Результуючу схему оцінки екологічної безпеки на підприємствах Донецької та Луганської областей представлено на рис. 3. Відповідно до схеми та за результатами оцінки параметра еколого-економічної ефективності підприємств та аналізу його впливу на формування екологічної безпеки виробництва, жодне з основних вуглевидобувних підприємств Донецької та Луганської областей не належить до екологічно безпечних. Підприємства ДП "Лисичанськвугілля", ДП "Первомайськвугілля" (Луганська область), а також підприємства ДП "Мирноградвугілля" та ДП "Селидіввугілля" (Донецька область) характеризуються найменшим значенням коефіцієнта оптимальності технологічних процесів і віднесені до вкрай екологічно небезпечних підприємств.

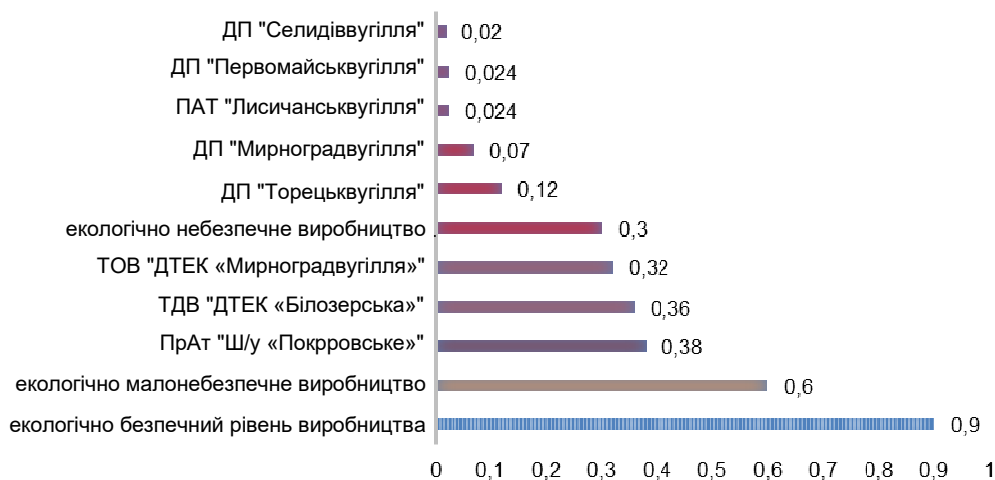


Рис. 3. Рівень екологічної безпеки вуглевидобувних підприємств Донецької та Луганської області за показником оптимальності технологічних процесів

Висновки

Аналіз здійснювався на основі прив'язки груп вугільних шахт до основних геолого-промислових районів

Донецького вугільного басейну. Це аргументовано тим, що кожен геолого-промисловий район відрізняється власними, характерними для нього, гірничо-геологічними та

технологічними способами розробки вугільних пластів. Враховуючи тривалість періоду відпрацювання вугільних шахт Донецького басейну (понад 100 років), з кожним роком умови експлуатації шахт та видобутку вугілля ускладнюються:

- збільшується глибина розробки;
- гірничо-геологічні умови на таких глибинах стають дедалі складнішими, враховуючи, що технічно-матеріальний фонд більшості вугільних шахт Донецького басейну є вкрай застарілим;
- експлуатаційні запаси виснажуються.

Все це є одним з основних чинників зниження ефективності вуглевидобувної діяльності та зниження рентабельності основних вуглевидобувних підприємств.

Крім того, відбувається штучне формування ускладнених геолого-гідрогеологічних умов експлуатації шахт ДП "Первомайськвугілля" (Луганська область), що пов'язано із затопленням гідравлічно пов'язаних із ними шахт, які розташовані на непідконтрольних уряду України територіях.

Загальною негативною рисою сучасної ситуації із станом запасів кам'яного вугілля в межах Донецького вугільного басейну є те, що валова частина запасів зосереджена в межах шахт діючих Державних підприємств, що характеризуються незадовільним станом матеріально-технічного фонду. Водночас на території Донецького басейну діють всього 84 шахти державних підприємств, у той час як кількість шахт комерційних підприємств становить 242 од.

Падіння обсягів видобутку вугілля відбувається ще з 2012 р. і, за усередненими даними, у 2020 р. обсяги видобутку вугілля всіма шахтами Донецького басейну знизились на 66 % порівняно із 2012 р.

Аналізуючи стан вугільної галузі за основними показниками видобутку, такими як: річні обсяги видобутку вугілля; коефіцієнт річного освоєння запасів вугілля (відношення видобутку до сумарних експлуатаційних запасів, підрахованих на поточний період); показники виконання плану з обсягу товарної вугільної продукції; а також за показниками середньої багаторічної собівартості видобутку вугілля по окремих підприємствах, можна зробити висновок – насправді, у загальній структурі вуглевидобування і освоєння експлуатаційних запасів вугілля спостерігається тенденція до зниження ефективності вуглевидобувної діяльності серед підприємств державної форми власності.

Аналіз основних факторів техногенного навантаження, що створюється складовими технологічного комплексу вуглевидобувних підприємств, дав змогу здійснити оцінку екологічного ризику, що існує в межах територій, прилеглих до шахт.

За результатами оцінки параметра еколого-економічної ефективності підприємств та аналізу його впливу на формування екологічної безпеки виробництва, жодне з основних вуглевидобувних підприємств Донецької та Луганської областей не належить до екологічно безпечних. Підприємства ДП "Лисичанськвугілля", ДП "Первомайськвугілля" (Луганська область), а також підприємства ДП "Мирноградвугілля" та ДП "Селидіввугілля" (Донецька область) характеризуються найменшим значенням коефіцієнта оптимальності технологічних процесів і віднесені до вкрай екологічно небезпечних підприємств за результатами оцінки.

Список використаних джерел

Андрейцев, В.І. (2002). *Право екологічної безпеки*. Знання-Прес.
Державний баланс запасів корисних копалин України на 01.01.2021 р. (2021). *Вугілля*. Вип. 22. Кн. 1. *Державна служба геології та надр України*, ДНВП "Геоінформ України".

Екологічна безпека вугільних родовищ України (2016). Г.І. Рудько, О.І. Бондар (Ред.). Букрек.

Екологічні паспорти регіонів (2019). <https://mepr.gov.ua/news/35913.html>
Енергетична стратегія України до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність" (2017). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>

Зелена книга "Регулювання ринку вугілля" (2018). Київ: Офіс ефективного регулювання BRDO. <https://regulation.gov.ua/book/137-zelena-kniga-reguluvannya-rinku-vugilla>

Кірін, Р.С. (2018). Легальне визначення поняття "охорона надр". *Юридична Україна*, 7, 54–60.

Лазаренко, В.А. (2010). *Адміністративно-правове регулювання екологічної безпеки в Україні* [Автореф. дис. канд. юрид. наук: 12.00.07].

Мінеральні ресурси України (2018). Довідник. Державне науково-виробниче підприємство "Державний геологічний фонд України".

Мінеральні ресурси України (2020). Довідник. Державне науково-виробниче підприємство "Державний геологічний фонд України".

Мінеральні ресурси України (2021). Довідник. Державне науково-виробниче підприємство "Державний геологічний фонд України".

Москаленко, С.І. (2011). *Адміністративно-правове регулювання у сфері екологічної безпеки* [Автореф. дис. канд. юрид. наук: 12.00.07].

Музалевський, А.А., Карлін, Л.Н. (2011). Екологические риски: теория и практика. РГМУ, ВВМ.

Павличенко, А.В. (2017). *Екологічна небезпека експлуатації та ліквідації вугільних шахт: методологія оцінки, напрями і засоби зниження* [Автореф. дис. докт. техн. наук: 21.06.01].

Про схвалення Концепції Державної цільової програми справедливої трансформації вугільних регіонів України на період до 2030 року (2021). Постанова КМУ від 22 вересня 2021 р. № 1024. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1024-2021-%D0%BF#Text>

Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р. (2011). Закон України від 21 квітня 2011 р. № 3268–VI. *Офіційний вісник України*, 39, 30, Ст. 1581.

Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 р. (2019) Закон України від 28 лютого 2019 р. № 2697–VIII. *Офіційний вісник України*, 28, 29, Ст. 980.

Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 р. (2017). "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність". Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. *Урядовий кур'єр*, 167.

Прудник, С.В. (2018). *Адміністративно-правові засоби забезпечення екологічної безпеки в Україні* [Автореф. дис. канд. юрид. наук: 12.00.07].

Tubis, A., Werbńska-Wojciechowska, S., Wroblewski, A. (2020). Risk assessment methods in mining industry – a systematic review. *Appl.Sci.*, 10, 5172. doi:10.3390/app10155172.

References

Andreytsev, V.I. (2002). *Environmental law: educational and scientific-practical guide*. Knowledge-Press [in Ukrainian].

Concept of the State target program for the fair transformation of the coal regions of Ukraine for the period up to 2030 (2021). Resolution of the CMU dated September 22, 2021 №. 1024. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1024-2021-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

Environmental safety of coal deposits of Ukraine (2016). G.I. Rudko, O.I. Bondar (Eds.). Bukrek [in Ukrainian].

Ecological passports of regions (2019). <https://mepr.gov.ua/news/35913.html> [in Ukrainian].

Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035 (2017). "Safety, energy efficiency, competitiveness". Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine of August 18, 2017 No. 605-r. *Government Courier*, 167 [in Ukrainian].

Green Paper "Coal Market Regulation" (2018). Kyiv: BRDO Effective Regulation Office. <https://regulation.gov.ua/book/137-zelena-kniga-reguluvannya-rinku-vugilla> [in Ukrainian].

Kirin, R.S. (2018) Legal definition of the term "subsoil protection". *Legal Ukraine*, 7, 54–60 [in Ukrainian].

Lazarenko, V.A. (2010) *Administrative and legal regulation of environmental safety in Ukraine* [Extenet abstract of Candidate's Thesis (Law): 12.00.07] [in Ukrainian].

Mineral resources of Ukraine (2018). Handbook. State scientific and research enterprise "Geoinform of Ukraine" [in Ukrainian].

Mineral resources of Ukraine (2020). Handbook. State scientific and research enterprise "Geoinform of Ukraine" [in Ukrainian].

Mineral resources of Ukraine (2021). Handbook. State scientific and research enterprise "Geoinform of Ukraine" [in Ukrainian].

Moskalenko, S.I. (2011). *Administrative and legal regulation in the field of environmental safety* [Extenet abstract of Candidate's Thesis (Law): 12.00.07] [in Ukrainian].

Muzalevsky A.A., Karlyn L.N. (2011). *Ecological risks: theory and practice*. RGSU [in Russian].

On the Basic principles (strategy) of the state environmental policy of Ukraine for the period up to 2030 (2019). Law of Ukraine dated February 28, 2019 No. 2697–VIII. *Official Gazette of Ukraine*, 28, 29, Art. 980 [in Ukrainian].

Pavlychenko, A.V. (2017). *Environmental danger of operation and liquidation of coal mines: evaluation methodology, directions and means of reduction* [Extenet abstract of Doctor's Thesis (Techn.): 21.06.01] [in Ukrainian].

Prudnyk, S.V. (2018). *Administrative and legal means of ensuring environmental safety in Ukraine* [Extenet abstract of Candidate's Thesis (Law): 12.00.07] [in Ukrainian].

State balance of mineral reserves of Ukraine on January 1, 2021. (2021). *Coal. Issue 22. Book 1. State Geology and Subsoil Service of Ukraine*, State scientific and research enterprise "Geoinform of Ukraine" [in Ukrainian].

State-wide program for the development of the mineral and raw material base of Ukraine for the period until 2030 (2011). Law of Ukraine dated April 21, 2011 No. 3268-VI. *Official Gazette of Ukraine*, 39, 30, Art. 1581 [in Ukrainian].

Oleg ULYTSKYI, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

ORCID ID: 0000-0003-2674-2208

e-mail: olegulytsky@gmail.com

State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Mariia KURYLO, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

ORCID ID: 0000-0002-1411-2754

e-mail: kurilo@univ.kiev.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Volodymyr BALA, Ph.D. PhD (Geol.)

ORCID ID: 0000-0001-6180-5126

e-mail: balavv79@gmail.com

State Commission of Ukraine on Mineral Reserves, Kyiv, Ukraine

Tubis, A., Werbinska-Wojciechowska, S., Wroblewski, A. (2020). Risk assessment methods in mining industry – a systematic review. *Appl. Sci.*, 10, 5172. doi:10.3390/app10155172.

Отримано редакцією журналу / Received: 08.04.23

Прорецензовано / Revised: 19.07.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL RISK ACCORDING TO THE CRITERIA OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF COAL MINING ENTERPRISES OF THE DONTSK AND LUHANSK REGIONS

The peculiarities of the geological and technical conditions of the coal deposits of the Donetsk coal basin, which are concentrated within the Donetsk and Luhansk regions, are revealed. The main indicators are given and an analysis of the technical and economic state of the coal industry is performed using the example of the main coal mining enterprises of the studied territories. An assessment of the complex impact on the surrounding natural environment created by the main coal-mining enterprises was carried out, based on a detailed examination and identification of a number of factors of the creation of man-made load within the limits of technology technical complexes of coal mining facilities.

The assessment of technogenic and environmental risk based on the criteria of ecological and economic efficiency of coal mining enterprises of Donetsk and Luhansk regions made it possible to form the first approximate, but scientifically based ideas about the profitability (unprofitability) of coal mining activities of some enterprises, which is the basis for the further development of recommendations on consistency and expediency closing of mines in order to reduce the technogenic load. The article analyzes and uses data from the official environmental reporting of coal-mining enterprises, data from the Geoinform Ukrainy State Research Institute, the Ministry of Energy, the State Statistics Service, and scientific and methodological sources.

According to the results of the assessment of the parameter of ecological and economic efficiency of enterprises and analysis of its influence on the formation of ecological safety of production, none of the main coal-mining enterprises of Donetsk and Luhansk regions is considered ecologically safe. Enterprises of SE "Lysychanskvugilya", SE "Pervomaiskvugilya" (Luhansk region), as well as enterprises of SE "Myrnodgradvugilya" and SE "Selydivvugilya" (Donetsk region) are characterized by the lowest value of the coefficient of optimality of technological processes and are classified as extremely environmentally dangerous enterprises according to the results of the assessment.

Key words: *environmental risks, environmental safety management, coal mines, technogenic load factors, environmental and economic efficiency.*

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 553.045

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.10>

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

Сергій ПАЮК, голова ДКЗ

ORCID ID: 0000-0003-0592-4758

e-mail: golova@dkz.gov.ua

Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

ПРАВОВІ ТА МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ ЗАПАСІВ І РЕСУРСІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН В УКРАЇНІ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.М. Загнітком)

Наведено аналіз практичного застосування результатів геолого-економічної оцінки, її правові особливості та методичне забезпечення. Під час аналізу враховано особливості, пов'язані з різними стадіями, метою та об'єктами геолого-економічної оцінки. Поточний стан геологічного вивчення та аналіз надрокористування в Україні доводить нормативну і практичну важливість проведення геолого-економічної оцінки всіх стадій для різних видів спеціальних дозволів. Результати геолого-економічної оцінки забезпечують поповнення Державного балансу запасів корисних копалин відповідною інформацією для подальшого управління ресурсами. Дослідженнями авторів визначено поточні особливості чинних вимог до геолого-економічної оцінки, які потребують перегляду та приведення (адаптацію) до стандартів нормативно-методичного напрямку, які застосовують провідні країни світу в гірничодобувному секторі.

Із врахуванням досвіду проведення державної експертизи матеріалів геолого-економічної оцінки різних корисних копалин визначено подальші напрями розвитку методики оцінки за складовими геологічного та техніко-економічного вивчення запасів і ресурсів.

Ключові слова: геолого-економічна оцінка, родовища корисних копалин, стадії геологорозвідувальних робіт, промислове значення, техніко-економічне обґрунтування.

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначення, стадійність, об'єкти, мета і методика геолого-економічної оцінки (далі – ГЕО) зазначені у відповідних нормативно-правових документах (Класифікація запасів..., 1997; Кодекс України "Про надра"..., 1994; Положення..., 1994, 2003; Порядок..., 2011). Відповідно до чинної нормативно-методичної бази України ГЕО ділянки надр (родовища, рудопрояви) передбачає послідовне, стадійне вивчення, зі зростаючою деталізацією за двома головними напрямками. Перший напрям геологічного вивчення охоплює дослідження якісних та кількісних показників запасів і ресурсів корисної копалини. Другий напрям техніко-економічного вивчення визначає гірничотехнічні, економічні, соціально-екологічні та інші умови розробки родовищ корисних копалин і переробки мінеральної сировини. Відповідно до деталізації та обґрунтованості визначення різних параметрів оцінки виділяють детальну (ГЕО-1), попередню (ГЕО-2) і початкову (ГЕО-3) геолого-економічні оцінки.

Поняття ГЕО, її складові, мета, завдання, об'єкти, методика, фактори впливу та правові вимоги описані в монографіях та роботах багатьох учених (Балега та ін., 2018; Вельмер, 2001; Вижва та ін., 2018а, 2018б; Михайлов та Курило, 2010, 2015; Кирилюк та ін., 2019; Курило, 2010; Жикаляк, 2013; Рудько та ін., 2012, 2013). Результатами досліджень цих фахівців охарактеризовані різні аспекти проблематики ГЕО та встановлена важливість періодичного аналізу і його використання у різних сферах управління ресурсами. Відповідно до методики проведення ГЕО об'єктами геологічного та техніко-економічного вивчення є ділянки надр (родовища, рудопрояви, площі) пошукових, пошуково-оцінювальних та детальних стадій геологорозвідувальних робіт. Кожна стадія ГЕО має свої особливості у виборі методичних підходів, кінцевою метою яких є прийняття обґрунтованого рішення щодо інвестиційної привабливості об'єкта,

оцінки і доцільності подальших геологорозвідувальних, проєктних та інших робіт.

Україна була й залишається видобувною державою. Її мінерально-сировинний комплекс складається з ділянок надр, які залучені до промислового освоєння, а також ділянок, які перебувають на різних стадіях геологічного вивчення. У поточний час з близько 10000 облікованих у Державному балансі родовищ майже 3000 залучені до промислової розробки (Мінеральні ресурси України, 2021).

Актуальність об'єктивної ГЕО на різних стадіях геологорозвідувальних робіт і промислового освоєння родовищ (ділянок надр, рудопроявів, нафтогазоносних площ і т. д.) концептуально закладено в чинне національне законодавство у сфері надрокористування (Рудько та ін., 2013). Національним законодавством закладено механізми об'єктивної оцінки ділянок надр через процедуру проведення державної експертизи матеріалів ГЕО (Положення..., 1994). Державна експертиза покликана забезпечити надійну обґрунтованість оцінки з використанням єдиних науково-методичних критеріїв (екологічних, соціально-економічних, технологічних, геологічних та ін.).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Більшість перелічених публікацій і нормативних документів систематизують вимоги і особливості проведення ГЕО на різних стадіях геологічного і техніко-економічного вивчення. Такий підхід є традиційним для вітчизняної практики, але вимагає розширення та актуалізації відповідно до особливостей міжнародного досвіду й масштабування цілей оцінювання надр. На сьогодні важливим є розуміння відмінностей між ГЕО з метою обліку ресурсів і державного управління мінерально-сировинною базою, ГЕО з метою інвестування нових або реінвестування діючих об'єктів використання надр, ГЕО на різних етапах вивчення, освоєння і виснаження надр.

Формулювання цілей статті. Метою даного дослідження є аналіз і систематизація правових і таких аспектів:

- ступеня вивченості ділянки надр та базової мети оцінювання – завершення ГРР, інвестування, зміна виробничих умов при експлуатації та ін.;
- видів користування надрами та ступеня підготовки та залучення у використання;
- принципів гармонізації з іншими класифікаційними системами.

Стадії ГЕО та їх характеристика. Відповідно до Кодексу України про надра, ГЕО є невід'ємною складовою та вимогою геологічного вивчення надр. Подібно до стадій геологорозвідувальних робіт (Положення..., 1994) стадії ГЕО розглядаються як складові геологічного вивчення ділянок надр, що здійснюються починаючи з пошукових стадій геологорозвідувальних робіт. Типові складові геологічного вивчення й освоєння родовищ корисних копалин та стадій ГЕО зображено на рис. 1.



Рис. 1. Стадійність та складові геолого-економічної оцінки запасів та ресурсів корисних копалин

Аналіз процесу ГЕО, як зазначалось вище, виокремлює дві взаємопов'язані головні складові вивчення (напрями), визначення яких наведено у Класифікації (Класифікація запасів..., 1997).

Геологічне вивчення здійснюється комплексом спеціалізованих робіт та досліджень (топографічні, геофізичні, гідрогеологічні, буріння свердловин, опробування гірничих виробок, лабораторні та ін.). Спеціалізовані роботи, відповідно до стадії, спрямовані на визначення речовинного складу, кількості, якості і технологічних властивостей корисних копалин, геологічної будови, гідрогеологічних, гірничо-геологічних та інших умов залягання їх покладів для обґрунтування проектних рішень щодо способу і системи видобутку та схеми комплексної переробки мінеральної сировини;

Техніко-економічне вивчення здійснюється із врахуванням гірничо-технічних, географо-економічних, соціально-екологічних та інших умов розробки родовищ корисних копалин і переробки мінеральної сировини, а також умов реалізації товарної продукції гірничого виробництва. Важливою складовою вивчення відповідно до стадії є економічна оцінка ефективності промислового освоєння за оптимальним варіантом розробки.

Залежно від ступеня геологічного й техніко-економічного вивчення об'єкта виділяють три стадії геолого-економічної оцінки (Класифікація запасів..., 1997).

Початкова геолого-економічна оцінка (ГЕО-3) – обґрунтування доцільності інвестування пошуково-розвідувальних робіт на ділянках, перспективних щодо відкриття родовищ корисних копалин. ГЕО-3 здійснюється

на основі попередньо розвіданих запасів і кількісної оцінки ресурсів корисних копалин, подається у формі техніко-економічних міркувань (ТЕМ) щодо їх можливого промислового значення. Оцінка можливості промислового освоєння передбачуваних родовищ корисних копалин обґрунтовується укрупненими техніко-економічними розрахунками на основі доведеної аналогії з відомими промисловими родовищами або технічного завдання замовника геологорозвідувальних робіт.

Попередня геолого-економічна оцінка (ГЕО-2) – обґрунтування доцільності промислового освоєння родовища (покладу) корисних копалин та інвестування геологорозвідувальних робіт з його розвідки і підготовки до експлуатації. ГЕО-2 здійснюється на основі попередньо розвіданих і розвіданих запасів корисних копалин, оформлюється як техніко-економічна доповідь (ТЕД) про доцільність подальшої розвідки, у тому числі дослідно-промислової розробки родовища (покладу). Водночас оцінка ефективності розробки родовища проводиться на рівні кінцевої товарної продукції гірничого виробництва; техніко-економічні показники розраховують або приймають за аналогією.

Детальна геолого-економічна оцінка (ГЕО-1) – визначення рівня економічної ефективності виробничої діяльності гірничодобувного підприємства, що створюється або реконструюється, і доцільності інвестування робіт з його проектування та будівництва. ГЕО-1 здійснюється на основі розвіданих запасів корисних копалин і включає техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) постійних кондицій для їх підрахунку. Детальність техніко-

економічних розрахунків і надійність фінансових показників ГЕО-1 мають бути достатніми для прийняття інвестиційного рішення без додаткових досліджень.

Геологічне вивчення надр (та ГЕО як його складова) реалізується в рамках взаємодії двох суб'єктів – держави та надрокористувача в інтересах третього – народу України (власник надр). Держава як інституція забезпечує правовий супровід надрокористування, розвиток мінерально-сировинної бази, економічне регулювання, моніторинг і контроль у сфері геологічного вивчення й використання надр. Надрокористувачі, у свою чергу, виступають як безпосередні споживачі геологічної інформації для отримання мінеральної сировини ("геологічного продукту"). Слід зауважити, що у сфері геологічного вивчення й використання надр держава є посередником і представляє інтереси народу України, виключною власністю якого є надра, відповідно до чинної нормативно-правової бази України (Кодекс України "Про надра"..., 1994).

Механізм взаємодії суб'єктів надрокористування в Україні, фінансове забезпечення геологічного вивчення, причини та основні виконавці ГЕО детально описані в монографії (Кирилюк та ін., 2019).

Державна експертиза та оцінка запасів корисних копалин України. Відповідно до законодавства результати проведення ГЕО потребують "верифікації", оцінки достовірності та визначення промислового значення корисних копалин. Достовірність проведеної ГЕО здійснюється під час проведення державної експертизи матеріалів ГЕО корисних копалин.

Мета державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин визначається постановою КМУ (Положення..., 1994) і передбачає:

- об'єктивну оцінку мінерально-сировинної бази країни на основі єдиних науково-методичних критеріїв;
- забезпечення достовірності оцінених запасів корисних копалин і відповідності їхніх якісних показників запланованим напрямкам використання;
- створення умов для найповнішого, економічно раціонального й комплексного використання запасів родовищ корисних копалин із дотриманням вимог щодо охорони надр і навколишнього природного середовища;
- проведення порівняльної оцінки кількісних та якісних показників запасів корисних копалин, їх географо-економічних, гірничо-геологічних, гідрогеологічних та інших умов залягання для визначення реальної промислової цінності;
- забезпечення дотримання єдиного підходу до визначення техніко-економічних і фінансових показників господарської діяльності, пов'язаної з видобуванням корисних копалин у межах конкретної ділянки надр;
- використання оцінок техніко-економічних і фінансових показників господарської діяльності для цілей інвестиційного планування та оподаткування.

Основними завданнями державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин є:

- оцінка достовірності запасів корисних копалин і наявних у них корисних компонентів на основі дослідження та аналізу матеріалів геологічного вивчення надр щодо закономірностей формування й розміщення покладів корисних копалин, їх речовинного складу й технологічних властивостей, гірничо-геологічних, гідрогеологічних та інших умов залягання;
- встановлення кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів родовищ з урахуванням раціонального використання всіх корисних копалин і наявних у них корисних компонентів (відповідно до стадії

геологічної вивченості та ступеня підготовленості до промислового освоєння родовища корисних копалин можуть встановлюватися попередні, тимчасові, постійні та оперативні кондиції);

- визначення кількості та якості запасів корисних копалин і компонентів, ступеня їх вивченості й підготовленості до промислового освоєння;
- оцінка промислового значення запасів корисних копалин і компонентів за умови їх найповнішого, економічно раціонального й комплексного вилучення та використання на основі сучасних промислових технологій;
- оцінка відповідності наявного в межах родовищ вмісту речовин, що негативно впливають на довкілля і здоров'я людей під час видобутку, переробки й використання корисних копалин, а також складування відходів виробництва, вимогам стандартів, нормативів, лімітів, санітарно-гігієнічних норм і правил, затверджених у встановленому порядку.

Відповідно до ступеня вивченості родовища корисних копалин державна експертиза може проводитися за матеріалами ГЕО:

- початково оцінених ділянок надр;
- попередньо оцінених родовищ корисних копалин;
- родовищ корисних копалин, підготовлених до промислового освоєння;
- родовищ корисних копалин, що перебувають в експлуатації.

Об'єктами експертизи можуть бути матеріали детальної, попередньої або початкової оцінки запасів і ресурсів корисних копалин, матеріали техніко-економічного обґрунтування кондицій на мінеральну сировину, матеріали техніко-економічного обґрунтування коефіцієнтів видобутку нафти, газу та конденсату, проекти промислового освоєння родовищ, реконструкції або ліквідації діючих гірничодобувних і збагачувальних підприємств, матеріали техніко-економічного обґрунтування доцільності подальшої розвідки, розробки або списання з державного обліку запасів корисних копалин тощо.

Як зазначено вище, державна експертиза та оцінка запасів корисних копалин проводиться на основі єдиних науково-методичних критеріїв. Такий підхід методично та "інструментально" забезпечує Класифікація.

Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр. Опрацювання Класифікації розпочато ДКЗ в 1995 р. на підставі прийнятого Верховною Радою України Кодексу України про надра. У 1997 р. Постановою КМУ від 05.05.1997 № 432 затверджена перша редакція Класифікації. Поточний варіант Класифікації включає зміни, що вносились у 2004, 2008 та 2018 роках.

Впроваджена Україною Класифікація розроблена відповідно до Рамкової класифікації ресурсів ООН (далі – РКООН) (United Nations Framework Classification..., 2019), де запаси і ресурси корисних копалин, що характеризуються певними рівнями промислового значення і ступеня техніко-економічного та геологічного вивчення, розподіляються на класи, які ідентифікуються за допомогою міжнародного трипорядкового цифрового коду.

Класифікація складається з трьох осей категорій, які формують код класу (рис. 2):

- категорії за рівнем економічного, соціального та промислового значення (вісь E);
- категорії за ступенем техніко-економічного вивчення та підготовленості до розробки (вісь F);
- категорії за ступенем геологічного вивчення та достовірності (вісь G).

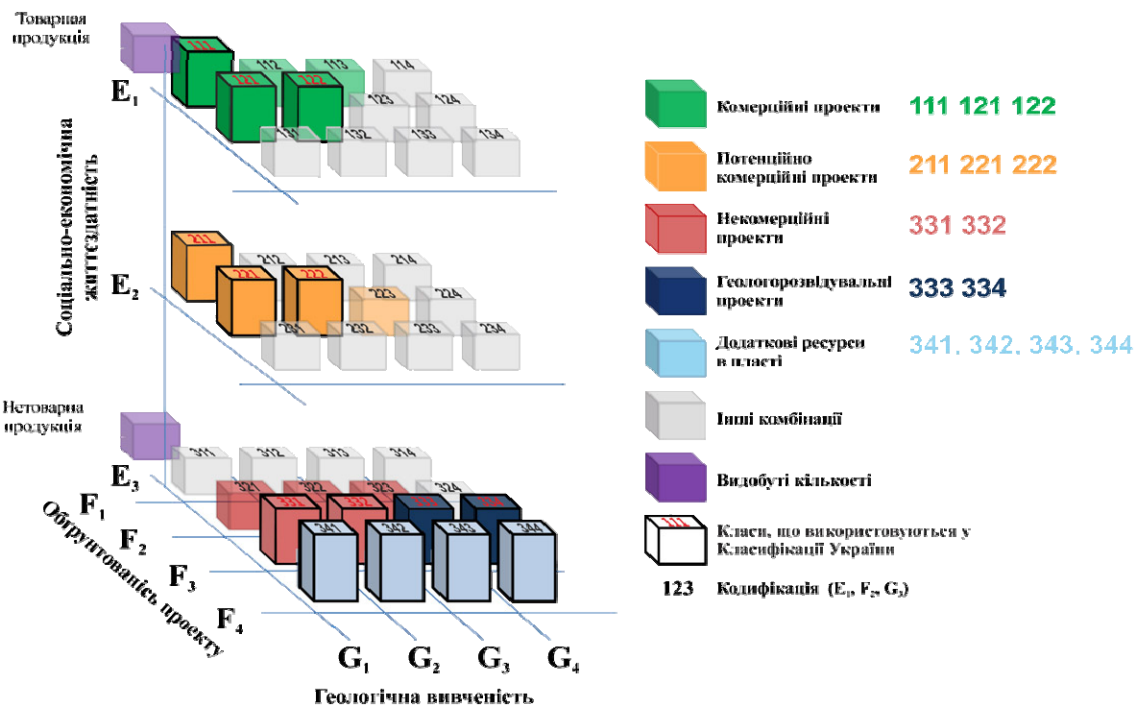


Рис. 2. Принципи розподілу запасів і ресурсів корисних копалин, що прийняті у Класифікації України (Кирилюк та ін., 2019)

За ступенем геологічного вивчення та достовірності (Вісь G) запаси корисних копалин поділяються на дві категорії: розвідані на попередньо розвідані; ресурси – перспективні та прогнозні.

Розвідані запаси (код G1) – це кількості корисних копалин на місці залягання, кількість, якість, технологічні властивості, гірничо-геологічні, гідрогеологічні та інші умови залягання яких вивчені з високим ступенем достовірності і повноти.

Попередньо розвідані запаси (код G2) – це кількості корисних копалин, кількість, якість, технологічні властивості, гірничо-геологічні, гідрогеологічні та інші умови залягання яких вивчені з повнотою, достатньою для вірогідного техніко-економічного визначення промислового значення родовища (покладу) в цілому.

Перспективні ресурси (код G3) – це кількості корисних копалин, кількісно оцінені за результатами геологічного, геофізичного, геохімічного та іншого вивчення ділянок надр у межах продуктивних площ з відкритими родовищами корисних копалин відомого геолого-промислового типу.

Прогнозні ресурси (код G4) – це кількості корисних копалин, що враховують потенційну можливість формування родовищ певних геолого-промислових типів, що ґрунтуються на позитивних стратиграфічних, палеогеографічних, літологічних, тектонічних, мінералогічних, геофізичних та інших передумовах, установлених у межах перспективних площ, де промислові родовища ще не відкриті.

За ступенем техніко-економічного вивчення та підготовленості до розробки (Вісь F) запаси корисних копалин поділяються на: запаси, що розробляються, затверджені для розробки або для промислового освоєння (код F1); запаси, обґрунтовані для розробки, розробка запасів очікується, зупинена або нерентабельна (код F2); розробка запасів і ресурсів не визначена (код F3); залишкові (додаткові) у надрах запаси (код F4);

За рівнем економічного, соціального та промислового значення (Вісь E) запаси корисних копалин

поділяють на групи: балансові (код E1), умовно балансові (код E2), позабалансові (код E2) та з невизначеним промисловим значенням (код E3).

Відповідно до категорій та кодів формуються класи за РКООН-2009:

- комерційні запаси (111, 121, 122);
- можливо комерційні запаси (211, 221, 222);
- некомерційні запаси (331, 332);
- ресурси геологорозвідувальних робіт (333, 334);
- залишкові (додаткові) запаси (341, 342) і ресурси (343, 344).

ГЕО для різних видів користування надрами.

Перелік видів користування надрами та вимоги щодо здійснення конкретних видів діяльності встановлені в ст. 14 Кодексу України про надра (Кодекс України "Про надра"..., 1994, зі змінами). Виділяються такі види користування надрами залежно від цілей їх використання:

• геологічного вивчення, у тому числі дослідно-промислової розробки, корисних копалин з подальшим видобуванням корисних копалин (промисловою розробкою родовищ);

- видобування корисних копалин;

• будівництва та експлуатації підземних споруд, не пов'язаних з видобуванням корисних копалин, у тому числі споруд для підземного зберігання нафти, газу та інших речовин і матеріалів, перелік яких встановлюється Кабінетом Міністрів України, захоронення шкідливих речовин і відходів виробництва, скидання стічних вод, отримання геотермальної енергії (теплової енергії надр), експлуатації підземних споруд, пов'язаної із запобіганням підтопленню навколишнього природного середовища внаслідок закриття шахт;

• створення геологічних територій та об'єктів, що мають важливе наукове, культурне, санітарно-оздоровче значення (наукові полігони, геологічні заповідники, заказники, пам'ятки природи, лікувальні, оздоровчі заклади) (крім нафтогазоносних надр);

• виконання робіт (проведення діяльності), передбачених угодою про розподіл продукції.

Види спеціальних дозволів на користування нафтогазоносними надрами визначаються Законом України "Про нафту і газ".

Дозволи надаються Держгеонадрами переможцям аукціонів з їх продажу та без проведення аукціонів у випадках, передбачених законодавством. На кожний вид користування надрами в межах конкретної ділянки надається окремий дозвіл. Одному заявникові може надаватися дозвіл на видобування одного виду корисних копалин з кількох близько розташованих родовищ, якщо доцільність їх спільної розробки підтверджується відповідним рішенням ДКЗ.

У межах однієї ділянки надр можуть проводитися роботи з геологічного вивчення та видобування різних видів корисних копалин за кількома дозволами. Водночас в угоді на користування надрами визначаються просторові межі та координати кожного виду корисної копалини.

Враховуючи те, що переважана більшість наданих спеціальних дозволів на користування надрами – це геологічне вивчення, геологічне вивчення в тому числі дослідно-промислової розробки та видобування корисних копалин, далі будуть охарактеризовані особливості практики ГЕО таких видів користування надрами. Слід відзначити, що згідно із законопроектом 4187 щодо внесення змін до деяких законодавчих актів у сфері надрокористування, з'являється новий вид, який об'єднує геологічне вивчення в один – геологічне вивчення, у тому числі дослідно-промислової розробки родовищ з подальшим видобуванням корисних копалин (промисловою розробкою родовищ).

Геологічне вивчення, у тому числі дослідно-промислової розробки родовищ з подальшим видобуванням корисних копалин (промисловою розробкою родовищ). Отримавши такий вид користування, надрокористувач (підприємства, установи, організації, громадяни України, а також іноземці та особи без громадянства, іноземні юридичні особи) у визначений термін (від 3 до 20 років), повинен здійснити комплекс геологорозвідувальних робіт, з метою виконання програми робіт та цільового завдання відповідно до особливих умов спеціального дозволу та реєстраційних документів (форми 3-гр).

Під час вивчення забезпечується раціональне та ефективне проведення робіт, пов'язаних із геологічним вивченням надр; повнота вивчення геологічної будови надр, гірничо-технічних, гідрогеологічних та інших умов розробки розвіданих родовищ; достовірність визначення кількості та якості запасів усіх корисних копалин і наявних у них компонентів; геолого-економічна оцінка запасів корисних копалин; ведення робіт способами і методами, які б виключали невиправдані втрати корисних копалин, зниження їх якості, надмірне руйнування ґрунтового покриву та забруднення навколишнього середовища.

Технічні засоби, методичне забезпечення, вимоги щодо геологічного вивчення більшості видів корисних копалин зазначені в широкому переліку законодавчих актів (Положення, Порядок і т. д.), інструкціях, методичних керівництвах. Частина таких документів є обов'язковою для організацій всіх форм власності, частина носить рекомендаційний характер. Положення та вимоги, які сформовані понад 30 років тому, визначають безумовну і безперервну стадійність ГЕО. Перехід на іншу стадію відбувається тільки після завершення попередньої та експертизи матеріалів її оцінки для отримання висновку

щодо доцільності продовження робіт (інвестиційні "ворота" – протокол ДКЗ, НТР).

Такий вид спеціального дозволу носить "наскрізний" характер від геологічного вивчення до права оформити інший вид – видобування, але на практиці відповідно до законодавства розподіляється на складові. Зокрема перехід до ДПР можливий тільки після ГЕО-2 за результатами геологічного вивчення (Про затвердження Положення..., 2003).

Поточний аналіз надрокористування в Україні показує, що під час геологічного вивчення, у тому числі дослідно-промислової розробки родовищ з подальшим видобуванням корисних копалин (промисловою розробкою родовищ), на більшості об'єктів, з метою оптимізації геологічного вивчення та виконання особливих умов спеціального дозволу, надрокористувачі проводять ГЕО-2 (іноді ГЕО-3 та ГЕО-1). Це дає змогу їм перейти до іншого виду користування (видобування) на умовах підприємницького (геологічного) ризику за умови в подальшому проведення ГЕО-1 і затвердження запасів та ресурсів у ДКЗ.

Порушення стадійності або оптимізація процесу геологічного вивчення досить поширена серед надрокористувачів приватної форми власності і закладає системну проблему, що відображається на достовірності обліку мінеральної сировини в Державному балансі та раціональності і ефективності комплексного використання надр.

Видобування. Отримавши спеціальний дозвіл на видобування, потреба проведення ГЕО для запасів, що розробляються, може бути зумовлена нормативними і виробничими причинами (наприклад, виконання особливих умов спеціального дозволу) або пов'язана з інвестиційними процесами. Найпоширеніші причини проведення ГЕО для родовищ, що експлуатуються наведено на рис. 3.

Додатково можливими причинами проведення ГЕО (у більшості випадків ГЕО-1) для родовищ, що введені в експлуатацію, є виявлення нових напрямків використання мінеральної сировини, списання запасів корисних копалин, ліквідація гірничодобувного підприємства, зміна законодавства та ін.

Як зазначалось вище, вимоги щодо рівня геологічного та техніко-економічного вивчення регламентуються рядом нормативно-методичних документів, і можуть структурно і методично відрізнятися відповідно до причин та мети проведення ГЕО під час промислового освоєння родовища.

Для прикладу – під час списання запасів корисних копалин (втрати промислового значення) або розширення меж по площі чи глибині (приріст запасів), крім системного аналізу рівня геологічного вивчення, виконується поваріантний аналіз доцільності спільної та окремої розробки затверджених (детально оцінених) запасів та запасів ділянок надр, що плануються до розширення або списання.

Доволі часто у нормативній практиці надрокористування під час реєстрації робіт (форма 3-гр), виконання рекомендацій ДКЗ та інших правових обставин, надрокористувач проводить повторну геолого-економічну оцінку або геолого-економічну переоцінку. Такі види робіт відповідають змісту та складовим ГЕО-1 і можуть відрізнятися метою та методичними особливостями оцінки об'єкта надрокористування (списання, приріст, розширення напрямків використання корисних копалин і т. ін.).



Рис. 3. Найпоширеніші причини проведення детальної геолого-економічної оцінки родовищ, що експлуатуються (Кирилюк та ін., 2019)

Висновки

Проведення ГЕО корисних копалин родовища або ділянки надр може здійснюватися на кожному етапі геологічного та техніко-економічного вивчення об'єкта.

Система ГЕО комплексний процес досліджень, який визначає за результатами геологічного та техніко-економічного вивчення, відповідно до Класифікації, оптимальний варіант кондицій на мінеральну сировину, промислове значення, раціональність і комплексність використання надр. Важливість збереження та розвитку методичної бази ГЕО зумовлена створенням збалансованої системи управління мінерально-сировинним комплексом.

Поточний стан геологічного вивчення та аналіз надрокористування в Україні доводить нормативну і практичну важливість проведення ГЕО всіх стадій для різних видів спеціальних дозволів. Результати ГЕО забезпечують поповнення Державного балансу запасів корисних копалин відповідною інформацією для подальшого управління ресурсами. Крім того, слід проводити повторну ГЕО об'єктів, облікованих у Державному балансі за результатами оцінок, здійснених за класифікаціями 1960 та 1981 років (протоколи ДКЗ СРСР, УкрТКЗ, відомчі НТР).

Технологічний розвиток економік світу та його потреба в різноманітних ресурсах вимагає актуалізації (верифікації) поточного стану мінерально-сировинної бази України. У контексті цього процесу ГЕО теж потребує вдосконалення методики та нормативно-правового забезпечення. Зокрема, використання під час оцінки об'єктів надрокористування різних класифікаційних систем, які діють у різних юрисдикціях і мають різні вимоги до геологічного і техніко-економічного вивчення, потребує їхньої гармонізації та адаптації до чинного законодавства.

Під час проведення державної експертизи, відповідно до внесених змін у Кодекс про надра, передбачена можливість виконання оцінки запасів і ресурсів за іншими класифікаційними системами (шаблон CRIRSCO, SPE (PRMS) та ін.). Розробка та впровадження напряму "комерційної" ГЕО із врахуванням гармонізації та адаптації інших класифікаційних систем сприятиме надходженню інвестицій у гірничодобувний сектор України.

Список використаних джерел

- Балега, А., Вижва, С., Курило, М. (2018). Інституційне забезпечення геологічного вивчення надр: національний вимір (практика) та міжнародний досвід. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(83), 63–72.
- Вельмер, Ф.В. (2001). *Экономические оценки месторождений*. Логос.
- Вижва, С., Курило, М., Балега, А. (2018b). Основні інструменти державного планування і фінансування забезпечення геологічного вивчення надр в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(81), 56–62.
- Вижва, С.А., Курило, М.М., Балега, А.В. (2018a). Регіональні аспекти розвитку й відтворення вітчизняної мінерально-сировинної бази та способи їхнього фінансового забезпечення. *Мінеральні ресурси України*, (4), 12–17.
- Жикаляк, М.В. (2016). Виснаження ефективних запасів корисних копалин – загроза національній безпеці України. *Мінеральні ресурси України*, 3, 3–7. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mru_2016_3_2.
- Кирилюк, О.В., Рудько, Г.І., Ловиницьких, 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.
- Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр. (1997). Постанова Кабінету Міністрів України № 432 від 05.05.97. *Офіційний вісник України*, 19, 104.
- Кодекс України "Про надра" від 27.07.1994 р. № 132/94. (1994). *Відомості Верховної Ради України*, 36, 340.
- Курило, М.М. (2010). Особливості визначення параметрів кондицій на мінеральну сировину для вітчизняних родовищ залізистих кварцитів, які розробляються. *Вісник Криворізького економічного інституту КНЕУ*, 2, 133–139.
- Михайлов, В.А., Курило, М.М. (2010). *Мінерально-сировинна база флюсової сировини України*. Ніка-центр.
- Михайлов, В.А., Курило, М.М. (2015). *Базові терміни і поняття економічної геології*. ВПЦ "Київський університет".
- Мінеральні ресурси України. (2021). *Інформаційний ресурс*. <http://minerals-ua.info/>
- Положення про порядок організації та виконання дослідно-промислової розробки родовищ корисних копалин загальнодержавного значення. (2003). Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 34/м від 3 березня 2003 р. *Офіційний вісник України*, 21, 976.
- Положення про порядок проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин. (1994). Постанова Кабінету Міністрів України від 22.12.1994 р. № 865. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/865-94-%D0%BF#Text>
- Положенням про стадії геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини. (2000). Наказ Комітету України з питань геології та використання надр від 15.02.2000 № 19.
- Порядок надання спеціальних дозволів на користування надрами. (2011). Постанова Кабінету Міністрів від 30 травня 2011 р. № 615. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/615-2011-%D0%BF#Text>
- Рудько, Г.І., Дудінов, В.О., Бурдейний, Т.О., Майборода, Є.І., Нецький, О.В., Лагода, О.А., Цибульська, О.Б. (2013). *Геолого-економічна та вартісна оцінка родовищ корисних копалин як показник ефективності інвестиційних проектів*. Букрек.
- Рудько, Г.І., Плотніков, О.В., Радованов, С.В. (2012). *Геолого-економічна оцінка окислених залізистих кварцитів в залізисто-кременистих формаціях докембрію Українського щита*. Букрек.

United Nations Framework Classification for Resources (2019). *ECE ENERGY SERIES* No. 61. https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/publ/UNFC_ES61_Update_2019.pdf

References

- Balega, A., Vyzhva, S., Kurylo, M. (2018). Institutional support of geological study of the subsurface: national dimension (practice) and international experience. *Vysnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(83), 63–72 [in Ukrainian].
- Classification of reserves and resources of minerals of the State Fund of Subsoil. (1997). Approved by the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 432 of 05.05.97. *Official Gazette of Ukraine*, 19, 104 [in Ukrainian].
- Code of Ukraine "On Subsoil" of July 27, № 132/94. (1994). *Information of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 36, 340 [in Ukrainian].
- Kurilo, M.M. (2010). Peculiarities of determining cut-off parameters for domestic ferruginous quartzite deposits that are being developed. *Bulletin of Kryvyi Rih Economic Institute KNEU*, 2, 133–139 [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].
- Mineral resources of Ukraine (2021). [in Ukrainian]. <http://minerals-ua.info/>
- Mykhailov, V.A., Kurilo, M.M. (2015). *Basic terms and concepts of economic geology. Textbook*. PPC "Kyiv University" [in Ukrainian].
- Mykhaylov, V.A., Kurylo, M.M. (2010). *Mineral and raw material base of flux raw materials of Ukraine*. Nika Center [in Ukrainian].
- Procedure for granting special permits for the use of subsoil (2011). Resolution of the Cabinet of Ministers of May 30, 2011 № 615. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/615-2011-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
- Regulations on the procedure for conducting state examination and assessment of mineral reserves (1994). Decree of the Cabinet of Ministers of

Ukraine dated 22.12.1994 No. 865. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/865-94-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

Regulations on the procedure for organization and implementation of research and industrial development of mineral deposits of national importance. (2003). Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine № 34, March 3, 2003. *Official Gazette of Ukraine*, 21, 976 [in Ukrainian].

Rudko, G.I., Dudinov, V.O., Burdeinyi, T.O., Maiboroda, E.I., Netskyi, O.V., Lagoda, O.A., Tsybul'ska, O.V. (2013). *Economic-geological and cost estimate of mineral deposits as an index of effectiveness of investment projects*. Bukrek [in Ukrainian].

Rudko, G.I., Plotnikov, O.V., Radovanov, S.V. (2013). *Geology of oxidized quartzites of iron ore deposits of the Kryvyi Rih basin*. Bookrek [in Ukrainian].

United Nations Framework Classification for Resources (2019). *ECE ENERGY SERIES* No. 61 [in Ukrainian]. https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/publ/UNFC_ES61_Update_2019.pdf

Vyzhva, S., Kurylo, M., Balega, A. (2018b). The main tools of state planning and funding for geological study of the subsurface in Ukraine. *Vysnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(81), 56–62 [in Ukrainian].

Vyzhva, S.A., Kurylo, M.M., Balega, A.V. (2018a). 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].

Wellmer, F.W. (2001). Economic evaluation of deposits. Logos [in Russian].

Zhikalyak, M.V. (2016). Depletion of effective reserves of minerals – a threat to the national security of Ukraine. *Mineral resources of Ukraine*, 3, 3–7.

Отримано редакцією журналу / Received: 03.06.23

Прорецензовано / Revised: 27.09.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Stanislav LYTUVYNIUK, PhD

ORCID ID: 0000-0003-3763-2100

e-mail: lytvyniuksf@gmail.com

State Commission of Ukraine on Mineral Resources (SCMR), Kyiv, Ukraine

Sergii PAIUK, Head of SCMR

ORCID ID: 0000-0003-0592-4758

e-mail: golova@dkz.gov.ua

State Commission of Ukraine on Mineral Resources (SCMR), Kyiv, Ukraine

LEGAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF GEOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF MINERAL RESERVES AND RESOURCES IN UKRAINE: STATUS AND PROSPECTS

Practical application analysis of geological and economic assessment (GEA) results, its legal features and methodological support have been provided. Peculiarities associated with different GEA stages, purposes and objects have been considered during the analysis.

The current state of geological study and analysis of subsoil use in Ukraine proves the regulatory and practical significance of geological and economic assessment of all stages for various types of special permits. Geological and economic assessment results ensure the State Balance of Mineral Reserves being updated with relevant information for further resource management. The authors' research has determined peculiarities of current requirements for geological and economic assessment, which require revision and alignment (adaptation) with regulatory and methodological standards used by the world's leading countries in the mining sector.

Further directions for the assessment methodology development based on components of the geological and feasibility study of reserves and resources considering the experience in state expertise of geological and economic assessment materials on various minerals have been determined in the article.

Keywords: geological and economic assessment, mineral deposits, geological exploration stages, commercial significance, feasibility study.

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 553.3(477.63)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.11>

Володимир ПОКАЛЮК¹, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-9282-0246
e-mail: pvskan@ukr.net

Валентин ВЕРХОВЦЕВ¹, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-1015-6725
e-mail: verkhovtsev@ukr.net

Вікторія ГУБІНА¹, канд. геол.-мінералог. наук
ORCID ID: 0000-0001-7486-5451
e-mail: gvg131619@gmail.com

Віктор ЯЦЕНКО¹, канд. геол.-мінералог. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-8113-5702
e-mail: vgyatsenko@gmail.com

Лариса ЗАБОРОВСЬКА¹, канд. геол. наук
ORCID ID: 0000-0001-7848-5528
e-mail: zaborovskayalp63@gmail.com

Олена ЛАВРИНЕНКО¹, д-р хім. наук
ORCID ID: 0000-0002-9256-1221
e-mail: alena.lavrynenko@gmail.com

Євген МАЙБОРОДА², асп.
ORCID ID: 0009-0002-0304-5362
e-mail: mayboroda1986@gmail.com

¹Державна Установа "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України", Київ, Україна
²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

БРЕКЧІЇ ОБРУШЕННЯ – "НОВИЙ" ТИП ТЕХНОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ УТВОРЕНЬ/ТІЛ/РОДОВИЩ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

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

На підставі геолого-картувальних, структурних, мінералого-петрографічних, геохімічних, петрофізичних досліджень у залізорудних кар'єрах "Південний" та "Північний" Саксаганського району Криворізького залізорудного басейну (Кривбасу) визначено "новий" морфологічний й генетичний тип техногенних утворень – брекчій обрушення, сформованих унаслідок зрушення гірських мас над зонами підземного видобутку. Зазначені брекчії складають величезні об'єми в межах кар'єрів, утворюючи фактично нові масштабні техногенні геологічні тіла зі своєю морфологією, речовинним складом і фізичними властивостями, що відрізняються від вихідних материнських порід. Вони займають майже 100 % приосереджених ділянок кар'єрів, а також значні об'єми їх західних ("висячих") бортів. Разом з рештками ціликів залізистих кварцитів і багатой руди, залишених після підземного видобутку, вони є об'єктом сучасного промислового видобутку. Брекчії обрушення – це нові техногенні гірські породи. Генетично та морфологічно вони повністю відповідають сутності техногенних утворень, і до них цілком правомірно застосовувати, у разі їх економічно доцільного видобутку, понятійну та правову базу техногенних родовищ, так само як це загально визнано для насипних відвалів і шламосховищ. Все це ставить питання про актуальність внесення цих утворень до сучасних класифікацій техногенних родовищ Кривбасу як окремого типу.

Ключові слова: Криворізький залізорудний басейн, окиснені залізні руди, техногенні утворення, брекчії обрушення, зони зрушення.

Постановка проблеми. Одним із перспективних напрямів у пошуку додаткових джерел мінеральної сировини є залучення до розробки техногенних родовищ. Для ефективного і комплексного використання цих родовищ необхідно їх класифікувати за комплексом ознак. Нині термінологія і класифікація техногенної сировини доповнюються у міру поглиблення досліджень і практичних робіт у сфері розробки родовищ конкретного типу.

Унікальними техногенними утвореннями Криворізького залізорудного басейну (Кривбасу) є зони зрушення, які утворюються внаслідок підземного видобутку залізної руди з обрушенням у вироблений простір вмісних та налегких порід. На поверхні внаслідок зрушення гірських мас формується характерний рельєф просідання та провалення. В об'ємі масиву корінних порід утворюються нові техногенні геологічні тіла, складені брекчіями обрушення. Сучасний видобуток корисних копалин у зазначених зонах зрушення вимагає додаткового вивчення цих зон та аргументації техногенної природи їх складових елементів.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Зонам зрушення гірських мас над підземними виробками присвячено багато досліджень у публікаціях з комплексної розробки корисних копалин (Шашурин, 1962; Куликов, 1972; Казикаев, 2008; Черный, 1980; Черных и др., 2010). Для Кривбасу ця тема висвітлювалась в роботах (Ривкин, 1959; Черный, 1959; Черный, 1980; Казаков, 1999; Малахов, 2003; Денисик, Задорожня, 2013). Дослідники наводять різні варіанти внутрішньої будови та зональності цих зон залежно від конкретної геологічної ситуації. Зазвичай область зрушення гірських порід поділяють на три основні зони: зону обрушення; зону тріщин і розломів; зону прогину без розриву суцільності порід (рис. 1).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Основна частина публікацій щодо зон зрушення над підземними виробками торкається головним чином технологічних, економічних та екологічних питань. Водночас речовинні та деякі геолого-структурні аспекти будови зазначених зон зрушення у Кривбасі, на жаль, вивчені вкрай недостатньо. Слід зазначити, що в сучасних

класифікаціях техногенних утворень/родовищ України і Кривбасу (Евтехов, 2003; Черненко, 1998; Олійник та ін., 2012; Черных и др., 2005, 2010) цей тип досі не зафіксований. Термінологія та характеристичні ознаки нових техногенних геологічних тіл/порід, що утворюються внаслідок зрушення гірських мас, не врегульовані.

Об'єкт, методи та мета досліджень. Проведені нами геолого-картувальні, структурні, мінералого-петрографічні, геохімічні, петрофізичні роботи в межах

кар'єрів "Південний" та "Північний" Саксаганського району Кривбасу (рис. 2) (колишні гірничі відводи рудників ім. Кірова та ім. Дзержинського) дали змогу охарактеризувати за комплексом ознак цей "новий" морфологічний і генетичний тип техногенних утворень/родовищ у Кривбасі – зон зрушення внаслідок підземного видобутку, а також поставити питання про актуальність внесення його до сучасних класифікацій техногенних родовищ Кривбасу як окремого типу.

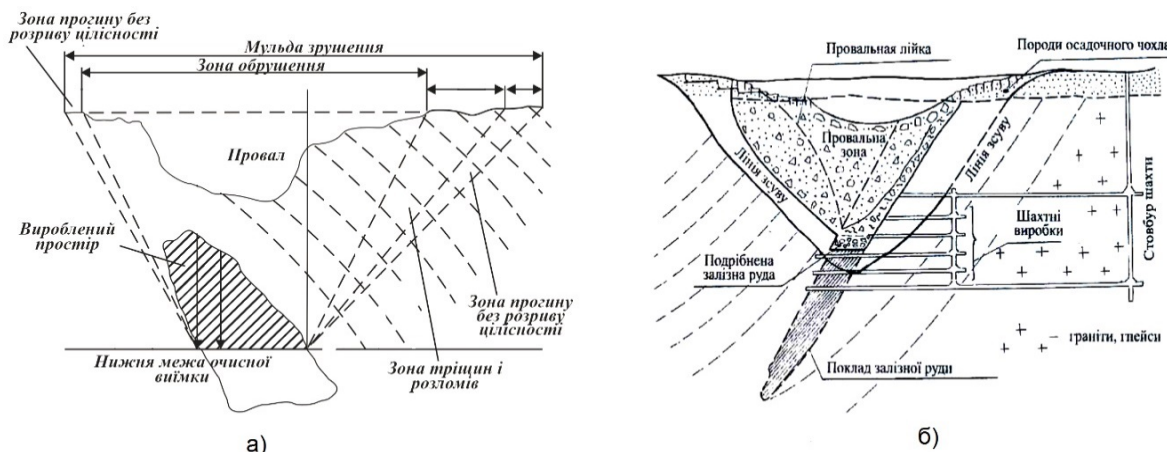


Рис. 1. Будова зон зрушення над підземними виробками:
а) за С.Л. Шашуріним (Шашурин, 1962); б) за І.М. Малаховим (Малахов, 2003)

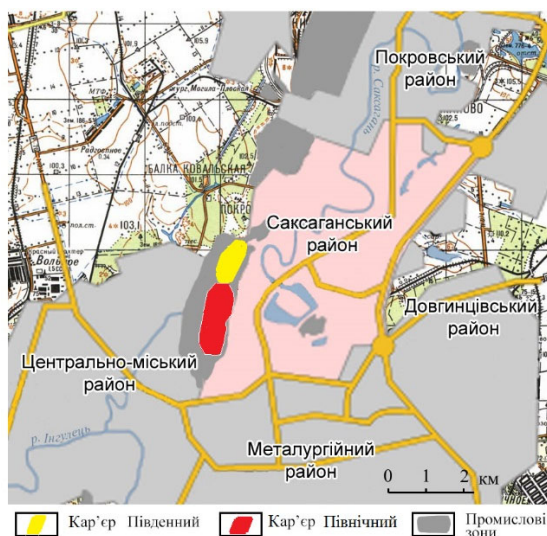


Рис. 2. Географічне розташування кар'єрів "Північний" та "Південний" з видобутку окиснених залізних руд Саксаганського району Кривбасу (м. Кривий Ріг) (кар'єр "Південний" розташований на північ від кар'єру "Північний"; такі найменування зумовлені колишніми межами різних рудників)

Головним структурним, морфологічним і речовинним елементом вищезазначених зон зрушення є так звані техногенні **брекчії обрушення** – брекчії, утворені внаслідок гравітаційних зрушень та обрушення у вироблений підземний простір вмісних та налеглих гірських мас. Вони послугували основним об'єктом наших досліджень. Головною ознакою належності їх до техногенного типу є повне руйнування внаслідок техногенних чинників стратиграфічного упорядкування породних верств з порушенням первинних умов залягання та структурної будови вихідних порід через їх дроблення і перемішування з переміщенням у новий простір, не притаманний їхньому природному залягання, та формуванням нових техногенних геологічних тіл.

Вони складають у межах кар'єрів величезні об'єми, фактично утворюючи нові масштабні техногенні геологічні тіла зі своєю морфологією, речовинним складом і фізичними властивостями, що відрізняються від вихідних материнських порід. Від подібних брекчій насипних відвалів та осипного й обвального колювію вони відрізняються відсутністю елементів похилого нашарування, більш зцементованою структурою та включенням залишків порушених блоків материнських залізистих кварцитів і руд. Від подібних брекчій тектонічного походження вони відрізняються відсутністю тектонітової зональності, більш однорідною будовою з переважанням глинисто-гірсько-щебенистого матриксу, великими об'ємами та часто різкими контактами із вмісними породами. На

сьогодні термін "брекчії обрушення" для цих утворень перебуває у стадії апробації. Як синоніми можливо використовувати також "брекчії обвалювання/обвалення (обвальні)" або провалювання/провалення (провальні)". Саме для розрізнення їх від колювільних брекчій обвалення ми вважаємо за більш доцільне використовувати найменування "брекчії обрушення".

Для лабораторних досліджень відібрано шість зразків брекчій обрушення з різних ділянок кар'єрів "Північний" і "Південний"; досліджено хімічний склад та фізичні властивості зразків, структурно-текстурні особливості та мінеральний склад порід у аншлифах, растровому електронному мікроскопі JSM-6700F. Результати досліджень та географічні координати зразків наведено в табл. 1, 2. Для порівняння у таблицях наведено також дані з окремих зразків вмісних порід – окиснених залізистих кварцитів, роговиків і мартитових руд.

Результати. Структурна будова зон зрушення.

Кар'єри "Південний" і "Північний" Саксаганського району Кривбасу нині розробляють залишені після підземного видобутку окиснені залізні руди четвертого, п'ятого і шостого залізистих горизонтів саксаганської світи криворізької серії палеопротерозою. Наслідком багаторічної експлуатації надр відкритим і підземним способом на території сучасних кар'єрів "Південний" і "Північний" є значне порушення природного геологічного середовища з утворенням нових техногенних геологічних тіл, складених брекчіями обрушення. Фактично вся осьова частина кар'єрів завширшки 60–200 м і заввишки кілька ярусів складена цими брекчіями (рис. 3).

За ступенем процесу обрушення внаслідок підземного видобутку, за нашими дослідженнями у кар'єрах "Південний" і "Північний", можна виділити кілька зон (рис. 4, 5), які в загальному плані можна зіставити з виділеними різними авторами (Шашурин, 1962; Черний, 1959; Малахов, 2003) зонами зрушення гірських порід над підземними виробками в межах мульди зрушення:

(I) зона відносно непорушених процесами обрушення від підземного видобутку корінних порід, які зберігають первинну стратифікацію; (II) зона інтенсивно тріщинуватих і подрібнених ціликів, які зберігають належність до певних стратиграфічних горизонтів (відповідає зоні тріщин і розломів); (III) зона чергування ділянок інтенсивно подрібнених ціликів, які в цілому зберігають належність до певних стратиграфічних горизонтів з ділянками брекчій обрушення без стратифікації (відповідає зоні тріщин і розломів, поєднаною із зоною провалів); (IV) зона повного домінування суцільних брекчій обрушення з повним порушенням первинного залягання порід і без яких-небудь ознак належності до певних стратиграфічних горизонтів (відповідає зоні провалів).

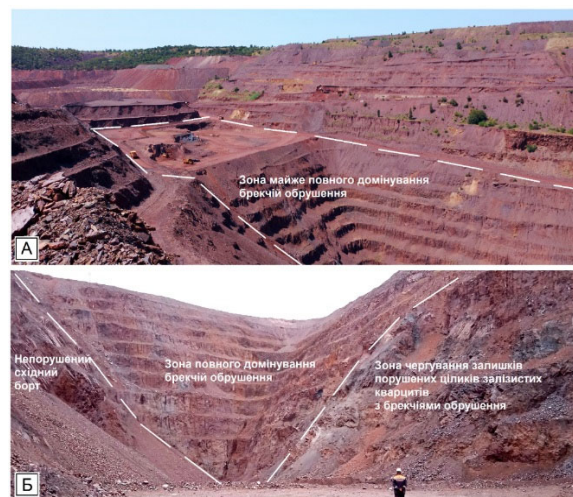


Рис. 3. Вид на південно-західну частину північної чаші кар'єру "Північний":

А – вид з верхнього ярусу східного борту кар'єру, Б – вид з осьової частини нижнього ярусу кар'єру

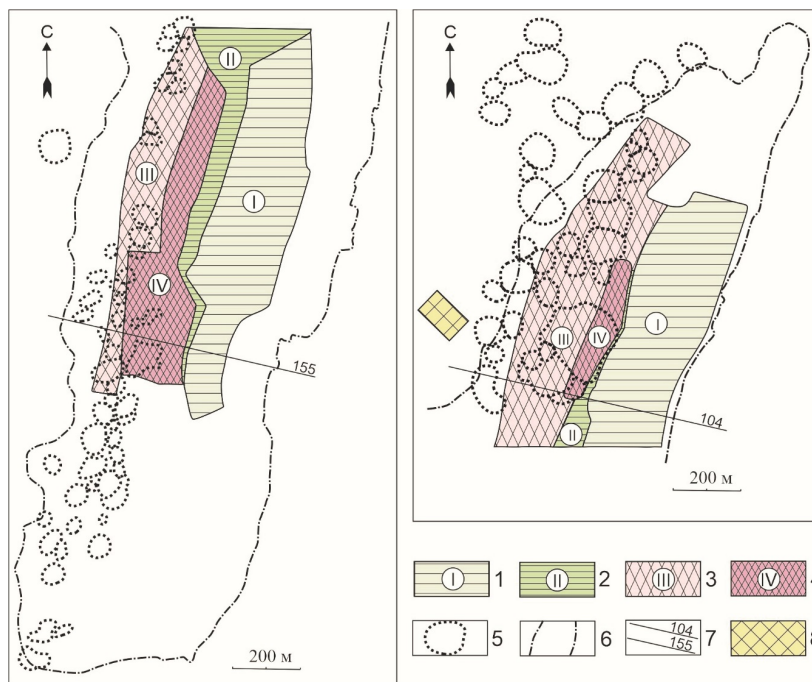


Рис. 4. Схематичні плани розташування зон різної інтенсивності прояву процесів обрушення внаслідок підземного видобутку в межах досліджуваної території кар'єрів "Північний" (ліворуч) і "Південний" (праворуч):

1–4 – зони прояву процесів обрушення (опис у тексті); 5 – лійки, провали та просадки від підземного видобутку за даними аерофотозйомок минулих років; 6 – контури кар'єрів за відміткою 65 м; 7 – лінії розрізів за маркшейдерськими осями; 8 – рудозбагачувальна фабрика ТОВ "Рудомайн"

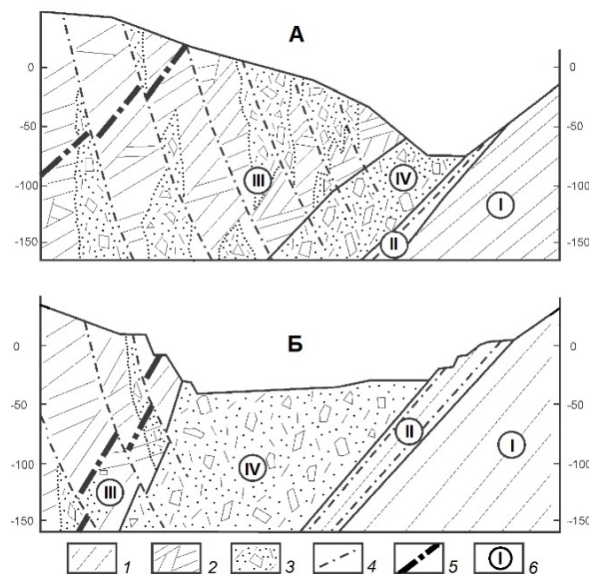


Рис. 5. Схематичні поперечні розрізи кар'єрів "Південний" (А) і "Північний" (Б) з розташуванням зон різної інтенсивності прояву процесів обрушення внаслідок підземного видобутку. Вертикальний масштаб дорівнює горизонтальному.

Лінії розрізів див. на рис. 4: розріз А – вісь 104, розріз Б – вісь 155

Умовні позначення: 1 – непорушені цілики залізистих кварцитів саксаганської світи, 2 – порушені цілики залізистих кварцитів саксаганської світи з ділянками брекчій обрушення; 3 – брекчії обрушення;

4 – розломи гравітаційних зрушень від підземного видобутку; 5 – зона Саксаганського насуву, ускладнена гравітаційними клавішно-блоковими зрушеннями; 6 – номери зон різної інтенсивності прояву процесів обрушення внаслідок підземного видобутку (див. пояснення в тексті)

У розташуванні і морфології цих зон для обох кар'єрів спостерігаються певні однакові характерні особливості. Щодо різних бортів кар'єрів зони обрушення мають асиметричну форму, пов'язану із загальним моноклінальним заляганням породних верств (разом із продуктивними залізорудними горизонтами) і відповідним розташуванням колишніх камер виробленого підземного простору. Східні ("лежачі") борти кар'єрів майже не порушені процесами зсуву та обрушення (зона I), тоді як західні ("висячі") борти разом з осьовими частинами порушені дуже інтенсивно (зони III, IV) (рис. 4, 5). Перехідна зона-II (між зонами I і III) має незначну потужність або інколи може бути взагалі відсутня. Максимальний розвиток брекчій обрушення (майже 100 %) спостерігається в нижніх приосьових частинах кар'єрів, де іде сучасний видобуток корисних копалин. Просторово – це умовна зона п'ятого залізистого (5f) горизонту у кар'єрі "Південний", і умовна зона 4f–5f горизонтів у кар'єрі "Північний". У межах цих зон, на ділянках суцільного домінування брекчій, первинна стратифікація порід повністю порушена, встановити стратиграфічну належність їх неможливо. Брекчії обрушення складають також значні маси в межах західних ("висячих") бортів кар'єрів, але їх об'єми тут менші, ніж у приосьових ділянках і за першими оцінками сягають близько 30 % загального об'єму бортів. Залишки ціликів залізистих кварцитів у західних бортах кар'єрів загалом зберігають ознаки належності до первинних стратиграфічних горизонтів, але вони тут інтенсивно подрібнені на блоки менших розмірів, розтрощені внаслідок гравітаційних зрушень від підземного видобутку і мають порушені елементи залягання.

Локалізація ділянок брекчій обрушення в межах згідної з моноклінальним заляганням порід лінійної зони глибинного окиснення завширшки близько 260 м, яка охоплює відклади 4f–7s горизонтів (між 4s горизонтом на сході і Саксаганським насувом на заході), свідчить про

те, що важливою передумовою виникнення брекчій, окрім підземного видобутку, слугували процеси глибинного окиснення, які перетворили весь цей простір на ослаблену зону.

Мінералого-петрографічна характеристика брекчій обрушення. Брекчії обрушення за зовнішнім виглядом являють собою суцільні несортвані глинисто-піщано-щебенисті маси червоно-бурого, вохристого кольору. Основна маса брекчій слабо зцементована, однак серед них зустрічаються як більш щільно зцементовані, так і пухкі, сипкі ділянки. Брекчії мають хаотичну несортвану уламкову брекчійову структуру. Біля половини об'єму брекчій становить базальний вохристий заповнювач/матрикс переважно алевро-псамітової розмірності уламків, в якому розосереджені уламки дрісвяного, дрібнощебенистого і більшого розмірів (до десятків сантиметрів) (рис. 6а). Внаслідок відсутності будь-якого сортування за розміром уламків межа між алевро-псамітовим заповнювачем і більшими уламками досить умовна. У великих масах брекчій постійно спостерігаються включення брил і "плям" окиснених залізистих кварцитів і багатой мартизової руди "синьки" від порушених залишків ціликів вмісних порід. Зрідка у зовнішньому вигляді брекчій можна спостерігати неясно виражені елементи субвертикальної лінеаризації уламків, які можна бачити лише з певної відстані на великих крутих поверхнях ярусів кар'єрів (рис. 6б).

Уламки псефітового розміру представлені майже на 100 % вмісними породами саксаганської світи – окисненими залізистими кварцитами і рудами. В уламках зустрічаються всі мінерально-петрографічні типи порід і руд, які характерні для стратиграфічного розрізу від 4s до 7s горизонтів саксаганської світи. Переважно це: окиснені залізисті (мартитові, гематит-мартитові, гетит-гідроgetитові) кварцити, роговики, джеспіліти, мартитові і гематит-мартитові руди, зрідка залізисті сланці. Уламки здебільшого вивітрені, нерідко мікропористі за рахунок

маршалізації кварцу. Форма уламків кутасти, нерідко зі слабо загладженими (заокругленими) ребрами.

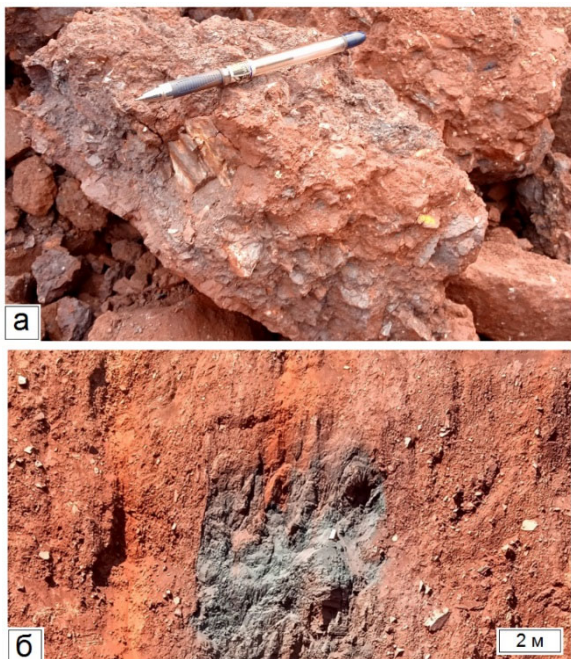


Рис. 6. Брекції обрушення, зовнішній вигляд:

а – типовий вигляд слабо зцементованих брекчій обрушення хаотичної брекчіївської структури; б – вигляд вертикальної стінки кар'єру "Південний", складеної брекчіями обрушення з ділянкою порушеного цілику мартитових багатих руд "синьки". Видно елементи субвертикального розлінування (дроблення) залишкового цілику мартитових руд та лінеаризації уламків брекчій

Уламковий матеріал алевро-псамітового розміру становить близько половини об'єму брекчій, виступає як базальний заповнювач. Уламковий матеріал представлений породами саксаганської світи, дезінтегрованими до стану мономінеральних зерен переважно кварцу і мартиту або їх зростків. Загалом серед мінералів уламків кількісно переважає кварц; на другому місці – мартит; у підпорядкованій кількості – гетит-гідроgetит, гематит, лепідокрокит; зрідка – карбонат (сидерит), у поодиноких дуже дрібних зернах – рутил, калієвий польовий шпат, тальк (мінерали ідентифіковано в аншліфах та за їхнім хімічним складом методом рентгеноспектрального мікроаналізу на сканувальному електронному мікроскопі). Форма уламків переважно неправильна, кутасти, напівобкатана (рис. 7). Уламки рудних мінералів частіше мають кутасту, неправильну форму. Зрідка окремі зерна мартиту зберігають форму, близьку до ідіоморфної (рис. 7в). Для уламків кварцу більш характерна напівобкатана форма, зрідка – майже добре обкатана (рис. 7г). Обкатаність уламків кварцу пов'язана з вивітрілістю (маршалізацією) і тонкозернистою внутрішньою будовою кварцових прошарків у вихідних породах, внаслідок чого в процесі зрушення гірських мас з перетиранням їх матриксу уламки дуже легко набувають обкатаної форми. Для зерен мартиту характерне часте заміщення гетитом по тріщинках і з утворенням облямівки, що свідчить про процеси окиснення у вихідних породах. Гетит нерідко розвинутий у вигляді порового цементу між уламками кварцу.

Цемент заповнювача за розміром частинок – алевро-пелітовий, належить переважно до базального

(становить до 40 % заповнювача), рідше порового типу. У мінеральному складі цементу переважає тонкоалевритовий кварц, дисперсні гідроксида заліза, які забарвлюють його у червоно-бурий колір; у менших кількостях містяться карбонат (переважно сидерит), каолінит, хлорит, зрідка тальк. Досить часто цемент має суборієнтовану в одному напрямку лінозоподібну текстуру, яка підкреслюється орієнтуванням пор, мікротріщин та дефектів напilenня зразка (рис. 7е).

Серед мінеральних фаз, які фіксуються рентгенівським аналізом, у складі брекчій постійно переважають кварц і гематит. Як домішки трапляється кальцит, клинохлор і зрідка тальк. Для піків клинохлору можливий більш широкий спектр близьких мінералів із груп смектитів і хлоритів. Серед важко діагностованих домішок імовірна присутність каолініту, мусковіту, хлориту (рис. 8).

Хімічний склад брекчій обрушення. За хімічним складом (табл. 1) брекчії обрушення являють, так би мовити, усереднену суміш усіх порід, які були обрушені внаслідок підземного видобутку (переважно суміш залізисто-кременистих порід саксаганської світи криворізької серії: окиснених залізистих кварцитів, залізистих роговиків, залишків багатих окиснених руд, а також невелику частку інших порід протерозою та кайнозою). Вміст загального заліза в брекчіях обрушення сягає у середньому 33,4 %, що відповідає бідним залізним рудам (менше, ніж у багатих мартитових кварцитах і рудах, але більше, ніж у залізистих роговиках). Інтервал коливань загального заліза у брекчіях – 8,4–48,0 %, вміст кремнезему також є проміжним, сягає у середньому 51,4 %, коливаючись у межах 38,7–60,1 %. Щодо залізисто-кременистих порід і залізних руд у брекчіях обрушення збільшений вміст глинозему (3,14–13,5, у середньому 6,66 %), MgO (0,9–2,8 %), CaO (0,9–4,8 %), що може свідчити про додаткову домішку глинистого матеріалу та ймовірно вторинні процеси карбонатизації.

Петрофізичні властивості брекчій обрушення.

За петрофізичними властивостями брекчії обрушення значно відрізняються від головної маси вихідних материнських порід, що зазнали обрушення, дроблення і перемішування в бік зменшення питомої та об'ємної ваги, щільності, міцності, намагніченості, та зростання пористості і вологоємності (табл. 2). Такий важливий показник для підрахунку запасів, як об'ємна вага, у брекчій обрушення має середнє значення 1,95 г/см³, коливаючись від 1,8 до 2,1 г/см³. Це приблизно у півтора рази менший показник, ніж у вмісних окиснених залізистих кварцитах і рудах (табл. 2). За даними (Тоxтyев и др., 1962), об'ємна вага мартитових роговиків на руднику ім. Кірова сягає в середньому 3,32 г/см³, мартитових руд – 3,7 г/см³. За даними (Куликов, 1972), середня об'ємна вага мартитових і гідрогематит-мартитових руд на руднику ім. Дзержинського сягає 3,55 т/м³. Порівняно із цими значеннями об'ємна вага брекчій обрушення менша відповідно у 1,8–1,9 рази щодо мартитових руд і у 1,7 рази щодо мартитових роговиків. Пористість і вологоємність у брекчіях зростають приблизно у 2–2,5 рази щодо вмісних окиснених залізистих кварцитів і роговиків; дещо нижче – щодо багатих мартитових руд (табл. 2). Питома намагніченість насичення приблизно у 3 рази менша, ніж у вмісних кварцитах і роговиках, але близька до мартитових руд. Таке зменшення питомої намагніченості насичення свідчить про процес доокиснення в ході утворення брекчій. Показник міцності на одновісне стиснення для брекчій становить найнижчі значення порівняно із вмісними породами і відповідає рівню для слабоущільнених глинистих порід.

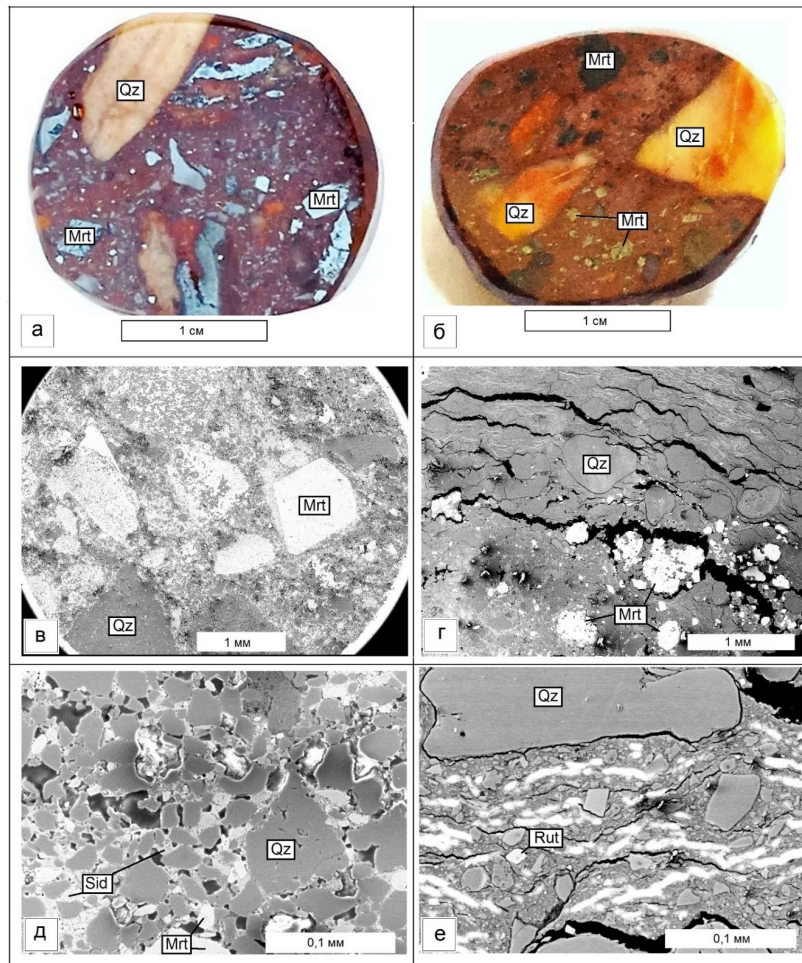


Рис. 7. Структури та текстури брекчій обрушення в аншлахах:

а, б – фото аншлахів; в, г, д, е – електронні зображення (Qz – кварц, Mrt – мартит, Sid – сидерит, Rut – рутил). Білі лінзоподібні смужки на зображенні (е) – електронно-оптичні ефекти від нерівномірного наплення зразка, які підкреслюють орієнтовану текстуру цементу

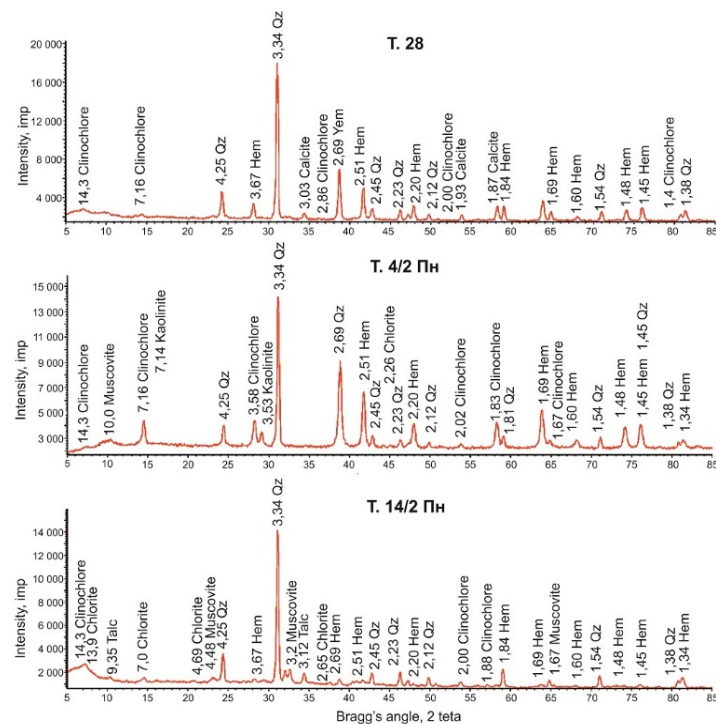


Рис. 8. Типові дифрактограми зразків брекчій обрушення

Таблиця 1

Хімічний склад брекчій обрушення (ваг. %: метод РФСА, рентгенівський багатоканальний спектрометр СРМ-25)

№	Зразок	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	LOI	Сумма	H ₂ O-
1	Т. 28	54,95	0,395	7,80	25,38	0,055	2,006	3,533	0,499	0,788	0,084	0,086	4,41	100,00	2,42
2	Т. 29/2	57,98	0,115	3,16	34,08	0,021	0,908	0,912	0,361	0,229	0,072	0,107	1,98	100,00	0,73
3	Т. 4/2 Пн	38,70	0,229	7,94	46,77	0,038	1,058	0,967	0,507	0,412	0,104	0,036	3,21	100,00	1,39
4	Т. 5 Пн	50,45	0,174	4,41	37,90	0,044	1,260	1,832	0,420	0,454	0,112	0,042	2,89	100,00	1,16
5	Т. 13 Пн	46,04	0,089	3,14	47,98	0,015	0,533	0,065	0,498	0,024	0,066	0,034	1,42	100,00	0,74
6	Т. 14/2 Пн	60,15	0,735	13,52	8,38	0,085	2,815	4,812	0,526	1,800	0,100	0,083	6,99	100,00	5,32
7	Середнє	51,38	0,29	6,66	33,42	0,04	1,43	2,02	0,47	0,62	0,09	0,06	3,48	100,00	1,96
8	Т. 11/2	77,51	0,013	0,73	19,58	0,009	0,909	0,042	0,145	0,048	0,049	0,060	0,89	100,00	0,17
9	Т. 21	47,75	0,010	0,47	50,74	0,011	0,319	0,026	0,187	0,035	0,047	0,034	0,37	100,00	0,04
10	Т. 29/3	0,46	0,016	0,11	97,56	0,007	0,562	0,010	0,678	0,012	0,021	0,026	0,53	100,00	0,05

Примітка: Fe₂O₃* – сума оксидів FeO і Fe₂O₃, перерахована на Fe₂O₃. №: 1–6 – брекчії обрушення слабо зцементовані; 7 – середній хімічний склад брекчій обрушення; 8 – середньо-крупносмугастий окиснений залізистий кварцит (роговик) 6s горизонту; 9 – мартитовий кварцит тонко-середньосмугастий темно-сірий маршалізований 5f горизонту; 10 – багата мартитова руда "синька" темно-синьо-сірого кольору, крихка, слабо зцементована, зерниста, з реліктовою тонкою смугастістю. Координати точок відбору зразків: Т. 28 – 47,934543; 33,378823; -85 м. Т. 29/2 – 47,933987; 33,378433; -94 м. Т. 4/2 Пн – 47,92348; 33,37530; -39 м. Т. 5 Пн – 47,92346; 33,37360; -40 м. Т. 13 Пн – 47,92949; 33,37623; -154 м. Т. 14/2 Пн – 47,92745; 33,37610; -162 м. Т. 11/2 – 47,93230; 33,37824; -51 м. Т. 21 – 47,93840; 33,38298; -60 м. Т. 29/3 – 47,933987; 33,378433; -94 м.

Таблиця 2

Результати вимірювань фізичних властивостей порід і руд кар'єру "Південний" і "Північний" (ТОВ "УКРХІМАНЛІЗ")

Зразок	Питома вага, г/см ³	Об'ємна вага, г/см ³	Пористість, % об.	Вологоємність, %	Питома намагніченість насичення, А·м ² /кг	Міцність на одновісне стиснення, кг/см ²	Примітка
Т. 28	3,1	1,9	22,6	9,8	1,1	94	Брекчії обрушення
Т. 29/2	3,1	2,1	18,5	7,4	0,9	121	
Т. 13 Пн	3,3	2,0	24,6	10,8	1,3	92	
Т. 14/2 Пн	3,2	1,8	21,5	11,3	1,4	95	
Середнє	3,18	1,95	21,80	9,83	1,18	100,50	Брекчії обрушення, середнє
Т. 11/2	4,0	2,9	7,2	3,2	3,2	318	Fe-роговик
Т. 21	3,5	2,0	10,9	3,4	3,5	172	Fe-кварцит
Т. 29/3	3,1	2,4	12,3	8,6	0,7	134	Мартитова руда

Примітка: опис зразків та координати їх точок відбору див. у табл. 1.

Отже, внаслідок перемішування у складі брекчій обрушення всіх порід, які залягають вище над зонами підземного видобутку (різних залізистих і сланцевих горизонтів і залишків залізних руд саксаганської світи; метапелітків, філітів, метаультрабазитів скелюватської світи; глинистих порід кайнозою та ін.), відбулося розпорощення залишків багатих руд, розубожнення (збіднення) первинних концентрацій заліза в результаті перемішування з малозалізистими (безрудними) породами, розущільнення порід зі зменшенням об'ємної ваги і міцності та збільшенням пористості, вологоємності.

Передумовою виникнення зон брекчій обрушення в умовах родовищ окиснених залізистих кварцитів саксаганського типу є два головні чинники. У першу чергу – це об'єми та розташування виробленого підземного простору. Другим важливим чинником є процеси так званого глибинного окиснення, які перетворили вихідні рудовмісні маси на породи зниженої міцності, підвищеної пористості і вологоємності. Внаслідок процесів глибинного окиснення фактично вся товща між 4s горизонтом на сході і Саксаганським насувом на заході завширшки в 300–400 м, на значну глибину (понад 1000 м) і завдовжки за простяганням близько 2500 м перетворилась на ослаблену зону, яка схильна до провального процесу. Можна висловити припущення, що у разі меншого розвитку глибинних зон окиснення і переважання неокиснених (магнетитових) різновидів залізистих кварцитів серед рудовмісних порід масштаби виникнення брекчій обрушення будуть значно меншими.

Висновки

Досліджено, що брекчії обрушення значно поширені в межах кар'єрів "Південний" і "Північний" Саксаганського

району Криворізького залізорудного басейну; вони займають величезні об'єми гірської маси – майже 100 % приосьових ділянок кар'єрів, а також значні об'єми їх західних бортів. Разом з рештками ціликів залізистих кварцитів і рештками багаті руди, залишені після підземного видобутку, вони є об'єктом сучасного промислового видобутку. Брекчії обрушення – це нові техногенні гірські породи, які суттєво відрізняються як від вмісних корінних порід, так і від подібних до них тектонічних брекчій та брекчій насипних відвалів й обвального колюю. Генетично та морфологічно вони цілком відповідають сутності техногенних утворень і до них правомірно застосовувати, у разі їх економічно доцільного видобутку, понятійну та правову базу техногенних родовищ, так само як це загально визнано для насипних відвалів і шламосховищ.

Автори пропонують внесення до сучасної класифікації техногенних утворень/родовищ Кривбасу "нового" морфологічного й генетичного типу техногенних утворень (у разі доцільного видобутку – родовищ) – зон зрушення внаслідок підземного видобутку, головним структурним, морфологічним і речовинним елементом яких є так звані брекчії обрушення.

Подальші дослідження цих техногенних утворень мають бути спрямовані на їх детальне картування, кількісні підрахунки об'ємів та більш повне вивчення речовинного складу з метою комплексного використання у промисловості.

Список використаних джерел

- Денисюк, Г.І., Задорожня, Г.М. (2013). *Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу*. ПП Едельвейс і К.
Евтехов, В.Д. (2003). Техногенные месторождения: от использования имеющихся – к созданию более совершенных. *Геолого-мінералогічний вісник*, 1 (9), 19–26.

Казаков, В.Л. (1999). Геоморфология провальных зон Кривбасу. Охрана доклина: экологические, образовательные, медицинские аспекты. Матер. IV Всеукр. конф., III часть, Кривий Ріг, с. 29–31.

Казаков, В.Л. (2008). Комбинированная разработка рудных месторождений. Горная книга.

Куликов, В.В. (1972). Совместная и повторная разработка рудных месторождений. Недра.

Малахов, И.М. (2003). Техногенез у геологічному середовищі. ОКАН-ПРИНТ.

Олійник, Т.А., Кушнірук, Н.В., Сайгарев, Л.Н., & Нагнибіда, І.О. (2012). Техногенні родовища та їх класифікація. Збагачення корисних копалин, 50 (91), 213–217.

Ривкин, И.Д. (1959). Особенности обрушения пород висячего бока рудных залежей Криворожского бассейна. Горный журнал, 4, 10–15.

Тохтуев, Г.В., Борисенко, В.Г., & Титлянов, А.А. (1962). Физико-механические свойства горных пород Кривбасса. ГосИздТехЛит УССР.

Черненко, В.А. (1998). Прогнозирование разработки техногенных месторождений в Кривбассе. Відомості Академії гірничих наук України, 1, 26–29.

Черный, Г.И. (1959). Зрушення порід лежачого боку в Криворізькому басейні. АН УРСР, Інститут гірничої справи.

Черный, Г.И. (1980). Устойчивость подрабатываемых бортов карьеров. Недра.

Черных, А.Д., Андреев, Б.Н., & Ошмянский, И.Б. (2010). Открыто-подземная разработка рудных месторождений. Техніка.

Черных, А.Д., Колосов, В.А., Брюховецкий, О.С. и др. (2005). Комплексная разработка рудных месторождений. Техніка.

Шашурин, С.Л. (1962). Повторная разработка месторождений руд цветных и редких металлов. Госгортехиздат.

References

Chernenko, V.A. (1998). Prediction of the development of technogenic deposits in Kryvbas. Vidomosti Akademiyi hirmichykh nauk Ukrainy, 1, 26–29 [in Russian].

Chernyi, G.I. (1959). Displacement of the bedrock in the Kryvyi Rih basin. UkSSR Academy of Sciences, Institute of Mining [in Ukrainian].

Chernyi, G.I. (1980). Stability of quarry sides. Nedra [in Russian].

Chernykh, A.D., Andreev, B.N., & Oshmyanskiy, I.B. (2010). Open-pit mining of ore deposits. Technika. VD-book [in Russian].

Chernykh, A.D., Kolosov, V.A., Bryukhovetskiy, O.S. et al. (2005). Integrated development of ore deposits. Technika. [in Russian].

Denysyk, G.I., Zadorozhna, G.M. (2013). Derivative processes and phenomena in landscapes of technogenesis zones. Edelweiss and K. [in Ukrainian].

Evtekhov, V.D. (2003). Technogenic deposits: from the use of existing ones to the creation of more advanced ones. Heoloho-mineralohichnyy visnyk, 1 (9), 19–26 [in Russian].

Kazakov, V.L. (1999). Geomorphology of the Kryvbas sinkholes. Environmental protection: ecological, educational, and medical aspects. Mater. IV All-Ukrainian conference, part III, Kryvyi Rih, 29–31 [in Ukrainian].

Kazikayev, D.M. (2008). Combined development of ore deposits. Gornaya kniga [in Russian].

Kulikov, V.V. (1972). Joint and repeated development of ore deposits. Ed. 2nd, revised and supplemented. Nedra [in Russian].

Malakhov, I.M. (2003). Technogenesis in the geological environment. OCTAN-PRINT [in Ukrainian].

Oliynyk, T.A., Kushniruk, N.V., Saitgareev, L.N., & Nagnibida, I.O. (2012). Technogenic deposits and their classification. Zbahachennya korysnykh kopalyn, 50 (91), 213–217 [in Ukrainian].

Rivkin, I.D. (1959). Features of the collapse of rocks of the hanging side of ore deposits in the Kryvyi Rih basin. Gornyi zhurnal, 4, 10–15 [in Russian].

Tokhtuev, G.V., Borisenko, V.G., & Titlyanov, A.A. (1962). Physical and mechanical properties of rocks of the Kryvbas. Gosizdatkhlit UkSSR [in Russian].

Shashurin, S.L. (1962). Re-development of non-ferrous and rare metal ore deposits. Gosgortekhzdat [in Russian].

Отримано редакцією журналу / Received: 19.08.23

Прорецензовано / Revised: 17.10.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Volodymyr POKALYUK¹, DSc (Geol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-9282-0246
e-mail: pvskan@ukr.net

Valentyn VERKHOVTSYEV¹, DSc (Geol.)
ORCID ID: 0000-0002-1015-6725
e-mail: verkhovtsev@ukr.net

Victoria HUBINA¹, PhD (Geol.-Min.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0001-7486-5451
e-mail: gvg131619@gmail.com

Viktor YATSENKO¹, PhD (Geol.-Min.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-8113-5702
e-mail: vgyatsenko@gmail.com

Larisa ZABOROVSKA¹, PhD (Geol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0001-7848-5528
e-mail: zaborovskayalp63@gmail.com

Olena LAVRYNENKO¹, DSc (Chem.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-9256-1221
e-mail: alena.lavrynenko@gmail.com

Evgen MAIBORODA², PhD Student
ORCID ID: 0009-0002-0304-5362
e-mail: mayboroda1986@gmail.com

¹State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

COLLAPSE BRECCIAS – A "NEW" TYPE OF ANTHROPOGENIC GEOLOGICAL FORMATIONS/BODIES/DEPOSITS IN THE KRYVYI RIH IRON ORE BASIN

On the basis of geological mapping, structural, mineralogical, petrographic, geochemical, petrophysical studies in the Pivdennyi and Pivnichnyi iron ore quarries of the Saksahansk district of the Kryvyi Rih iron ore basin (Kryvbas), a "new" morphological and genetic type of anthropogenic formations – collapse breccias formed as a result of rock masses displacement over underground mining zones – has been identified. These breccias make up huge volumes within the quarries, forming virtually new large-scale anthropogenic geological bodies with morphology, material composition and physical properties that differ from the original parent rocks. They occupy almost 100 % of the axial areas of the quarries, as well as significant volumes of their western ("hanging") sides. Together with the remnants of ferruginous quartzite and rich ore leftover from underground mining, they are the subject of modern industrial mining. Breccia collapses are new anthropogenic geological rocks. Genetically and morphologically, they fully correspond to the essence of anthropogenic formations and it is quite legitimate to apply the conceptual and legal framework of anthropogenic deposits to them in case of their economically feasible extraction, just as it is generally recognised for bulk dumps and sludge dumps. All this raises the question of the relevance of including these formations in the modern classifications of anthropogenic deposits of Kryvbas as a separate type.

Keywords: Kryvyi Rih iron ore basin, oxidised iron ores, anthropogenic formations, collapse breccias, shear zones.

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.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

UDC 539.17:005.931.11:321

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.12>

Chingiz ALIYEV, DSc (Geol.-Min.), Corresponding Member, Prof.
ORCID ID: 0009-0002-5051-853X
e-mail: aliyev.chingiz47@gmail.com

Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Science, Baku, Azerbaijan

Latifa KAZIMOVA, PhD (Geogr.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 000-0002-0254-1746
e-mail: latifa.ismaylova@gmail.com

Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

**REASONS FOR THE FORMATION OF RADIONUCLIDES
IN THE SOIL AND RADIOECOLOGICAL CONDITIONS IN THE OIL FIELDS
(IN ABSHERON PENINSULA)**

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

It is known that oil and gas are the main priority of the production and processing industry in Azerbaijan. Considering that the development and operation of oil fields, processing of oil and oil products are the main pollutant of the environment, the Absheron Peninsula is considered the most environmentally tense region of Azerbaijan.

The purpose of our research is to study the radioecological situation and assess the level of radioactive contamination of the soil of the Absheron Peninsula.

As a rule, radium concentration occurs at the surface of the reservoir and during the initial treatment of the water mixture. For example, radium deposition is generally observed on land where oil equipment is located and on areas where the reservoir water is close to the surface or is exposed.

The first studies of radioactivity on the territory of the Absheron Peninsula were carried out in 1930-32. The purpose of these studies was to search for radium in soils, groundwater. At that time, high levels of radium were found in the waters of some oil fields. There was little uranium in the waters and oils of these deposits.

In our work the distribution of radioactivity on the territory of the Absheron Peninsula was studied and the most dangerous areas for human activity were identified. A radioactivity map of the study area was created to study the radioactive background and identify dangerous areas.

As a result of our research, it was found out that most of the polluted part of the Absheron Peninsula is an industrial oil production zone. Based on our materials, a radioactivity map for the study area was created.

In the article, not only the radiation background of the Absheron peninsula, thus determining the areas with the average value of the radiation background at 8.5 $\mu\text{R/h}$ but also the areas where it equaled 400-600 $\mu\text{R/h}$ that is, the dangerous levels for living and working are shown. We have highlighted anomalies where radioactivity reaches 400-600 $\mu\text{R/h}$.

Key words: *landscape, exposure dose, Absheron, radon, oil.*

Introduction. Correlation of elevated concentrations of natural radionuclides with oil fields is known since the beginning of the 20th century. In preparation, this article was intended to demonstrate to readers as much as possible wide range of changes in background parameters and possible mechanisms for the formation of its local features.

A characteristic feature of radioactive contamination of the territory of the Absheron Peninsula is that pollution occurs not only with radioactive isotopes of natural origin, but also as a result of technogenic processes.

Pollution of oil fields occurs as a result of interaction of rock with various mineralization waters and petroleum products. These waters wash radionuclides in the adsorption state which are present in normal amounts in rocks (Dissanayake, 1984).

As a result, radionuclides of the uranium-radium and the thorium series exit from the depth to the ground surface. Radionuclides entering the surface of the earth accumulate in the form of deposits, falling into other thermodynamic conditions, and as a result a contaminated area is formed.

The dynamics of pollution of oil field areas can be schematically modeled quite simply. In the process of interaction of water solutions with rocks and oil deposits, pollution happens as a result of the removal of radionuclides of the uranium-radium and thorium series from the depths to the surface (Aliyev et al., 2022).

Radioactive contamination was detected in almost all mines of oil production equipment and working buildings of the Absheron Peninsula. There is also an increase in the

number of radon on these territories and nearby settlements (Cannon et al., 1971).

The purpose of the research is to identify the areas where radioactive contamination is recorded and to study the radiation background for these areas on the Absheron Peninsula.

Correlation of elevated concentrations of natural radionuclides with oil fields is known since the beginning of the 20th century. In this article, the study of the causes of the high radiation background in the area and the precise identification of these areas were provided.

Radioactive pollutants mainly have natural origin and contents of the naturally radioactive elements K, U, and Th in rocks are reported in conventional units of %K, mg/kg U and mg/kg Th. Radium (Ra), thorium (Th), and uranium (U) are the most widespread pollutants among the naturally-occurring radionuclides. Following various technogenic processes, the naturally-occurring radionuclides can become a serious threat to the ecosystem (Aliyev et al., 2007).

The concentration of the gamma-emitting radionuclides, except for ^{40}K , in humans is so small that none of them can be detected using normal whole-body counters available to measure any intakes of radionuclides by occupational workers (Kelsey et al., 2016).

Differentially, the 238-U/235-U ratio has increased over time due to the faster radioactive decay of 235-U.

The incompatibility of uranium implies that highly differentiated felsic rocks (igneous rocks that are rich in feldspar and silicon) tend to have higher contents of U: granitic rocks contain an average of 2–5 mg/kg of U, depending on the

magma source and the differentiation path. Metamorphic and sedimentary rocks deriving from felsic materials will inherit the U concentration of their parent rocks, as the most abundant U-bearing minerals are typically resistant to weathering processes. Significant enrichment of U in sedimentary rocks can be achieved by density driven accumulation of these minerals, typical of placer deposits, as well as by absorption and/or adsorption of U in organic matter.

Thorium is a trace element in the Earth's crust (5.6 mg/kg) with a relative enrichment in the upper crust (10.5 mg/kg) due to its strong lithophile metallic character. Concentrations in common rock types range from 1.6 to 20 mg/kg. Monazite sands are one of the main sources of thorium, containing about 6% thorium. Consequently, monazite sand deposits are one of the areas with unusually high natural radioactivity. At present, thorium has a major use in nuclear power as a potential source of fissile material.

Amongst the daughter products of ^{232}Th , the major radiological hazards come from the radium, radon, and polonium isotopes.

The natural radioactivity in rocks depends on their type and on how and where they were formed. Rocks can be classified into igneous, sedimentary, or metamorphic ones according to their formation process. Igneous rocks are formed from magma, either inside a magma chamber (thus forming magmatic rock like granite or diorite), inside intrusions (forming intrusive rock like dolerite), or from lava flows (forming volcanic rock such as basalt or rhyolite).

Materials and methods. Radioecological research on the Absheron Peninsula began in 1988. As a result of the studies, it was found that many local and coastal points are contaminated with radionuclides tens, hundreds of times more than permissible.

The above mentioned information once again proves that the ecological situation in the oil production zones on the Absheron Peninsula is not well. However, despite all this, serious research work on the study of the environmental situation on the Absheron Peninsula, in particular, the zoning of territories set forth for radioactive pollution.

In accordance with the tendency of radiation level changes, the forms of exposure of living area and landscapes to the radiation have not been studied in detail (Young et al., 2016).

In this regard, the topic of research and the formulation of the problem can be considered relevant.

Experimental method. For our research we used different methods. The areas were analyzed using gamma-spectrometer according to generally accepted methods for the assessment of the contribution of each element to radionuclide pollution. Based on such a radio-ecological situation, within the limits of the given region, it was determined that radioactivity exceeds the acceptable radiation level by tens, hundreds, and more times in

numerous local areas as a result of technogenic activity (Brückner et al., 2003).

In the research area, especially in the oil-contaminated areas, we have conducted gamma radiation measurements on foot to investigate the radiation background, detect areas with high radiation background, and develop the radiation background map.

In the study of the general gamma-level of the area, the level of the exposure dose of gamma radiation was carried out using gamma-dosimeters "ATOMEX MCC-AT1125", "Inspector 1000".

The level of the exposure dose of gamma-radiation was measured by a dosimeter-radiometer "ATOMEX MKS-AT1125", as well as a dosimeter-spectrometer "Inspector 1000", soil samples were taken from the surface to determine the radionuclide content at each point of the study area.

During measurements, the dosimeter shall be 50 cm above ground:

- the distance between the measuring points is 10 m. At each measuring point, the level of the exposure dose shall be measured at least 3 times and the average of the readings from the measuring points shall be taken;
- when measuring from one measurement point to another, the instrument indicator should be monitored. Because you can't lose sight of any area of intense radiation;
- GPS coordinates of measuring points are important for their placement on the map and for convenient search in the future. It should be noted that the dosimeter we use has a scintillation counter, and this type of device allows accurate measurements.

The amount of radon gas in the air should also be determined when measuring the exposition dose of gamma radiation. For this purpose radon radiometer PPA-01M-01 "Alfarad" was made. It should be noted that, according to international radiation safety standards for the public, the exposure dose should not exceed $11.6 \mu\text{R/h}$, the amount of radon in the air should not exceed 60 Bq/m^3 , except for radiation background.

Results and discussion. In order to conduct the study, gamma-spectral analysis of radionuclides was carried out on emissions generated in the zone of environmental pollution by radioactive elements, in water bodies, in areas of solid waste and oil depots. In total, 10 landscape zones were selected during the study and taking of a sample of the soil.

Because these study results are extensive, we mainly commented on the results observed on soil samples.

It can be seen from the table 1 that the greatest activity of radioactive elements is observed in soil pipes and on land plots around territories where mud water flows. In these samples, the amount of natural radionuclides is 100 times higher than the effective specific activity of background samples (Fig. 1).

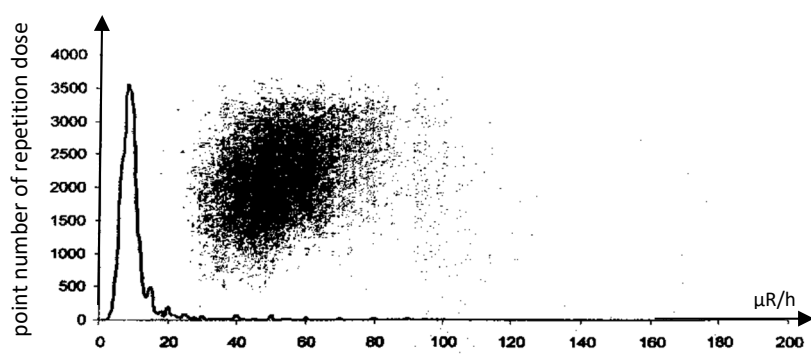


Fig. 1. Graph of distribution of exposure dose values in the research area, $\mu\text{R/h}$

Table 1

Composition of radionuclides in soil and some waste samples

№	Samples area	Coordinate	Exposure dose	Special activity Bk/kg			
				K-40	Ra-226	Ra-228	A _{eff}
1	Pipe waste zone	N.40° 24' 37,6" N.50°01'4"	115	1021 ± 245	3699 ± 285	1861 ± 153	6209 ± 349
2	Soil (1)	N.40° 37' 37,5" N. 50°01'00"	210	1416 ± 406	6526 ± 686	1018 ± 128	7975 ± 707
3	Soil (2)	N.40°24'35,9" N.50°00 '54,4"	150	496 ± 112	1108±87	34,4 ± 8,3	1197 ± 88
4	Soil (3)	N. 40°24'36,6" N. 50°00 '54,5"	40	126 ±67	395 ± 37	210 ± 23	679 ± 48
5	Soil (4)	N. 40°24'30,8" N. 50°01 '0,9' 4"	9	315 ± 60	35,4 ± 4,2	25,6 ± 4,4	97 ± 12
6	Soil (5)	N. 40°24'59,2" N. 50°00 '47,6"	150	2383 ± 896	11490± 1226	278 ± 81	12063± 1233
7	Soil (6)	N. 40°24'58,6" N.50°00 '47,6"	87	439 ± 123	2511 ± 189	52 ± 11	2618± 190

So, according to the graph, we are only interested in areas with a range of 0–20 µR/h. If we explain this dependence with the Gaussian distribution function:

$$N(x) = Ae^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

according to $\mu = 8,5, \sigma = 2,13, A = 3600$.

The parameter μ is the mean or expectation of the distribution. The variance of the distribution is σ^2 . A random variable with a Gaussian distribution is said to be normally distributed, and is called a normal deviate.

Thus, it was determined that gamma radiation background in the studied area is the average 8.5 µR/h. Despite the existence of areas in the area where the level of radiation is many times higher than the natural background, the value of the average radiation background is normal. This can be explained by the fact that areas with a high background radiation are local and make up a small percentage of the total area.

This is explained by the fact that the pressure and temperature decrease at the moment when formation water comes to the surface of the earth together with oil. Also, mixed sulfates and carbonates of the second group of elements in water, including radium, exceed the solubility limit (Rustamov, 2020).

This leads to the fact that they form sulfate and carbonate deposits, accumulate in the inner walls of pipes, valves, pumps and separators, as well as in the soil of accumulated deposits (John et al., 1980).

Dose constraints or reference levels of 1–20 mSv would be used when the exposure situation – but not necessarily the exposure itself – usually benefits individuals. This would be the case, for instance, when establishing dose constraints for occupational exposure in planned exposure situations or reference levels for exposure of a member of the public in existing exposure situations. Reference levels of 20–100 mSv would be used where individuals are exposed to radiation from sources that are not under control or where actions to reduce doses would be disproportionately disruptive. This would be the case, for instance, in establishing reference levels for the residual dose after a nuclear or radiological emergency. Any situation that resulted in a dose of greater than 100 mSv being incurred within a short period of time or in one year would be considered unacceptable, except under the circumstances related to exposure of emergency workers that are addressed specifically in these Standards (IAEA Safety Standards, 2014).

However, our research is not limited to measuring gamma radiation. Geochemical, mineralogical and radio-ecological studies were thus carried out in the area. The

interaction of the results with the current studies on measuring radioactivity will be reflected in our further work. Table 1 shows that the areas with the highest levels of radioactive contamination are sites with soil sample of the material 1, 2 and 5.

The specific activity of natural radionuclides is very high in the landscapes of the Absheron peninsula, where the samples were taken, the waste identified in the area belongs to category II and III groups due for radiation safety (Aliyev, 2022).

According to our analyses, a radiation map was created and the most dangerous areas according to the level of radioactivity in the study area were identified (Fig. 2.).

The map shows the distribution of background radiation on the Absheron Peninsula. According to the map, it can be said that the radiation background in general in the area is suitable for human habitation and activity. However, during the field work conducted in the area, some local areas were identified, where the radiation background is many times higher than the norm.

On the map described, the area I is the most polluted area, II is weaker polluted, and III is the weakest (slightly) polluted area. On the map, the black triangles (▲►▼) correspond to the radiation background of 452 µR/h and 498 µR/h, 610 µR/h.

Due to the presence on the territory of waste belonging to this category it is advisable to assess these territories as a hazardous zone from the point of view of radiation hazard (Ismaylova et al., 2019) and it is necessary to clean and dispose radioactive waste in compliance with the special Radiation Safety Rules adopted in the Republic of Azerbaijan.

Finally, results derived from this study show that regular radio-ecological monitoring should be implemented on the territories of the Absheron peninsula oil fields to prevent radiation danger.

Our research has shown that not only does lithology affect the radioactive background, but the age of the rocks also affects the distribution of radioactivity, a pattern we showed in Table 2.

The normal radioactive background of Absheron ranges from 4–10 µR/h, rising in the outcrop areas of oligocene-miocene layers to 20–25 µR/h or in the breccia fields of mud volcanoes Zingil and Pirha. Along the northern coast of the Absheron Peninsula and on the Shah's Spit in the area of beach sands, radioactivity is reduced to a minimum – 3 µR/h.

The average background level of the region ranges around 6 µR/h (0.5 mSv/y) and corresponds to a level that is favorable for people. A comparison with international studies has shown that approximately 95 per cent of the population of these countries live in places where the average dose is 0.3-0.6 mSv/y.

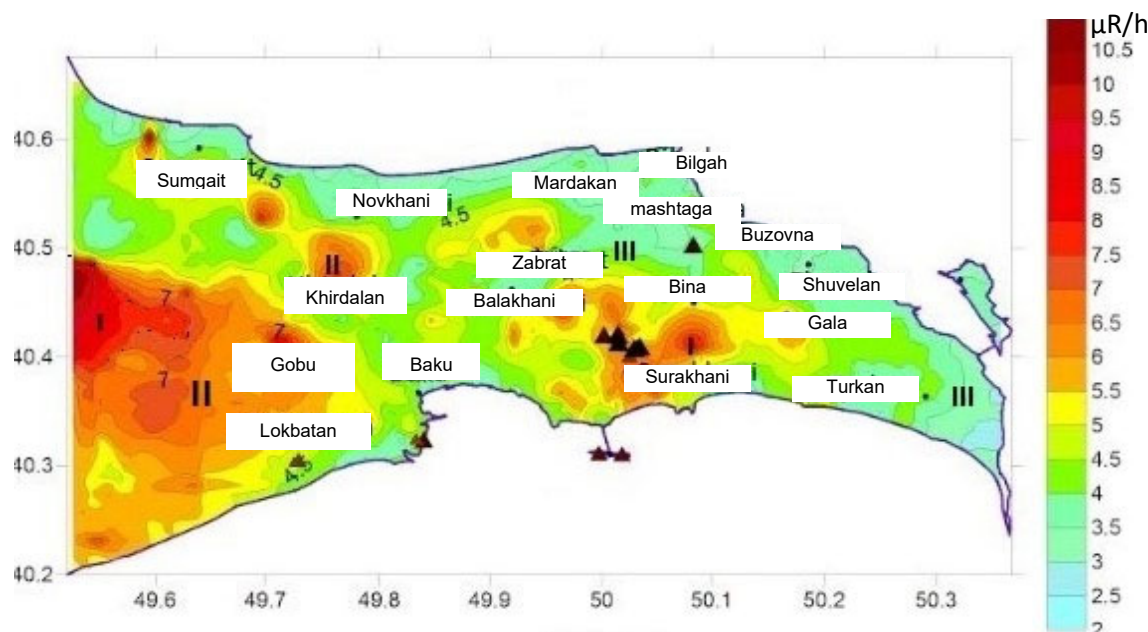


Fig. 2. Map scheme of radioactivity areas in Absheron peninsula

Table 2

Effect of soil age and lithology on radioecological condition

Age	Lithology	Radioactivity	
		μR/h	mSv/y
Upper chalk			
Santon-Kampan	Sandy-mergelisto-clayey thickness, light grey	4,5–5	0,35–0,4
Kampan-maastrixt	Grey Maroon Clay Fleece	5,5–6	0,4–0,51
Dat	Clay murals, calcareous sandstones	5,5–6	0,4–0,55
Paleogen			
Paleocene-Eocene	Brick red, brown, grey green, dark green clays, sandstones	7–9	0,55–0,75
Oligocene-Lower Miocene	Brown, dark brown, yellow sandy clays	7,5–8,5	0,54–0,61
Middle and Upper Miocene	Grey, brown-greenish-grey clays with layers of sand marl	4,5–7	0,34–0,54
Upper pliosen	Alternation of mud-brown clay, shellshells and sandstone	5,5–7,5	0,38–0,54
Anthropogen			
Lower anthropogen	Grey-yellow limestone, clay, limestone	4–6	0,30–0,46
Holocene deposits	Light gray soups, clay loam. Greenish-grey sow breccia mud volcanoes	6,5–11,5	0,5–0,9

Conclusion

Since each region had its own characteristics regarding the level of radioactive background, it was first necessary to study its regional distribution and map of its natural radioactivity. A gamma survey of the entire Absheron Peninsula was carried out and a map was made on the scale of 1 : 200,000.

In conclusion, it can be noted that the radiation background on the Absheron Peninsula is in accordance with sanitary standards, but there are locally polluted areas. These areas are Surakhani (610 μR/h), Lokbatan (498 μR/h) and Bina (452 μR/h).

As the table shows, the distribution of radioactivity in the study area depends on many factors, including age. The table shows the average radioactivity of the sediments of the Absheron Peninsula, where the amount of radioactivity is represented in different dose values, both in the units of the exposure dose (μR/h) and in the equivalent dose (mSv/y).

So it's been shown that the distribution of radioactivity in space is complex. Analysis of geological and radioactive maps showed that the gamma field reflects the geological structure of the Absheron peninsula. Analyses have shown that the eastern part of the peninsula has a low level of radioactivity and this is due to the Quaternary-Pliocene formations. The western and southwestern parts of the Absheron Peninsula, with modifications of common rocks of Miocene-oligocene age, are characterized by a higher level of radioactivity and a clear

differentiation of gamma radiation of the sites. On the northwestern edge of the folded Cretaceous sediment, radioactivity is again declining. The map also shows the sites contaminated with anthropogenic radioactivity.

References

- Aliyev, Ch.S., Kazimova, L.A. (2022). Processes of radionuclide contamination formation in the territory of the Apsheron peninsula. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya "Nauka, tehnika i innovatsionnye tehnologii v jepohu mogushhestva i schast'ya", Turkmenistana: g.Ashhabad, 12–13 iyunja, 2022*, 78–81.
- Aliyev, Ch.S., Kazimova, L.A. (2022). Environmental assessment of soil contamination of the oil and gas industry zone. *Nauchnyj zhurnal "Doklady NAN RK"*, (3), 78–91. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.160>
- Aliev, Ch.S., Zolotovickaja, T.A., Podoprigenko, M.V. (1996). Radionuklidnoe zagrjaznenie okruzhajushhej sredy pri razrabotke nefjanyh mestorozhdenij. *Azerbajdzhanskoe nefjanoe hozjajstvo*, 7, 46–50.
- Brückner, J., Dreibus, G., Rieder, R., Wänke, H. (2003). Refined data of Alpha Proton X-ray Spectrometer analyses of soils and rocks at the Mars Pathfinder site: Implications for surface chemistry. *J. Geophysical Research*, 108, 8094–8122. <https://doi.org/10.1029/2003JE002060>
- Cannon, H.L., & Hopps, H.C. (Ed.) (1971). *Environmental geochemistry in health and disease*. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 123. Google Scholar.
- Dissanayake, C. B. (1984). Environmental geochemistry and its impact on humans. *Ecology and Biogeography in Sri Lanka*, pp. 65–97 https://doi.org/10.1007/978-94-009-6545-4_3
- John, A.C. (1980). Anthropogenic Compounds. *Environmental Geochemistry*. Springer-Verlag, pp. 12–69. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-38522-6>
- Ismaylova, L.A., Guliyeva, S.Y. (2019). Morphometric analysis in Gis based of relief parameters mudflow basins. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, pp. 12–19. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.106>

Rustamov, G. Kazimova, L. (2020). Geochemistry landscape classification: toxicity of chemical elements and their impact on human health. *Environmental Geochemistry and Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00747-4>

Kelsey, E., Cynthia, A., Kip, V., Jacob, E., Trevor, G. (2016). A review of the handheld X-ray fluorescence spectrometer as a tool for field geologic investigations on Earth and in planetary surface exploration. *Applied Geochemistry*, 72, 77–87. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2016.07.003

IAEA Safety Standards, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. *International Basic Safety Standards* (2014). <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>

Отримано редакцією журналу / Received: 24.06.23

Прорецензовано / Revised: 16.09.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Чінгіз АЛІЄВ, д-р геол.-минералог. наук, проф.

ORCID ID: 0009-0002-5051-853X

e-mail: aliye.chingiz47@gmail.com

Інститут геології і геофізики Азербайджанської національної академії наук, Баку, Азербайджан

Латіфа КАЗІМОВА, канд. геогр. наук, доц.

ORCID ID: 000-0002-0254-1746

e-mail: latifa.ismaylova@gmail.com

Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Баку, Азербайджан

ПРИЧИНИ УТВОРЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У ҐРУНТАХ ТА РАДІОЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ НА НАФТОВИХ РОДОВИЩАХ (НА ПРИКЛАДІ АПШЕРОНСЬКОГО ПІВОСТРОВА)

Мета дослідження – вивчення радіоекологічної ситуації та оцінка рівня радіоактивного забруднення ґрунту Апшеронського півострова. Зазвичай осадження радію відбувається під час виходу пластової води на поверхню та при початковій обробці водонафтової суміші. Так, осади радію зазвичай спостерігаються на поверхні, де розташоване нафтове обладнання.

Перші дослідження радіоактивності на території Апшеронського півострова було проведено 1930–32 роках. Метою цих досліджень був пошук радію в ґрунті, ґрунтових водах. Саме тоді у водах деяких нафтових родовищ було виявлено високий рівень радію. Уран у нафтах і водах цих родовищ було виявлено в незначній кількості. Зауважимо, що попередні дослідження комплексно не вивчали вплив радіоактивності на навколишнє середовище та ландшафти.

У нашій роботі досліджено розподіл радіоактивності на території Апшеронського півострова та виявлено місця радіоактивного забруднення, небезпечного для життя людини. На основі цих робіт було створено карту радіоактивності Апшеронського півострова. Згідно з фактичним матеріалом радіаційний фон півострова сягає в середньому 4,5 мкР/ч, тоді як на Шаховій косі він знижується до 3 мкР/ч, що пов'язано з виходом на поверхню слаборадіоактивних пісків. На дослідженій території виділено аномалії, де радіоактивність сягає 400–600 мкР/ч. Ці аномалії є результатом розробки нафтових родовищ, що вирізняються високомінералізованими пластовими водами з високим вмістом радію.

Ліквідація високорадіоактивних відходів на нафтових територіях є складним питанням, що потребує комплексного підходу, спеціальної експериментальної роботи, моделювання даних і створення різних карт на основі польових і камеральних досліджень.

Ключові слова: ландшафт, природні радіонукліди, радон, нафта, пластові води.

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 556.3:504.61:622.016

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.13>

Зенон ХЕВПА, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

ORCID ID: 0000-0002-6759-9850

e-mail: zenonzxv@gmail.comДержавна установа "Інститут геохімії навколишнього середовища
Національної академії наук України", Київ, Україна

Віктор ДОЛІН, д-р геол. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0001-6174-2962

e-mail: vdolin@ukr.netДержавна установа "Інститут геохімії навколишнього середовища
Національної академії наук України", Київ, Україна

Євгеній ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук, голов. наук. співроб.

ORCID ID: 0000-0001-6934-618x

e-mail: yakovlevhydro@gmail.com

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

ОЦІНКА РОЗВИТКУ ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ НА ШАХТНОМУ ПОЛІ СТЕБНИЦЬКОГО КАЛІЙНОГО РОДОВИЩА ЗА ДАНИМИ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Наведено результати аналізу та узагальнення об'єктивних гідрогеологічних моніторингових спостережень динаміки рівнів підземних вод. Проведено обробку гідрорежимних досліджень, виконаних у 2009–2021 рр. на території гірничого відводу рудника № 2. Побудовано гідрогеологічні розрізи, які відображають зміни рівнів води та зони геомеханічних (карстово-провальних) порушень водоносних пластів у часі. Найважливішим чинником осідання земної поверхні і деформації фільтраційного потоку є розвиток соляного карсту. Оцінку інтенсивності карстопровальних процесів здійснено на основі інтерпретації результатів динаміки рівнів підземних вод. Об'єктова моніторингова мережа підземної гідросфери складається з більш як 30 кушових спостережних свердловин, пробурених до надсоліного і четвертинного водоносних горизонтів. Визначено основні причини деформацій солепородного масиву та земної поверхні: зменшення геомеханічної міцності ціликів унаслідок їх гідратації та наступного осідання під геостатичним навантаженням покривних порід та осідання внаслідок карстового процесу глинистої товщі, що покриває солоні породи. За результатами спостережень у просторовому плані проведено гідрогеологічно орієнтоване зонування території гірничого відводу. Унаслідок розвитку складнопобудованої депресії у зоні впливу карстово-провального дренажу практично по всій території протягом 2009–2019 рр. спостерігається пониження рівнів води горизонтів гіпсо-глинистої шляпи. Процес формування депресійної лійки прогресує в північно-західному напрямку, що свідчить про розвиток високопроникного карстового каналу в солях. Значний приплив надсоліних вод на південно-західній та центральній ділянці шахтного поля в поєднанні з інтенсивним закарстуванням солоносного масиву та відкладів гіпсо-глинистої шляпи в межах депресійної лійки призвели до значної деформації земної поверхні, формування карстових провалів та техногенно-екологічних загроз об'єктам критичної інфраструктури. З метою запобігання техногенно спричиненій екологічній катастрофі нагально необхідно розробити наукове обґрунтування гранично допустимих змін екологічних параметрів техногенно-геологічної системи рудника № 2 Стебницького калійного родовища у стадії постмайнінгу.

Ключові слова: гірничі виробки, шахтне поле, деформація земної поверхні, гідрогеологічні свердловини, режимні спостереження, геологічне середовище, дебіт водопритоку.

Постановка проблеми. Рудник № 2 Стебницького калійного родовища від 1978 р. перебуває в аварійному стані внаслідок припливу низькомінералізованої агресивної до соляного масиву води з надсоліного водоносного горизонту. Це супроводжується критичним зволоженням, ослабленням та руйнуванням несучих елементів гірничих виробок (ціликів, стелін та ін.) і розвитком соляного карсту, деформаціями та провалами поверхні. У 2002 р. прийнято рішення щодо мокрої консервації рудника (ДІГГ, 2002). У зоні впливу рудника № 2 створено мережу спостережних свердловин, обладнаних фільтровими колонами в межах основних горизонтів, що формують водоприток у гірничий простір: глинисто-гіпсової шляпи (ГГШ) і розсільного горизонту. У свердловинах проводилися систематичні заміри рівня води. У природних умовах рівні підземних вод встановлювалися на глибинах від 2,7 до 18,2 м від земної поверхні. Після прориву води в рудник № 2 сформувалася депресія, рівні підземних вод фіксуються на глибинах від 0,1 до 49,5 м. Депресія рівня підземних вод надсоліного горизонту латерально видовжена у західному та південному напрямках, що дає підстави для висновку, що основні зони живлення надсоліного водоносного горизонту розташовані в долині р. Вишніці і потоку

Вольєрний, у межах яких можливе формування розуцілення та підвищеної проникності порід. На цій території відбувається активна інфільтрація річкових і атмосферних вод через алювіальні поклади і глинисто-гіпсову шляпу. У результаті припливу води на поверхню розчинних солоних відкладень утворюються карстові порожнини, над якими відбувається нерівномірне осідання поверхні (Дяків та ін., 2018, 2019, 2021). У західному напрямку депресія збігається за формою з виходом легкорозчинних калійних руд під гіпсово-глиняну шапку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Геоелекологічні, гідрохімічні, гідрогеоелекологічні аспекти формування водних товщ карстового озера на місці провалу № 27 над рудником № 2 Стебницького гірничо-хімічного підприємства "Полімінерал" (за результатами матеріально-балансового моделювання та моніторингових спостережень) розглянуто у публікаціях В. Дяківа, З. Хевпи, А. Драновської (Дяків та ін., 2018, 2019, 2021). Особливості гідрогеологічних умов Стебницького родовища розглянуті у роботі А. Варламова зі співавторами (Варламов та ін., 1971). Традиції видобутку та соляна геологія на Стебницькій шахті, Передкарпатського регіону, розглянуті у роботі К. Буковського та Г. Чаповського

(Bukowski, Czapowski, 2009). Забруднення і негативний вплив стічних вод на калійних шахтах та іонний дисбаланс у навколишньому середовищі відображений у роботах Н. Бабершке зі співавторами (Baberschke et al., 2019a, 2019b).

Подібне цілеспрямоване вивчення просторово-часових змін рівнів підземних вод у спостережних свердловинах з наданням оцінки розвитку деформацій земної поверхні на шахтному полі рудника № 2 Стебницького родовища калійних солей раніше не проводилося.

Проблеми та явища, що відбуваються у процесі підземного вилуговування соляних порід та їх руйнування розглянуті в роботах П. Дутко та В. Зільбершміда зі співавторами (Дудко, 1972; Зільбершмідт та ін., 1992). Техногенні порушення геологічного середовища у районах розробки калійних родовищ обговорено у роботах Я. Семчука (Лукаш та Семчук, 1995; Семчук, 2001; Семчук та Малишевська, 2002). У праці С. Кореневського (Кореневський та Донченко, 1963) розглянуто питання геологічної будови та умов формування калійних родовищ Передкарпаття.

Формулювання цілей статті. Метою цієї роботи було проаналізувати просторово-часові зміни рівнів підземних вод у спостережних свердловинах та оцінити розвиток деформацій земної поверхні на шахтному полі рудника № 2.

Об'єкт досліджень – техногенно-геологічна система (ТГС) "техногенний комплекс-геологічне середовище" рудника № 2 Стебницького калійного родовища, який практично перебуває у стадії постмаїнінгу шляхом консервації за концепцією "мокрої консервації" (авторска білітаційного затоплення гірничих виробок).

Метод досліджень – комплексний, порівняння, аналіз, моделювання та прогнозування осідань і деформацій земної поверхні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стебницьке родовище калійних солей (виявлене у 1854 р., експлуатується з 1922 р.) розташоване в Дрогобицькому районі Львівської області, в 9,0 км на північний схід від м. Дрогобич. Родовище умовно поділяється на чотири ділянки: Північно-Західну, Центральну, Південну і Південно-Східну. Північно-Західна ділянка розроблялась рудником № 2, який у 1988 р. законсервовано через складні гідрогеологічні умови. Решта ділянок розробляється рудником № 1. Родовище відроблялось системами ортів і штреків з відбиванням руди свердловинами. До балансових запасів віднесено запаси, які лежать в інтервалі від нижньої межі водозахисного цілика (стелина) до 1037 м від поверхні (абсолютна позначка – 700 м), що відповідають кондиціям і мінімальній промисловій потужності (5 м). До позабалансових віднесено запаси водозахисних ціликів. Гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови експлуатації родовища складні внаслідок неоднорідності літологічного складу та геотехнічних параметрів солерудного тіла.

Стебницьке родовище калійно-магнієвих солей у геоструктурному плані розташоване у Внутрішній зоні Передкарпатського прогину і приурочене до відкладів воротищенської соленосної світи нижнього міоцену. Калійні поклади разом із соленосними породами представлені здебільшого брекчіями і зім'яті у вузькі лінійні складки, що зумовлює невитриманість водотривів і зміни глибин залягання та проникності водоносних горизонтів. Глибини залягання калійних солей у складчастих структурах сягають 1000 і більше метрів, потужність продуктивних пластів коливається від кількох до сотні метрів,

складаючи в середньому 20–30 м. Кути падіння пластів – 70–80°. Порооди, які вміщують калійні пласти, є галітовими утвореннями із вмістом кам'яної солі до 59–60 %, соленосними брекчіями, подекуди – соленосними глинами та поліміктовими пісковиками на галітовому цементі.

У наближених до земної поверхні ділянках продуктивна товща перекривається ГГШ, яка складена продуктами вивітрювання соленосних утворень – вторинними матеріалами. Потужність зони змінюється від 15 до 100 м, сягаючи подекуди 150 м. Над соленосними брекчіями ГГШ представлена безструктурними загіпсованими глинами, уламками пісковика, гніздами і лінзами піску. Над калійними покладами "шапка" більше загіпсована (глинисто-гіпсо-ангідритова порода, уламки з прошарками гіпсу серед загіпсованих глин).

Рельєф підшви ГГШ ("соляного дзеркала") складний. Перепад абсолютних відміток підшви до 50–70 м. Найменша потужність ГГШ у долинах річок, де водночас соляні відклади зосереджені на вищих відмітках. Над рудними покладами підшва глинисто-гіпсової шапки утворює псевдо-антиклінальні структури. Походження цих форм може бути пов'язане з боковим стискуванням порід, у результаті чого більш пластичні шари видавлюються з підвищенням їх покрівлі.

У гідрогеологічному відношенні Стебницьке родовище має складну гідрогеофільтраційну структуру, яка здатна до значних змін у техногенних умовах. Гідрогеологічні особливості його зумовлені двочленною будовою розрізу – соленосні відклади на родовищі мають складну гіпсометричну поверхню та скрізь перекриті товщею порід утворених унаслідок змін у зоні гіпергенезу (товща ГГШ).

Підземні води в алювіальних відкладах розвинуті в долинах річок Вишниця, Солониця, Вольєрної та Колпещкої балки. У верхній частині розрізу залягають переважно глини і суглинки, у нижній – не витримані по площі супіщано-суглинисті відклади з великим вмістом гравію або гравійно-галечникові відклади з піщано-глинистим заповнювачем. Коефіцієнти фільтрації в суглинках і глинистих породах із супіщаними прошарками не більші 0,07 м/добу, а в піщаних ґрунтах від 0,18 до 0,47 м/добу. Води гідрокарбонатно-хлоридні натрієві або хлоридно-гідрокарбонатні натрієві з мінералізацією 1–3 г/л. На окремих ділянках нижньої частини розрізу розвинуті гравійно-галечникові відклади із супіщаним заповнювачем. Коефіцієнт фільтрації у гравійно-галечникових відкладах із глинистим і супіщаним заповнювачем – 0,02–0,2 м/добу. У ГГШ підземні води поширені спорадично. Коефіцієнти фільтрації ГГШ дуже низькі та змінюються від 0,0001 до 0,04 м/добу у верхній і середній частинах розрізу, і від 0,00004 до 0,04 м/добу в нижній більш глинистій його частині.

Розсільний горизонт у зоні контакту соленосних порід із глинисто-гіпсовою шапкою розвинутий переважно в межах поширення калійних пластів. У природних умовах горизонт характеризувався повільним водообміном. У верхній і середній частинах розрізу мінералізація підземних вод сягає 5–70 г/л, а поблизу поверхні соляного дзеркала збільшується до 320–350 г/л. За переважальними компонентами води хлоридно-сульфатні натрієво-магнієві, хлоридні натрієві. Будова надсол'ювого колектора залежить від мінерального складу солі. На виходах полімінеральної солі вона являє собою піскоподібний матеріал, який складають залишки слаботорозчинних солей, глазериту ($3\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$), мірабіліту ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Нижче по розрізу він змінюється на крупноуламкову сіль різного складу, ще нижче – суцільна сіль з тонкими тріщинами. На

однорідних чисто галітових покладах поверхня зони розчинення може бути гладкою, а глина утворює із сіллю щільний слабопроникний контакт.

Соленосні відклади в цілому водотривкі. У підземних виробках за час експлуатації рудника було понад 40 проявів розсолу на всіх горизонтах шахти у вигляді вологих плям і капежів. Вони приурочені до прошарків ангідриту і зон розвитку в калійних пластах карналіту, полігаліту, епсоміту і глазериту.

Критичні зміни гідрогеологічних умов зумовлені проливом розсолів із надсольового колектора у жовтні 1978 р. на контакт рудного покладу нижньої лінзи пласта № 10 із соленосними породами в камеру 115 рудника № 2. Спершу в незначних кількостях потрапляли води сульфатного типу з великим вмістом хлоридів натрію і сульфатів магнію, потім за різкого збільшення дебітів їх змінили води, в яких хлорид магнію відсутній, а у великій кількості присутні сульфати натрію. У результаті постійного росту водопритливів у соленосній товщі утворилась значна кількість карстових та суфозійно-карстових пустот і порожнин. У районі прориву води сформувалась депресійна лінійка. Для перехоплення води було створено

дренажний горизонт. Водопритлив поступово збільшився з 500–600 до 900–1100 м³/добу. У районі родовища поширені водоносний горизонт у четвертинних відкладах і розсільний горизонт у зоні контакту соленосних порід із глинисто-гіпсовою шапкою. Води пролювіально-делювіальних відкладів у малопотужних супіщано-суглинистих відкладах (1–5 м) поширені спорадично і являють собою верховодку з обмеженим впливом на формування припливів.

Результати гідрогеологічних досліджень. Для стеження за рухом вод і визначення їхнього хімічного складу на шахтному полі Стебницького калійного родовища було створено мережу гідрогеологічних спостережних свердловин, профільно-центрична схема розташування яких враховувала вплив структурно-геологічної будови, змін літологічного складу та потенційних напрямків розвитку карстово-провальних форм на формування депресійної лінійки (профілі показано на рис. 7). Вона включає понад 30 свердловин, пробурених на нижню, центральну та верхню частини розрізу ГГШ. Спостереження за рівнями води у свердловинах проводили щомісяця (табл. 1), хімічний склад визначали двічі на рік.

Таблиця 1

Абсолютні відмітки рівня води в гідропостережних свердловинах на шахтному полі рудника №2

№ свердловини	Абсолютна відмітка устя, м	Грудень 2009		Грудень 2019		Різниця відміток XII.2009–XII.2019
		Глибина до води, м	Абсолютна відмітка, м	Глибина до води, м	Абсолютна відмітка, м	
96-с	334,23	1,8	332,43	1,55	332,68	0,25
135-с	338,07	3,26	334,81	19,70	318,37	16,44
153-с	335,7	47,95	287,75	39,45	296,25	8,5
154-с	338,4	22,40	316,0	25,10	313,3	2,7
155-с	344,3	9,83	334,47	49,50	294,8	39,67
180-с	343,16	14,93	328,23	17,10	326,06	2,17
182-с	353,98	29,80	324,18	28,0	325,98	1,8
135-с'	338,07	1,39	336,68	1,68	336,39	0,29
153-с'	335,7	38,76	296,94	34,40	301,30	4,36
154-с'	338,4	13,17	325,23	13,75	324,65	0,58
155-с'	344,3	6,80	337,5	30,68	313,62	23,88
175-с	325,96	15,80	310,16	41,80	284,16	26,0
180-с'	343,16	9,89	333,27	9,78	333,38	0,11
182-с'	353,98	20,20	333,78	27,70	326,28	7,5
136-с	340,16	3,36	336,80	8,95	331,21	5,59
143-с	354,92	12,13	342,79	21,69	333,23	9,56
160-с	338,59	3,23	335,36	6,23	332,36	3,0
167-с	325,0	3,40	321,60	2,33	322,67	1,07
168-с	320,33	2,7	317,63	5,47	314,86	2,77
173-с	335,25	6,15	329,10	5,81	329,44	0,34
136-с'	340,16	2,67	337,49	4,10	336,06	1,43
141-с'	357,8	8,67	349,13	12,29	345,51	3,62
168-с'	320,33	2,75	317,58	0,37	319,96	2,38
167-с'	325,0	0,89	324,11	1,85	323,15	0,96

Просторова інтерпретація динаміки рівня підземних вод у спостережних свердловинах свідчить про істотну латеральну гідрогеологічну диференціацію території:

- між шахтними полями рудників № 1 і № 2 та на східному фланзі шахтного поля рудника № 2, яка контролюється свердловинами № 141, 143, 168, 170 171, 172, 173 та ін. У цих свердловинах протягом водопритливу в рудник № 2 спостерігалось пониження рівня (рис. 1, 2). Після ліквідації водопритливу почалося відновлення рівнів і вони стабілізувалися на природних відмітках. Невеликі коливання вірогідно пов'язані із сезонними змінами живлення;

- на західному фланзі шахтного поля рудника № 2 (свердловини № 96, 101, 150, 151, 167, 181, 182 та ін.). Ці свердловини оточують утворені карстові озера, які у

період їх наповнення були дренами водоносних горизонтів покривних порід. У них спостерігається поступове зростання рівня, що свідчить як про зменшення дренавання, так і про відновлення інфільтраційного живлення водоносного горизонту (рис. 3, 4). Водночас у свердловинах № 182, 151, пробурених на цій території, спостерігається швидке пониження рівня води. Це може свідчити про розвиток карстового каналу в солях і про наближення до свердловини зони безнапірної течії розсолів. Постійне пониження почалося в середині 2009 р., коли спостерігалась інтенсифікація карстових провалів і перехоплення ними підземного потоку.

- на південному фланзі шахтного поля рудника № 2 у долині р. Вишніці (свердловини № 180, 154, 153, 157, 160, 166 та ін.), а також у центральній частині шахтного

поля рудника № 2 (№ 134, 135, 136, 155, 175 та ін.). Тут спостерігається в загальному зростання рівнів, що свідчить про збільшення інфільтрації. Особливо різкий ступеневий ріст відзначається у свердловині № 175 та 155. За 10 років рівень понизився у свердловині № 175 на

26 м, у свердловині № 155 на 39,6 м. У період 2015–2018 рр. він змінився різким падінням. Це може свідчити про наближення карстових каналів і збільшення їх дренажного впливу навколо осушеної зони над дренажними виробками і пластом № 10 (рис. 5, 6).

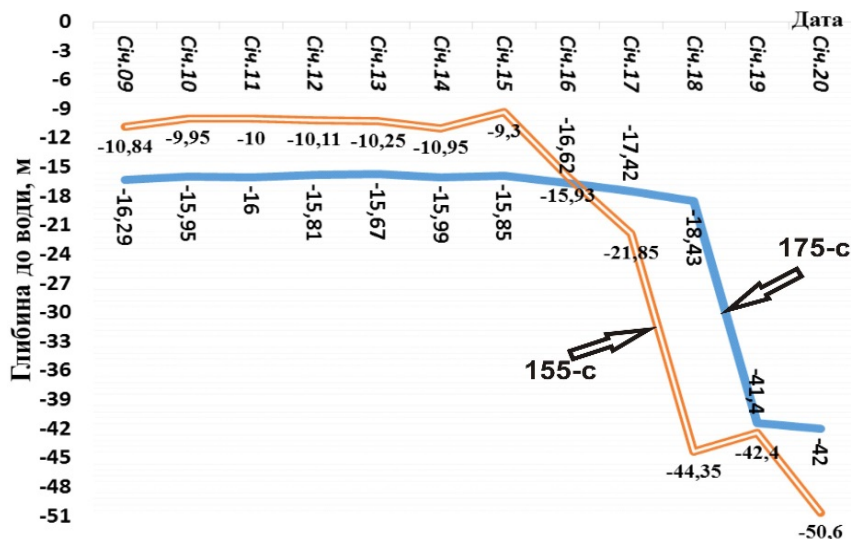


Рис. 1. Графік зміни у 2009–2020 роках рівня води в гідропостережній свердловині 175-С, абсолютна відмітка устя 325,96 м та свердловині 155-С, абсолютна відмітка устя 344,3 м

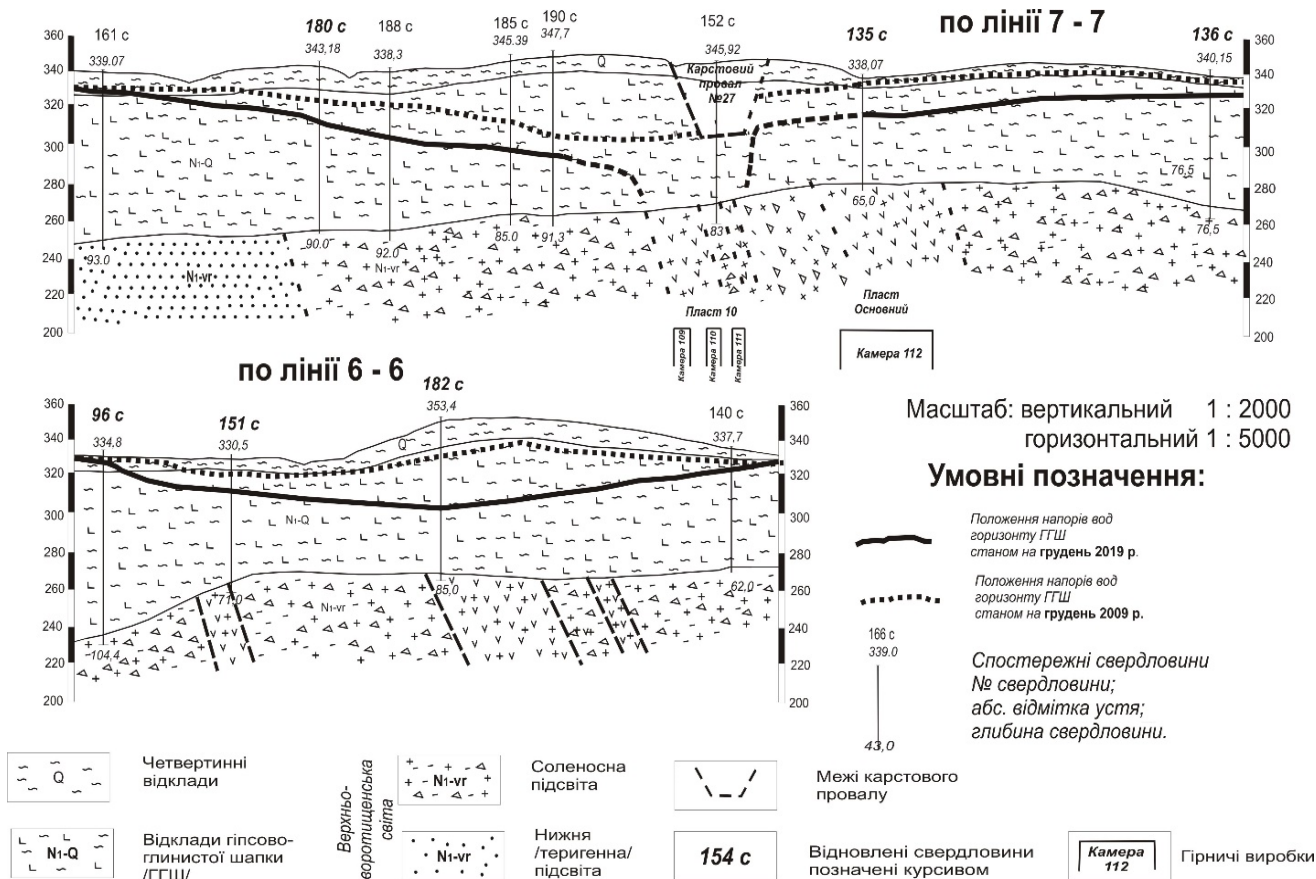


Рис. 2. Гідрогеологічні розрізи на ділянці прориву надсолевих вод у рудник № 2, по лінії 6–6; 7–7

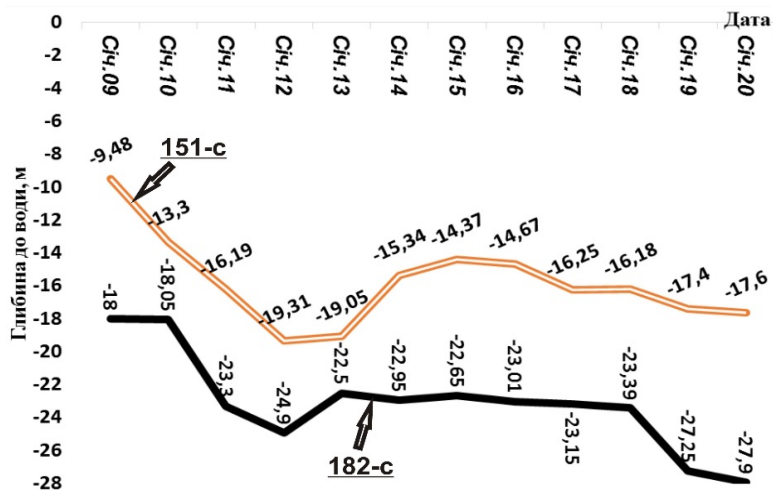


Рис. 3. Графік зміни у 2009–2020 роках рівня води в гідроспостережній свердловині 182-С, абсолютна відмітка устя 353,98 м та 151-С, абсолютна відмітка устя 331,02 м

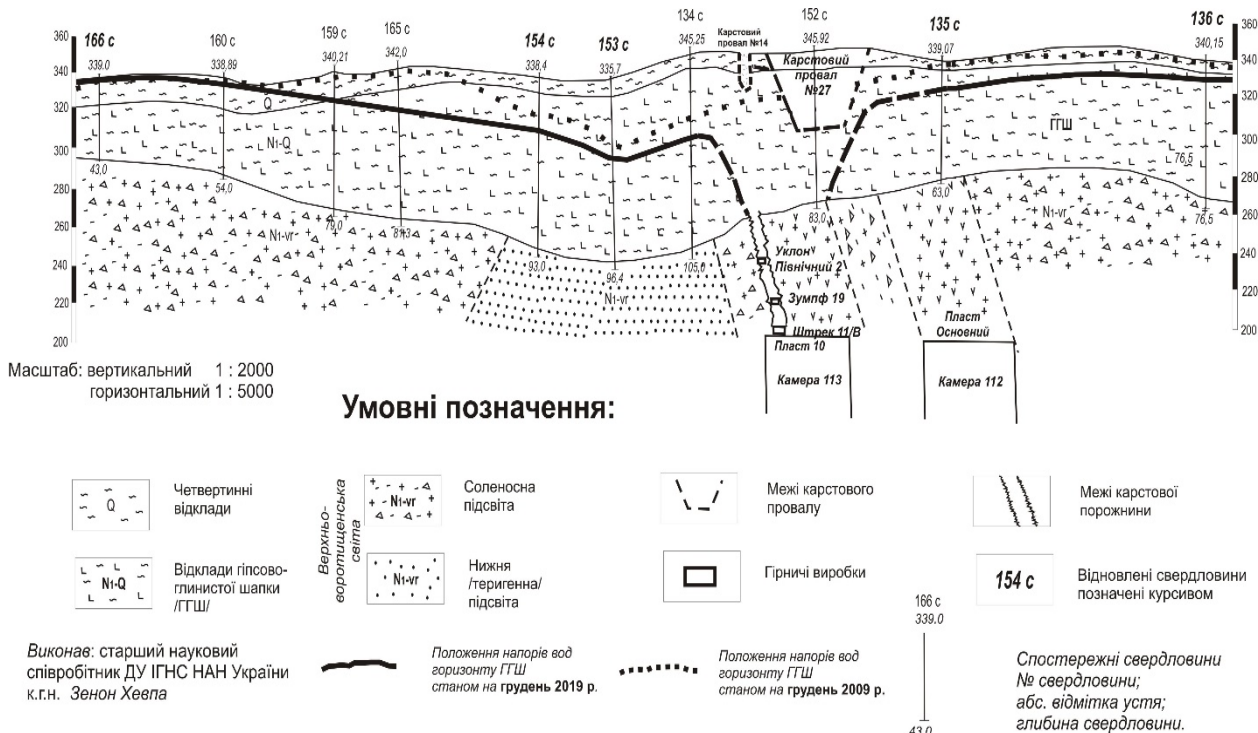


Рис. 4. Гідрогеологічний розріз на ділянці прориву надсолених вод у рудник № 2, по лінії 4-4

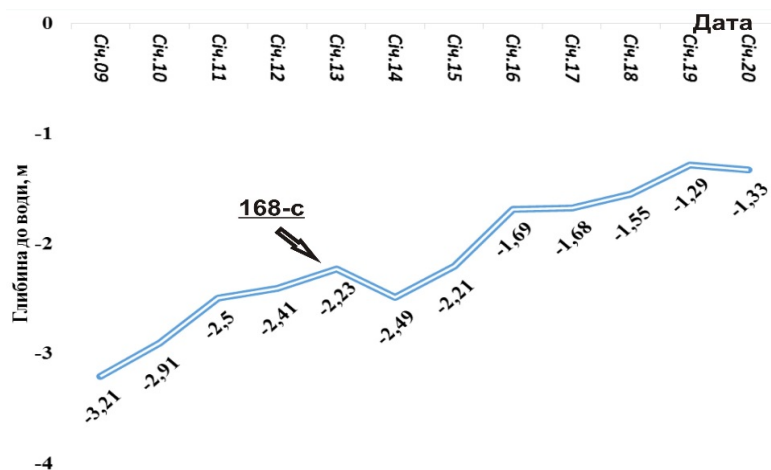
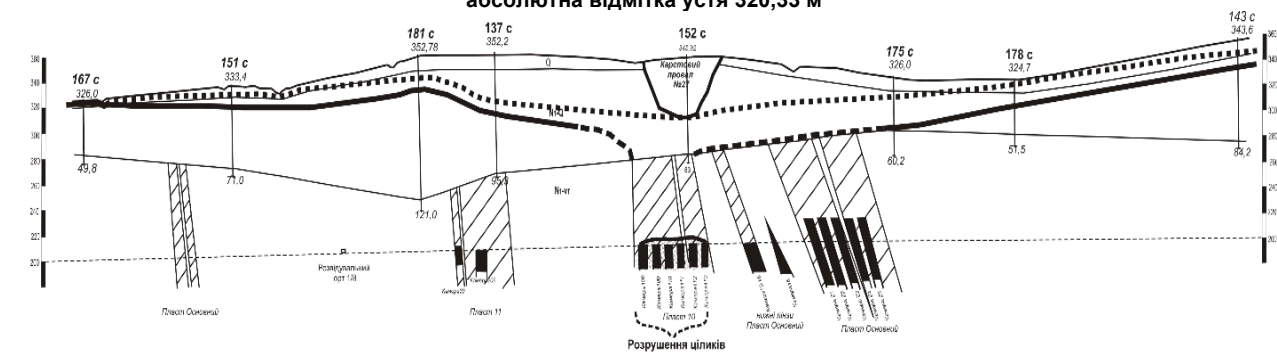


Рис. 5. Графік зміни у 2009–2020 роках рівня води в гідропостережній свердловині 168-С, абсолютна відмітка устя 320,33 м



Масштаб: вертикальний 1 : 2000
горизонтальний 1 : 5000

Умовні позначення:



Рис. 6. Гідрогеологічний розріз на ділянці прориву надсолевих вод у рудник № 2, по лінії 5–5

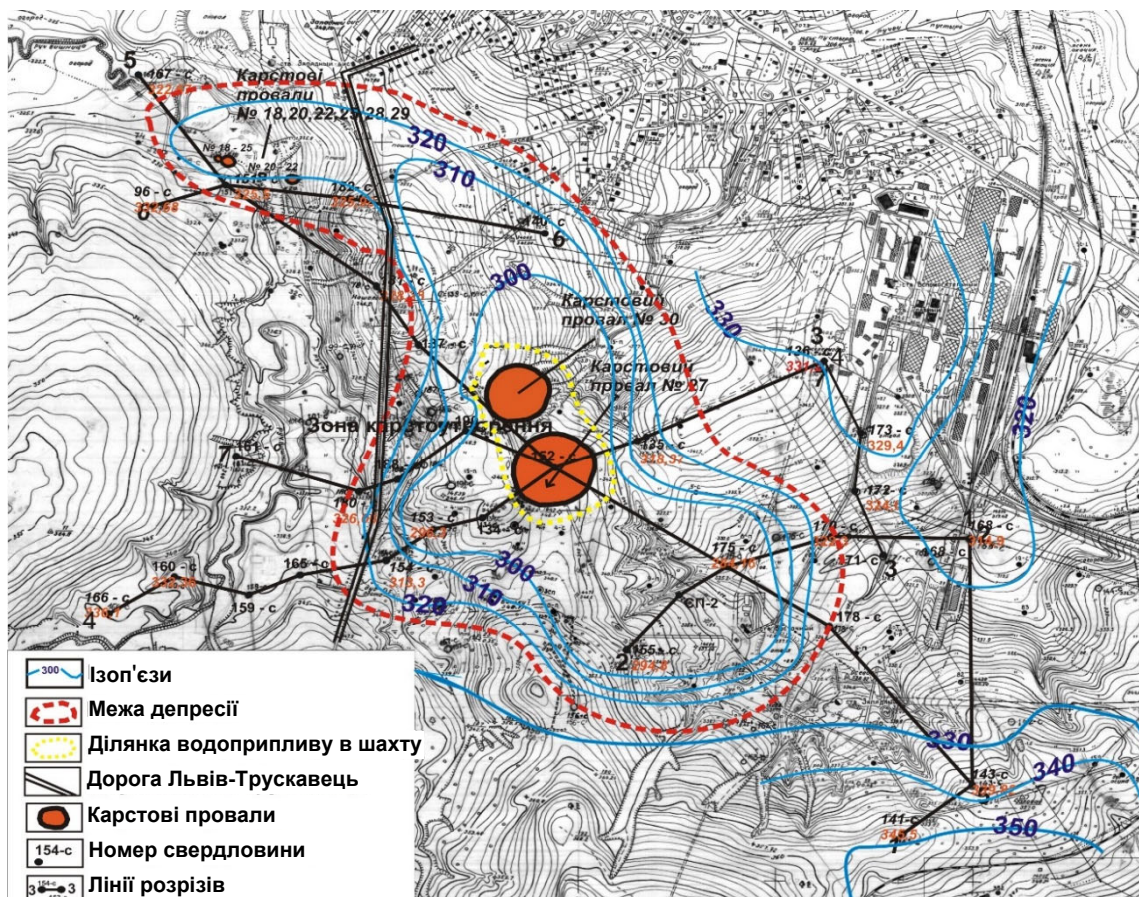


Рис. 7. Карта-схема ізоп'єз горизонту гіпсо-глинистої шляпи рудника № 2 Стебницького калійного родовища

Спостережувана динаміка рівнів підземних вод свідчить про формування депресійної лійки, яка простягається від Трускавецького лісового масиву на південному сході в північно-західному напрямку вздовж нашарування покладів.

Рівень напорів від горизонту гіпсо-глинистої "шляпи" в 2019 р. встановлювався в цьому районі на глибинах від 0,1 до 49,5 м, тоді як до виникнення течі глибина рівнів встановлювалася на глибині 11–15 м. Режимні

спостереження в мережі свердловин вказують на зниження рівнів з північно-західної сторони течії. Положення рівнів у свердловинах № 182, 151, 175, 155, 135, 136 є значно нижчим порівняно із замірами в інших свердловинах, це вказує на те, що процес розвитку депресійної лійки продовжує прогресувати, збільшуючи її площу.

На основі наших спостережень за рівнем води у свердловинах побудовано карту-схему ізоп'єз надсольового водоносного горизонту (рис. 7).

Форма ізоп'єз збігається з маркшейдерськими даними щодо осідання земної поверхні, які були нами зіставлені. У районі східної мульди, де розташовані виробки дренажного горизонту, спостерігається зона осушення, у якій водоносний горизонт повністю здренований. Навколо зони осушення утворилася депресійна лійка завглибшки близько 30 м від початкової поверхні водного дзеркала. Від центру депресійної лійки спостерігаються її три субдепресії (різнорозмірних фрагментів): перша витягнута до східного стовбура, друга – до ставка на р. Вишніці, третя – в напрямку до західної мульди. Ці субдепресії (різнорозмірних фрагментів) вказують на напрямки розвитку ділянок підвищеної проникності та найбільших припливів води в гірничі виробки.

Від депресійної лійки до західної мульди простежується вузька депресія, яка в плані збігається з виходом під гіпсово-глиняну товщу калійних пластів, вилугування яких могло призвести до розуцільнення покрівних порід з формуванням зони підвищеної проникності. Порівняння схеми ізоп'єз з картою просідання поверхні однозначно вказує на визначну роль соляного карсту в розвитку деформацій поверхні. Прикладом цього є карстовий провал № 27 (розмір 250х200 м, глибина 45 м), який утворився 30 вересня 2017 р. у 300 м на схід від дороги Львів–Трускавець і розташований над підземними відробленими камерами 109–115 Пд–Сх пласта, та карстовий провал № 30 (розмір 110х100 м, глибина до 50 м) з дуже крутими, майже вертикальними бортами, які постійно обвалюються, який утворився 15 березня 2020 р. і розташований 90 м на Пн–Зх від карстового провалу № 27 (рис. 4, 7). Оскільки депресійна лійка досягла дрен району основного живлення, то в подальшому прогнозовано потрібно очікувати її поглиблення та можливого утворення карстових провалів на земній поверхні.

Висновки

1. Встановлено, що внаслідок розвитку складнопобудованої депресії у зоні впливу карстово-провального дренажу практично по всій території гірничого відводу рудника № 2 протягом 2009–2019 рр. спостерігається пониження рівнів води горизонтів гіпсо-глинистої шляпи. Процес формування депресійної воронки прогресує в північно-західному напрямку, що свідчить про розвиток карстового каналу в солях.

2. У місцях розвитку карстових процесів, у напорах надсольових вод горизонтів гіпсо-глинистої шапки сформована депресійна лійка, яка простягається на віддалі 1600–1900 м від Трускавецького лісового масиву на південному сході, до р. Вишніця на заході, охоплює ділянки діючої автодороги Львів–Трускавець та запроєктованої і частково збудованої об'їзної траси до м. Трускавець. Осідання поверхні зумовлене розвитком карсту на контакті соленосних порід із глинистою товщею в зоні низхідного розвантаження потоку у виробки дренажного горизонту. Існує висока вірогідність провалів поверхні, які можуть спровокувати обвалення водозахисної товщі над зруйнованими ціликами.

3. Значний водопривплив надсольових вод на південно-західній та центральній ділянці шахтного поля рудника

№ 2 у сполученні з інтенсивним закарстуванням соленосного масиву та відкладів гіпсо-глинистої шляпи в межах депресійної лійки призвело до значної деформації земної поверхні, формування карстових провалів та техногенно-екологічних загроз об'єктам критичної інфраструктури.

4. Додатковим фактором просторово-часової активізації деформацій земної поверхні та розвитку карстово-провальних форм може бути зростання впливу глобальних змін клімату (збільшення зливових опадів, потепління, зростання частоти і висоти повеней і паводків), що вимагає вдосконалення моніторингу на основі впровадження технологій ГІС, ДЗЗ, математичного та натурального моделювання.

5. З метою запобігання техногенно спричиненій екологічній катастрофі нагально необхідно розроблення наукового обґрунтування гранично допустимих змін екологічних параметрів техногенно-геологічної системи "техногенний комплекс-геологічне середовище" рудника № 2 Стебницького калійного родовища у стадії постмаїнінгу шляхом еколого-технологічної консервації.

Acknowledgement. This project has received funding through the MSCA4Ukraine project, which is funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union. Neither the European Union nor the MSCA4Ukraine Consortium as a whole nor any individual member institutions of the MSCA4Ukraine Consortium can be held responsible for them.

Список використаних джерел

- Варламов. А.А., Козлов. С.С., Липницький. В.К., Ходьков. А.Є. (1971). Гідрогеологічні умови Стебницького родовища калійних солей. *Матеріали з гідрогеології та геол. ролі підземних вод*. Вид-во ЛДУ, 12–132.
- Дудко, П.М. (1972). Підземне вилугування солей. Надра.
- Дяків, В.О., Хевпа, З.З., Драновська, А.В. (2018). Аварія 30 вересня 2017 року на шахті № 2 Стебницького гірничо-хімічного підприємства "Полімінерал": причини, наслідки та сучасний стан (за результатами моделювання матеріального балансу та моніторингових спостережень): *матеріали П'ятої міжнар. наук.-практ. конф. "Інвестиційні перспективи надрокористування "Україна"*, Трускавець. Т. 1, 103–116.
- Дяків, В.О., Хевпа, З.З., Драновська, А.В. (2021). Сучасний стан шахти № 2 Стебницького ГХП "Полімінерал" та його вплив на карстологічну ситуацію (за матеріалами моніторингових спостережень, експериментального та матеріало-балансового моделювання): *матеріали Сьомої міжнар. наук.-практ. конф. "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестиційної України"*, Львів. Т. 2, 169–181.
- Дяків, В.О., Хевпа, З.З., Ковальчук, М.М. (2019). Геоекологічна характеристика та гідрохімічний склад товщ карстових озер, утворених на місці провалу № 27 над шахтою № 2 Стебницького гірничо-хімічного підприємства "Полімінерал": *матеріали Шостої міжнар. наук.-практ. конф. "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"*, Трускавець. Т. 2, 215–222.
- Зільбершмідт, В.Г., Зільбершмідт, В.В., Каймарк, О.Б. (1992). *Руйнування соляних порід*. Наука.
- Кореневський, С.М., Донченко, К.Б. (1963). Геологія та умови формування калійних родовищ Радянського Передкарпаття. Геологія родовищ калійних солей. *Тр. ВСЕГП. Нов. сер.*, 99, 3–152.
- Лукаш І.О., Семчук Ю.М. (1995). Вплив відходів калійних заводів на гідрохімічний режим підземних вод. *Хімічна промисловість України*, 2, 81–84.
- Рекомендації щодо мокрої консервації шахти № 2 Стебницького ДГХП "Полімінерал" (2002). *ДІГГ*. (с. 18–24). Калуш.
- Семчук, Ю.М., Малишевська, О.С. (2002). Дослідження процесів розчинення та вимивання соляних порід для оцінки наслідків затоплення калійних шахт. *Хімічна промисловість України*, 1, 9–12.
- Семчук, Я.М. (2001). Техногенне порушення геологічного середовища в районах розробки калійних родовищ. *Вугілля України*, 9 (537), 41–45.
- Baberschke, N., Irob, K., Preuer, T., Meinelt, T., Kloas, W. (2019a). Potash mining effluents and ion imbalances cause transient osmoregulatory stress, affect gill integrity and elevate chronically plasma sulfate levels in adult common roach, *Rutilus rutilus*. *Environmental Pollution*, 249, 181–190. doi: 10.1016/j.envpol.2019.03.004 [in German].
- Baberschke, N., Schulzik, L., Preuer, T., Knopf, K., Meinelt, T., and Kloas, W. (2019b). Potash mining effluents and ion imbalances cause transient stress in adult common roach, *Rutilus rutilus*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 180, 733–741. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.05.069.
- Bukowski K., Czapowski G. (2009). Salt geology and mining traditions: Kalush and Stebnyk mines (Fore-Carpathian region, Ukraine). *Geotourism/Geoturystyka*, 3(18), 27–34. DOI: 10.7494/geotour.2009.18.3.27.

References

- Baberschke, N., Irob, K., Preuer, T., Meinelt, T., Kloas, W. (2019a). Potash mining effluents and ion imbalances cause transient osmoregulatory stress, affect gill integrity and elevate chronically plasma sulfate levels in adult common roach, *Rutilus rutilus*. *Environmental Pollution*, 249, 181–190. [in German]. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.03.004.
- Baberschke, N., Schulzik, L., Preuer, T., Knopf, K., Meinelt, T., and Kloas, W. (2019b). Potash mining effluents and ion imbalances cause transient stress in adult common roach, *Rutilus rutilus*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 180, 733–741. [in German]. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.05.069.
- Bukowski, K., Czapowski, G. (2009). Salt geology and mining traditions: Kalush and Stebnyk mines (Fore-Carpathian region, Ukraine). *Geotourism/Geoturystyka*, 3(18), 27–34 [in Polish]. DOI: 10.7494/geotour.2009.18.3.27.
- Dudko, P.M. (1972). Underground leaching of salts. *Nedra* [in Russian].
- Dyakiv, V.O., Khevp, Z.Z., Dranovska, A.V. (2018). The accident on September 30, 2017 at mine №2 of the Stebnytsky mining and chemical enterprise "Polymneral": causes, consequences and current state (based on the results of material balance modeling and monitoring observations). *Fifth international scientific and practical conference "Investment prospects of subsoil use "Ukraine", Truskavets. Conference materials*, Vol. 1, 103–116 [in Ukrainian].
- Dyakiv, V.O., Khevp, Z.Z., Dranovska, A.V. (2021). The current state of mine №2 of the Stebnytsky HPP "Polymneral" and its influence on the karstological situation (based on the materials of monitoring observations, experimental and material balance modeling). *Seventh international scientific and practical conference "Ukrainian subsoil use. Prospects of investment Ukraine"*, Lviv. *Conference materials*, Vol. 2, 169–181 [in Ukrainian].
- Dyakiv, V.O., Khevp, Z.Z., Kovalchuk, M.M. (2019). Geocological characteristics and hydrochemical composition of strata of karst lakes formed at the site of failure №2 above mine №2 of the Stebnytsky Mining and Chemical Enterprise "Polymneral". *The sixth international scientific and practical conference "Subsoil use in Ukraine. Investment prospects", Truskavets. Conference materials*, Vol. 2, 215–222 [in Ukrainian].
- Korenevskiy, S.M., Donchenko, K.B. (1963). Geology and conditions of formation of potash deposits of Soviet Precarpathia. *Geology of potash deposits: Tr. VSEGEI. Nov. sir.*, 99, 3–152 [in Russian].
- Lukash, I.O., Semchuk, Yu.M. (1995). The influence of potash plant waste on the hydrochemical regime of groundwater. *Chemical industry of Ukraine*, 2, 81–84 [in Ukrainian].
- Recommendations for wet conservation of mine No. 2 of the Stebnytsky DHHP "Polymneral" (2002). *DIGG*. (p. 18–24). Kalush [in Ukrainian].
- Semchuk, Y.M. (2001). Man-made disturbance of the geological environment in the areas of development of potash deposits. *Coal of Ukraine*, 9 (537), 41–45 [in Ukrainian].
- Semchuk, Yu.M., Malyshevska, O.S. (2002). Study of processes of dissolution and leaching of salt rocks to assess the consequences of potash mine flooding. *Chemical Industry of Ukraine*, 1, 9–12 [in Ukrainian].
- Varlamov, A.A., Kozlov, S.S., Lipnitskiy, V.K., Khodkov, A.E. (1971). Hydrogeological conditions of the Stebnikovskiy deposit of potash salts. *Materials on hydrogeology and geol. the role of underground waters*. Publishing House of LSU, 124–132 [in Russian].
- Zilbershmidt, V.G., Zilbershmidt, V.V., Kaimark, O.B. (1992). Destruction of salt rocks. *Nauka* [in Russian].

Отримано редакцією журналу / Received: 16.04.23
Прорецензовано / Revised: 31.08.23
Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Zenon KHEVPA, PhD (Geol.), Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0002-6759-9850

e-mail: zenonzxv@gmail.com

State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Victor DOLIN, DSc (Geol.), Prof., Research Director

ORCID ID: 0000-0001-6174-2962

e-mail: vdolin@ukr.net

State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Eugene YAKOVLEV, DSc (Tech.), Chief Researcher

ORCID ID: 0000-0001-6934-618X

e-mail:yakovlevhydro@gmail.com

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF THE DEVELOPMENT OF DEFORMATIONS ON THE EARTH'S SURFACE WITHIN THE STEBNYTSKY POTASSIUM DEPOSIT MINE FIELD BY THE DATA OF HYDROGEOLOGICAL SURVEILLANCE

The paper presents the data generalization of the observations of hydrogeological monitoring of mining sites on the dynamics of groundwater level. The processing of hydro-regime studies conducted in 2009–2021 in the area of the mine bypass of the №2 pit was carried out. Hydrogeological sections reflecting changes in water levels over time were prepared. The most important factor in the lowering of the ground surface is salt karst development. The evaluation of the intensity of karst collapse processes was based on the interpretation of the results of the dynamics of the subsurface water level. The site network consists of more than 30 observation wells drilled into suprasaline and Quaternary aquifers. The main causes of deformation of the salt rock massif and the earth's surface have been identified. These are a decrease in the geomechanical strength of the rock due to its hydration and subsequent subsidence under the geostatic load of the overlying rock, and subsidence of the clay layer covering the salt rock due to the karst process. Based on the observed data, hydrogeologically oriented spatial zoning of the mining concession was performed. As a result of the development of a complex depression in the area of influence of the karst drainage, a drop in the water level in the gypsum-clay horizons was observed over the entire area in 2009–2019. The depression funnel runs in a northwesterly direction, indicating the development of a karst channel in the salts. Significant inflow of suprasaline water in the southwestern and central parts of the mine field combined with intense karstification of the salt massif and gypsum-clay cap deposits within the depression funnel resulted in significant deformation of the earth's surface, formation of karst funnels, and technogenic and ecological threats to critical infrastructure objects. To prevent a man-made ecological catastrophe, it is urgent to develop a scientific rationale for the maximum permissible changes in the environmental parameters of the man-made geological system of the №2 mine of the Stebnytsky potash deposit during the post-mining phase.

Keywords: mine processing, mine field, deformation of the earth's surface, hydrogeological wells, regime observations, flow rate of water inflow.

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.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

UDC 528.4 + 551.4

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.103.14>

Mauro DE DONATIS¹, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-9721-1095
e-mail: mauro.dedonatis@uniurb.it

Giulio F. PAPPAFICO¹, Master (Geol.), Technician
ORCID ID: 0009-0001-4683-4460

Roberta BONI¹, PhD (Geol.), Researcher
ORCID ID: 0000-0002-3477-1044

Mirko FRANCIONI¹, PhD (Geol.), Researcher
ORCID ID: 0000-0001-6358-374X

Lucia MARINO^{1,2}, PhD Student (Geol.)

Stefano MORELLI¹, PhD (Geol.), Researcher
ORCID ID: 0000-0001-8069-3609

Sergii VYZHVA³, DSc (Geol.), Prof.
ORCID ID: 0000-0003-4091-6649
e-mail: vyzhvas@gmail.com

Vitalii ZATSEKOVNY³, DSc (Tech.), Prof.
ORCID ID: 0009-0003-5187-6125

¹University of Urbino Carlo Bo, Urbino, Italy

²Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italy

³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

LANDSLIDE FIELD MAPPING: IFFI-RESTART FORMS FOR DATA ACQUISITION AND MANAGEMENT

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

Over the last few decades, the approach to geological and geomorphological surveys has changed remarkably. The advent of digital tools has allowed significant advances in the acquisition and management of survey data. In this paper, we demonstrate the development and testing of a new and effective digital survey method that allows for the fast acquisition and collaborative storage and management of data and information. This method was tested in collaboration with five universities for the mapping and classification of landslides in 249 survey areas in Central Italy and, more precisely, in the municipalities affected by the 2016 Central Italy Earthquake. Geological and geomorphological surveys were carried out in the field with tablet PCs, GPS, and cameras. The survey project for collecting field data was based on the structure of the Italian Landslide Inventory (IFFI) and the Territorial Resilience Central Apennines Earthquake Reconstruction (ReSTART) projects. The structure of the database and input forms were implemented for these aims. Moreover, the data and information were retrieved and organised in detailed records useful to the administrative entities.

Keywords: digital geological survey, mobile GIS, relational database, geopackage, landslide inventory, post-disaster management.

Introduction. The reconstruction of the inhabited centres in the municipalities affected by the 2016 earthquake in Central Italy involves a series of studies and acquisition of geological knowledge of the territory, all of which is managed by the government commissioner in a system called ReSTART (ReSTART..., 2020). Within this system, numerous projects are carried out by institutions and universities for technical and planning purposes. Among them, a program agreement was activated between the commissioner for reconstruction and the Central Apennines River Basin District Authority (ABDAC), a public entity (recognised by national law since 2017) with technical-scientific competences and a detailed knowledge base of the geo-hydrological hazards and risks of the involved areas. This agreement also involved five universities of Central Italy (University of Camerino, Chieti, Perugia, Rome 'La Sapienza', Urbino 'Carlo Bo') in a project for the resizing and reclassification of landslides that mainly affect the inhabited centres, according to the schemes of the Hydrogeological Basin Plans (PAI: Piano d'Assetto Idrogeologico) regulated and managed by ABDAC.

PAI represents a fundamental tool for land-use planning through the application of land-use restrictions and

regulations and may be changed periodically by the River Basin District Authorities based on new studies and surveys, the occurrence of new landslides and floods, realisation of mitigation measures, or requests by local authorities (Trigila, & Iadanza, 2018).

The landslide hazard zones of the River Basin Plans (PAI) include areas of potential evolution of existing landslides and areas where new landslides may occur, in addition to occurred landslides (Trigila, & Iadanza, 2018). The Italian Landslide Inventory (IFFI Project) realised by the Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA)-Geological Survey of Italy and the 21 Regions and self-governing Provinces (Trigila et al., 2007, 2010; Trigila, & Iadanza, 2008) was the preliminary and key tool used in the PAI for defining landslide hazard and risk assessment. The IFFI landslide inventory is the most complete and detailed landslide database in Italy (Trigila, & Iadanza, 2018).

In the framework of ReSTART activities, the ABDAC identified 1948 landslide and 239 survey areas (Fig. 1), i.e., slope sectors delimited by morphological features such as watersheds and drainage lines enclosing places with assets needing rebuilding (Fig. 2).

© De Donatis Mauro, F. Pappafico Giulio, Boni Roberta, Francioni Mirko, Marino Lucia, Morelli Stefano, Vyzhva Sergii, Zatserkovny Vitalii, 2023

Geographically, the area includes 138 municipalities (Fig. 1) belonging to the Provinces of Ancona, Macerata, Ascoli Piceno, Fermo, Perugia, Terni, Rieti, L'Aquila, Teramo, and Pescara in the four Regions involved (Abruzzo, Lazio, Marche, and Umbria). In these areas, the PAI regulations and classifications are distinct from each

other in the plans of the Marche, the Tronto Basin, Abruzzo, the Tiber, and Umbria. They derive from the territorial analyses of the primary regional hydrographic basins of Central Italy that were conducted individually prior to the formal constitution of the ABDAC, which currently manages them jointly.

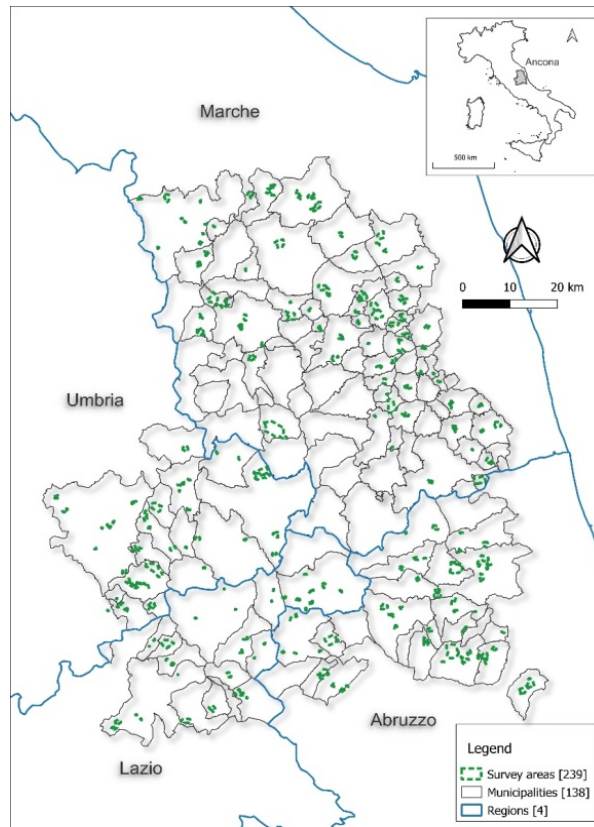


Fig. 1. Geographical area including the 138 municipalities identified by the River Basin District Authority for the recovery and reclassification of landslides occurring near the towns in the Region sectors affected by the 2016 Central Italy earthquake. The green dashed lines represent the 239 survey areas

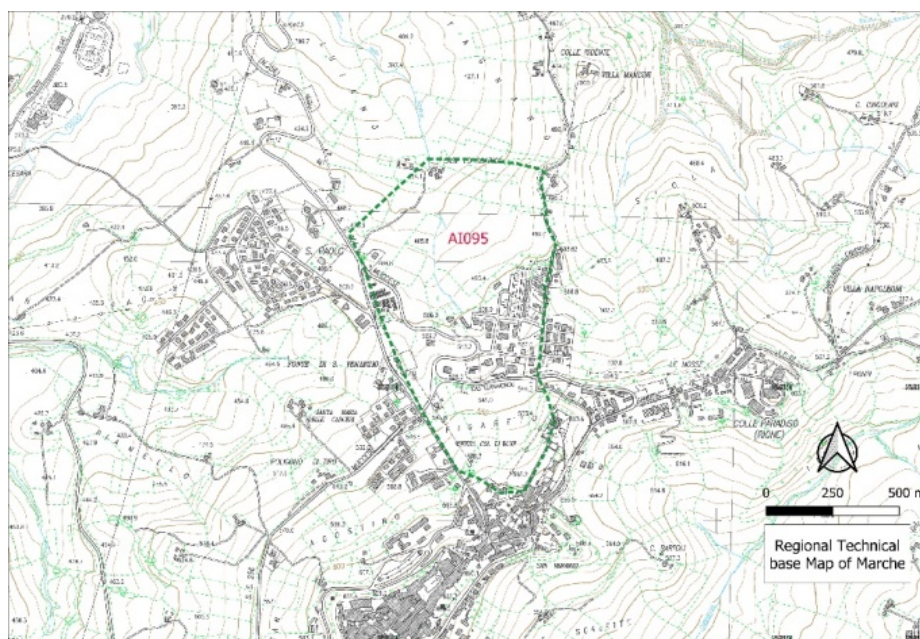


Fig. 2. Example of survey area as defined in Fig. 1. The green dashed line bounds the area. Base map from the Regional Technical Cartography (C.T.R.) at the scale of 1:10.000 (Regione Marche, Carta tecnica numerica 1 : 10000, s.d.)

IFFI-ReSTART form. The need to adopt a common method and a scheme for all operators who work in the field and in the laboratory, while respecting the various regulations but with the aim of standardization, led to the choice of data acquisition according to a well-defined form (Jordan et al., 2005). This form is related to a database management system (DBMS) here designed, implemented, and illustrated (see Appendix A), which was used within the university project for the resizing and reclassification of landslides.

The form, although assuming the definitions and fields of the IFFI Project (Amanti et al., 2001; Trigila et al., 2007, 2010), was redefined and integrated in some parts, both to standardize the different PAI and to adhere to the main purpose – the safe reconstruction of inhabited centers.

In the field, we acquired detectable data from direct observations and measurements or with ground- and/or drone-based photographic acquisitions. The form allowed acquiring relevant observations to facilitate interpretation of the field data.

This new tool allowed the standardization of the field data collection, while guaranteeing a certain work speed and high data quality and providing storage that can be managed within a multi-platform database format and an open-source and free GIS program.

Methods. Before operating in the field, we acquired all the ancillary data and bibliographic documentation for the database and the photographic and satellite images for the identification and multi-temporal analysis of the phenomena under study and the neighboring areas (defined in the project as the area of interest, AI).

The surveys were carried out through conventional geological and geomorphological methods with the aid of digital tools supporting a GIS field project (De Donatis et al., 2019).

Therefore, while compass, hammer, binoculars and all the classic analogue instruments allowed the observation and measurement of geological data, the digital survey method developed during this project enabled acquiring and digitally storing the data directly in the field with the instruments.

1. Hardware. The use of digital tools for field mapping is well-documented (Clegg et al., 2006; De Donatis, & Bruciatelli, 2006; Gallerini et al., 2005). In this project, tablet PCs (Windows Surface Pro 7) equipped with the Windows 10 operating system and an input pen (stylus) were used. Windows tablet PCs had more than adequate capabilities (CPU Intel® Core™ i5-1135G4; RAM 8 GB; 128 Gb Disk; screen size 12.3") to manage maps, images, and data used and/or collected on the ground. An adequate cover made the tablet more rugged and transportable.

The positioning was carried out with Garmin Glo receivers (available for GPS and GLONASS; update rate: 10 Hz; WAAS/EGNOS correction; accuracy: 3 meters; battery life: 13 hours) linked to the tablet via Bluetooth (Musumeci et al., 2004). For photograph acquisition, the tablet cameras and external digital cameras were used.

2. Software. The main GIS software used was QGIS (version 3.16) (Development Team QGIS Geographic Information System, 2020), which has been employed for years in field research. This GIS software was chosen for its ease and widespread use, as well as for the open-source approach that allows the customisation and creation of new tools suited for field work (De Donatis et al., 2016, 2019). Some plug-ins, downloadable from the QGIS plug-in repository) such as BeePen (Alberti, 2015/2019), were used to write notes and draw with the stylus directly on the map, similar to the pen-on-paper system (De Donatis et al., 2016). QGIS is a professional, multi-platform Geographic Information System desktop application, the official project

of the Open Source Geospatial Foundation (OSGeo, 2022). Another application used in this field work was QField for QGIS (OPENGIS.Ch, 2022). It is a free software app released under the GNU Public License (GPL) and available for installation on devices such as tablets and smartphones to collect data on the ground. The QGIS QFieldSync plugin (OPENGIS.Ch, 2022) allowed preparing and packaging the QGIS project and the associated database system into a much lighter "portable" project file that could be opened and used in QField for QGIS. After the field work, the same plugin allowed synchronising the modification and updating of data with the database and the QGIS desktop project file.

3. Database. A geographic relational database was developed to support the acquisition of landslide data in the field and their storage using tablet PCs, GPS, and open-source software. The database was designed and implemented in the Geopackage format (Open Geospatial Consortium). Geopackage is an open, standards-based, platform-independent, compact native storage format using an SQLite database as container and the Geopackage encoding standards defining the scheme. Database tables and fields correspond to entities and attributes derived from the IFFI Project Italian landslide inventory (Trigila et al., 2010; Trigila, & Iadanza, 2008) and updated following the criteria adopted by the abovementioned ReSTART project. The entity-relationship scheme of this database was fully developed from scratch.

The database is named *restart.gpkg* and was implemented in accordance with the scheme shown in Fig. 3, in which the tables named *lslide*, *photo*, *extent*, *risk area*, *anthropic* and *mitigation* (green in the figure) are spatial tables. Their geometry type is "polygon" except for the *photo* table, the geometry type of which is the "point". The other tables (blue in the figure) are non-spatial tables: 12 are association tables and 27 are lookup (Connolly, & Begg, 2005) or dictionary tables (Fig. 3).

The lookup tables store fixed categorical and ordinal data values representing classification standards of landslide-related information and are associated with the other tables mainly by means of "one-to-zero, one or many" relationships (Fig. 3).

The *lslide* table stores only the information regarding the landslide bodies, already censused or newly identified, and the polygon geometry representing both the landslide detachment zone and the zone of accumulation.

The *extent* table is a spatial table storing a polygonal geometry representing the potential enlargement of the landslide, which may coincide with the current one or be mapped by the surveyor as larger than the landslide assuming its maximum expansion area. This table is associated with the *lslide* table by means of a "one-to-one" relationship and is an intermediate table between the *lslide* table and *hazard* table, because the latter contains the four hazard levels to be assigned to the landslide extent polygon as required by the ReSTART project standards. The *extent* table is also associated with the *risk area_extent* table by means of "one-to-zero, one or many" relationship (Fig. 4). The *riskarea_extent* table is an intermediate table between the *extent* table and the *risk area* table. The latter stores the polygons of the risk areas possibly enclosed by the landslide extension area. Each polygon of the *extent* table can enclose any, one or more risk areas. A risk area table polygon encloses the asset features already mapped in the official cartography. The lookup risk table provides the classes of risk to assign to each risk area. The greater risk class between those assigned to the risk areas will be associated with each polygon of the *extent* table.

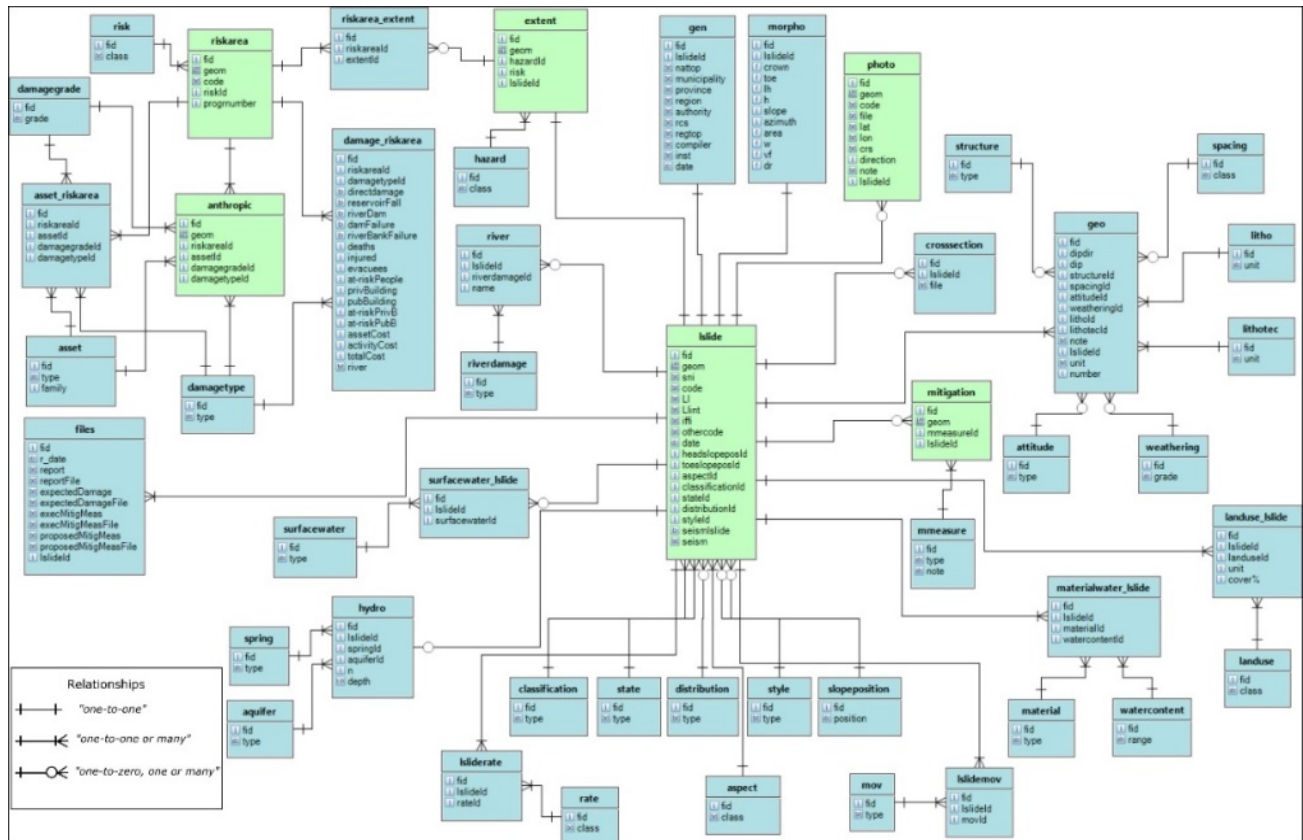


Fig. 3. The restart database entity-relationship (E-R) diagram representing core spatial tables in green, non-spatial association and lookup tables in blue, with listed fields and relationships between tables. The fields and the reasons for choosing the types of relationships between tables are illustrated below. The symbols of the types of relationships are described in the legend

The asset_riskarea table is another intermediate table between the riskarea on the one hand and the damagetype, damagegrade, and asset tables on the other, allowing the association of the types of assets involved in the landslide and the type and grade of damage with the risk area enclosing the assets (Fig. 3). In addition, the anthropic table is an intermediate spatial table with the same role as the asset_riskarea (Fig. 4). The latter table stores data relative to assets already mapped in the risk areas; the anthropic table instead allows the surveyor to map new polygons or linestrings representing asset features not yet mapped, as well as to record the relative types of assets and the type and grade of damage (Fig. 4). In the damage_riskarea table, instead, it is possible to store information on the different types of damage induced by landslides in each risk area and the related costs (Fig. 3). The spatial riskarea table is associated with this table by means of a "one-to-one or many" relationship.

The database can also store the information relative to the type of damage eventually induced by landslides to a river course by means of the "one to zero, one or many" relationship between the lslide table and the river intermediate table (Fig. 4), because a landslide can affect or potentially affect one or more river courses. The riverdamage lookup table provides the list of damage types to assign to the river table (Fig. 4).

The photographic documentation is stored in the photo table associated with lslide by means of "one-to-zero, one or many" relationship (Fig. 3). Each individual landslide can be documented by one or more photographic images. In this table, geometry type data and the point coordinates are also stored.

The lslide table is the spatial table storing the polygonal geometry of the landslide and containing a set of foreign keys pointing to lookup table attributes characterising landslides regarding the classification of the kinematics, state, distribution, style, and position on the slope (Fig. 3).

The lslide table is associated with the gen and morpho tables by means of a "one-to-one" relationship, and with the geo table by means of a "one-to-one or many" relationship. In the gen table general information about the geographical and administrative location of each landslide is stored. In the morpho table, instead, the values of the main morphometric parameters of each landslide can be registered (Fig. 3).

One or more lithological and lithotechnical types (retrievable from the litho and lithotec tables, respectively) and one or more lithostratigraphic units can be affected by the same landslide; thus, one or more records of the geo child table can be associated with one record of the lslide parent table. The attributes of the geo table are mainly foreign keys pointing to the primary keys of six lookup tables, allowing the association of values of the compositional, physical, and mechanical characteristics with each geological unit affected by the landslide (the lookup tables are litho, lithotec, structure, spacing, attitude, weathering; see Fig. 3).

The materialWater_lslide table has three foreign keys referring to the primary keys of the lslide table, the material table and the watercontent table. This table allows the association of the material and the water content with a landslide by means of a "one-to-one or many" relationship (Fig. 4).

The lslide foreign key of the lslidemov intermediate table points to the primary key of the lslide table establishing the "one-to-one or many" relationship from the lslide parent table to the lslidemov child table, thus allowing the

association of the types of movement with a landslide. This is because one or more types of movement, retrievable from the lookup table *mov*, can characterise a landslide, particularly if it is a complex one. The *Isldemov* child table is associated with the *mov* parent table by means of a "one-to-one or many" relationship (Fig. 4). Identical relationships

are established between the Isliderate intermediate child table and the Islide parent table, and between the Isliderate table and rate parent table. One or more classes of the rate of movement of a landslide, retrievable from the lookup table rate, can characterise the different types of movement of a complex landslide (Fig. 3).

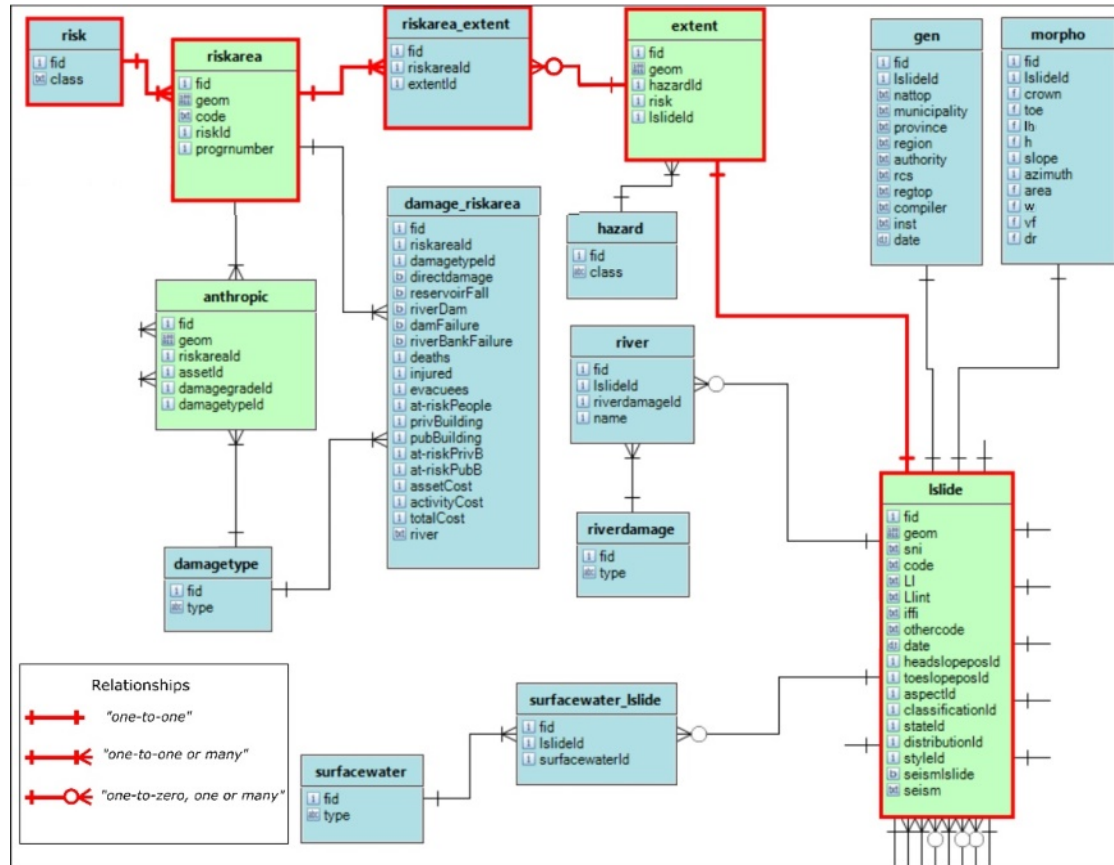


Fig. 4. Relationships between the Islide table and the extent table, and between the latter and the riskarea table through the riskarea_extent intermediate table. The red line symbols represent the type of relationship as described in the legend

The `lslide` table is also associated with the `lslide`landuse intermediate table by means of a "one-to-one or many" relationship, because one or more land-use units can be affected by the same landslide; thus, one or more records of the `lslide`landuse table can correspond to one record of the `lslide` parent table (Fig. 3). Another foreign key in the `lslide`landuse table (`landused`) points to the primary key of the landuse lookup table and stores the unique 'id' of the land-use class involved in the landslide (Fig. 3).

The Islide table is also associated with the mitigation table by means of a "one-to-zero, one or many" relationship (Fig. 3). The mitigation table is an intermediate spatial table between the Islide table and the measure. This table allows the surveyor to use the mapping polygons or linestrings representing mitigation features not mapped. The measure parent table is a lookup table storing a list of mitigation methods that can be associated with the landslides through the mitigation child table (Fig. 3).

The cross-section table stores any cross-section crossing the landslide body. The *Islide* table is associated with this table by means of a "one-to-zero, one or many" relationship because one or more representative cross-sections can be drawn for the investigated landslide, or no cross-section may be available (Fig. 3).

The surfacewater_lslide intermediate table shows the same relationship types as the mitigation table, with the lslide table on the one hand and the surface water table on the other (Fig. 3). The table allows the surveyor to associate the surface water content with the landslide.

4. Input forms. The restart database is behind a GIS implemented with the QGIS software. The attributes of the restart database tables are linked to the fields in a series of forms designed for use within the QGIS graphic interface; they, in turn, constitute the graphic interface with the restart.gpkg geographic database. The forms allow the surveyor to quickly record and store the data directly in the restart database, ensuring proper entry and integrity.

The form setting was based on the QGIS project file layer relations, based, in turn, on the database table relationships.

One main form was configured for the purpose of expediting the acquisition of data in the field and storing it directly in the restart database. The form is a multi-pages form accessible through 11 tabs (Fig. 5).

The first form page named "POSITION and ACTIVITY" is used to record the landslide identification data and the main landslide attributes surveyed and recorded (Fig. 5).

Fig. 5. The remaining quarter of the first form page named "POSITION and ACTIVITY" from Figure B1 with the other field boxes described in the text

After digitising each landslide polygon, the form window opens and field boxes are autocompleted. The "LABEL" field is automatically filled based on the autocompletion rules coded in the database triggers. The autocompletion of the label value depends on the eventual intersection of the digitised polygon with one or more landslides already present in the PAI inventory and pre-loaded as layers into the QGIS project file. In this case, the surveyor chooses the pre-existing landslide label to change and deletes all others. Then, the autocompletion rules store in the LABEL field the value composed of the label chosen and the surveyor's initials. In the event of digitising a new landslide polygon not intersecting with any pre-existing one, the autocompletion rules store the label value composed of the local administrative unit code, the surveyor's initials, and the progressive number. Thus, the landslide label displays a new unique landslide identifier code.

The other identification data are represented by the field boxes:

- "Name of the surveyor", the field containing the surveyor's name;
- "Progressive number", to be filled only in the event of digitising a new landslide polygon not intersecting with any pre-existing one. Otherwise, it is left empty;
- "IFFI", the field automatically filled with the univocal landslide identifiers from the national inventory (Inventory of Landslide Phenomena in Italy, IFFI) only when digitising a new landslide polygon intersecting with one or more pre-existing IFFI inventory landslide polygons pre-loaded into the QGIS project file as a layer;
- "Other", the field provided to store a label or identifying code of the landslide reported in a scientific publication.

Scrolling down, fields describing the landslide slope position (relative to landslide head, toe, and aspect), the activity (including landslide state, distribution, style) and the main type of movement are completed, along with whether the landslide is earthquake-induced or not:

- "HEAD", "TOE", "Aspect", "STATE", "DISTRIBUTION", "STYLE" and "CLASSIFICATION" are attributes whose values are selected from the respective drop-down lists present in the form (Fig. 5). The fields are linked to the attributes of the database's lookup tables (slopeposition, aspect, state, distribution, style, classification) containing the codes of the geological/technical data representing the descriptors of landslide position, movement, and activity following (Cruden, & Varnes, 1996; WP/WLI, 1990, 1993);

- "earthquake-induced", the field storing a Boolean data type: the true value means that the landslide is earthquake-induced, the false value that it is not. The default value is set on false;

- "earthquake date", the field storing the value of the earthquake date time.

The second form page, named "GENERAL INFORMATION", contains the attributes relative to the location of the landslide, the date of the inspection, and the surveyor's name (Fig. 5).

The "MORPHOMETRY" form page is used to record the values of the landslide morphometric parameters (Fig. 5):

In the "GEOLOGY" form page the fields to be compiled hold the attributes of the geo association table and of six lookup tables providing the list of compositional, physical, and mechanical parameters associated with the geological units affected by the landslide (Fig. 5).

Two last fields contribute to the complete description of the unit: "LITHOLOGY" and "LITHOTECHNIC UNIT", whose values are selected from their respective drop-down lists. In this case, the fields are linked to the attributes in the database's lookup tables containing the descriptors of lithological and geological/technical units (Trigila et al., 2007).

The fields of the "LANDUSE" form page (Fig. 5) are linked to the Islide/landuse table's fields unit, landused, cover%, and Islideid.

The "MOVEMENT" form page is composed of two internal sections: Movement and Rate (Fig. 5).

Also in the "MATERIAL and WATER" form page are two internal fields displayed as "MATERIAL" and "WATER

CONTENT", which are drop-down menus listing descriptor values derived from (Varnes, 1978; Cruden, & Varnes, 1996) (Fig. 5).

- "MATERIAL", the field describing the type of material before involvement in the landslide;

- "WATER CONTENT", the field describing the moisture conditions of the material before the occurrence of the landslide movement.

The form page "HYDROGEOLOGY" allows storing information, if available, related to the surface water and groundwater of the landslide area by means of two separate internal sections: Surface water and Springs and aquifer (Fig. 5). Descriptor values are selected from drop-down lists, then stored in the surfacewater_lslide and hydro association tables, respectively.

The ninth form page ("PHOTOGRAPHIC DOCUMENTATION") is used to enter the information regarding the images depicting the landslide features, the structures that have suffered landslide-induced damages, and the adopted mitigation measures (Fig. 5). The data related to the images are stored in the "restart" database's photo table. This table is associated with the lslide table using a foreign key in accordance with "one-to-many" relationships for which each landslide is associated with one or more images (see section 5. Photo acquisition).

The photo table is a spatial table, and an Add point button on the form page allows digitising a new geometry point representing the photographic shot point (the button with the three points in Fig. 6). Once the point is drawn, the attributes dialogue box opens showing the LAT, LON, and REFERENCE SYSTEM fields, which will be filled by the action of triggers executed when data are saved. The triggers are defined on the photo table and stored in the database as photo_coords_ins and photo_crs_ins.

Before saving, is necessary to:

- Load an image file with the Browse button aligned with "FILE NAME" from the folder where the file was previously saved. This action stores the file name and path in the photo table's file corresponding field and displays the file name on the page. A QGIS "Photo" widget is used, which allows the image to be previewed on the same form page (Fig.6). The file field represented by the alias "FILE NAME" is constrained to unique, so duplicate entries are avoided;

- Store in the "PHOTOGRAPHIC SHOT DIRECTION" field the azimuth of the photography direction. The field corresponds to the photo table's direction field;

- Compile the field "CAPTION" with a brief description of the image subject;

- The "Landslide code" field is automatically filled by means of the relationship between the lslide table and the photo table.

"REPRESENTATIVE CROSS-SECTION" is the form page allowing the loading and storing of the images of one or more cross-sections relative to the selected landslide (Fig. 6).

- By means of the Browse button in the "FILE NAME" field, an image file may be loaded from the folder where it was previously saved. The action stores the file name and path in the crosssection table's file field and displays the file name under FILE NAME on the page. A QGIS "Attachment" widget is used, which allows the image to be previewed on the same form page (Fig. 6). The file field, alias "FILE NAME", is constrained to unique, so duplicate entries are avoided;

- The "Landslide code" field is automatically filled by means of the relationship between the lslide table and the crosssection table.

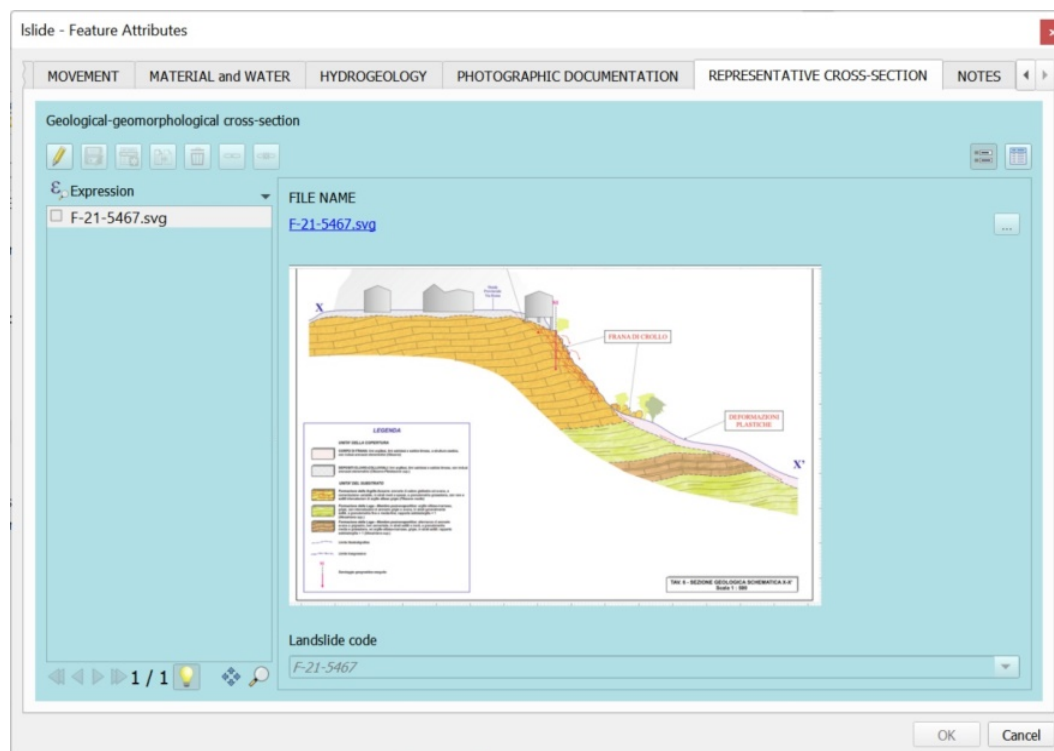


Fig. 6. The tenth form page named "REPRESENTATIVE CROSS-SECTION" for loading one or more images of geological-geomorphological cross-sections by means of the top right Browse button. Landslide code is automatically recorded

The last form page is "NOTES". It is composed of four tags allowing for storing different types of reports: reports on

expected damages, reports on executed and proposed mitigation measures, and landslide analysis reports (Fig. 6).

Each tag is composed of:

- "Registration date of the report", a field for recording the report date in the database;
- "SUMMARY REPORT", a multiline field for recording a synthetic report of the analyzed landslide. In each tag, the summary report covers the topic in the header;
- "REPORT FILE", a field for saving the report file name and path in the database and creating a link to open it directly from the form.

5. Photo acquisition. The "Photographic Documentation" form page was set up to facilitate the rapid storage of the points representing the photographic shots taken in the field and of the other form attributes simultaneously with the point digitization (Fig. 6).

By clicking on the top left Add point button, visible in Fig. 6, the form disappears, giving way to the map view. After digitizing the new photographic shot point, the form reappears to allow loading the previously saved photo's files

and filling in the other requested parameters, such as the PHOTOGRAPHIC SHOT DIRECTION and the CAPTION. The LAT, LON, and REFERENCE SYSTEM field boxes, instead, will be automatically compiled by the action of database triggers executed when data are saved.

6. QField for the field work. The restart database contains 91 tables. Many of these can store data obtained from bibliographic sources or from the subsequent processing and analysis of data previously acquired on the ground. By using the QFieldSync plugin installed in the QGIS Desktop main project, it was possible to prepare and package the main QGIS project into a much lighter "portable" project file for QField to ease the acquisition of data in the field. The QField package created includes the project file and only the tables and features useful for field surveying that may be copied and used on a land-data collection device (Fig. 7). The new QField project shows only the forms needed to collect the data observable in the field.

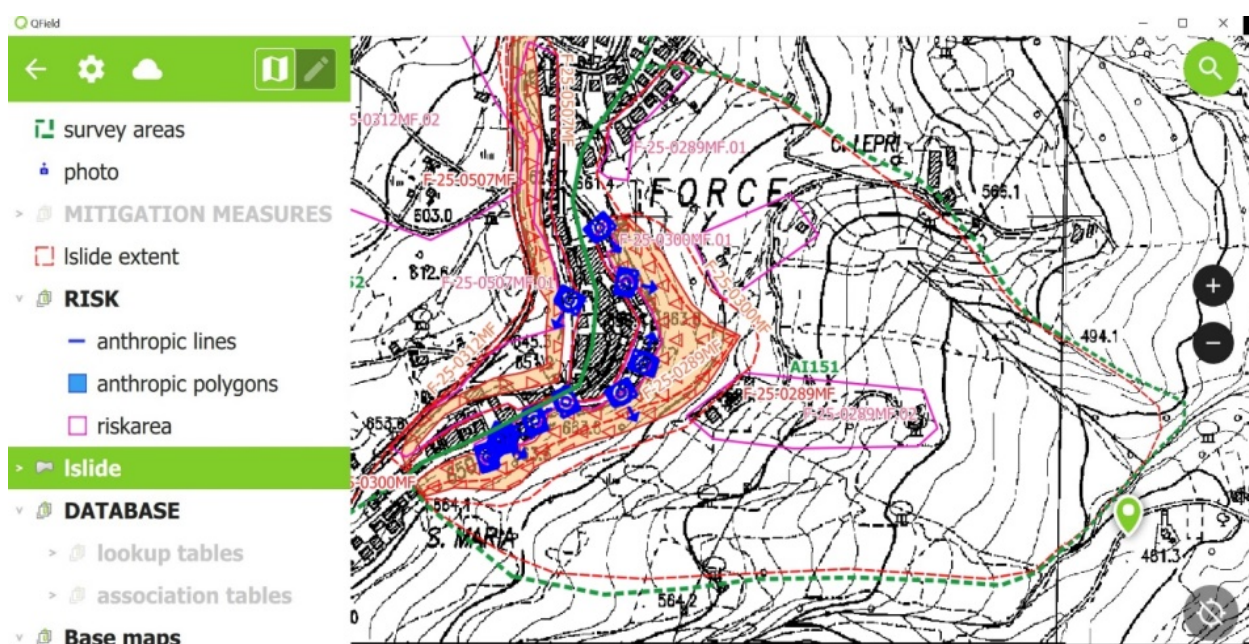


Fig. 7. A survey area (bounded by the dashed green line) viewed in QField (OPENGIS.Ch, 2022) with some features mapped and saved into the restart database with their attributes: two landslides (of light orange with red triangles), ten photographic shot points (marked by blue cameras), and other features explained in the QField left panel displaying the legend of the map with the main layers of the project

After the digital survey in the field, the QField project package is copied from the device to the desktop computer where the QFieldSync plugin allows for synchronization of the changes from the portable database tables to those in the main database.

The Chieti University survey group chose to work with the QField for QGIS version 1.X for Android on the Samsung Galaxy Tab Active Pro tablet as they assumed it was the fastest way of collecting field data (Miccadei, 2022).

To use the QField project, they organised the export according to the guided procedure from QGIS to QField, inserting the main layers/tables useful for data collection in the field.

The only information layers used were Islide and photo, and all other information useful for the population of the database was collected in the "digital field notebook".

The total compilation of the whole project, including the related database, was conducted in a second phase on the PC using QGIS Desktop.

7. Other Data and Information. In addition to acquiring "structured" data in tabular form through the survey sheet

system illustrated above, customised with some plug-ins and other accessory programs, this mobile system makes it possible to acquire and manage usage information for final processing.

The BeePen plug-in allows drawing notes directly on the map on the screen. Some quick corrections were made to the landslide and outcrop limits available from previous landslide cartography (IFFI, PAI, and regional geologic and geothematic cartography (CARG) (CARG Project – Geologic and Geothematic Cartography, 1988) projects) or new acquisitions with indication/comment. These simple lines were digitized to a proper level.

Another useful application is the Windows Journal, which can be freely downloaded and installed (Microsoft Corporation, 2021). This app is used for field notes where text and sketches can be kept. Moreover, pictures and drawings in the app can be imported. The handwriting text can also be converted into digital text.

Discussion. The need to create a survey that could be used by different geologists and managed in a simple and

reliable way in the field and to organise data and information for easy import and synthesis into the ABDAC database led to the creation of a dedicated GIS project.

The database structure complicated the challenge of including data and information, as well as maps, images and photos, sketches, and sections, that were manageable both on the ground and indoors and in the end would lead to a synthesis providing a means to analyze and produce the required reports. The Geopackage format best responded to these needs because it was simple to use and allowed unifying data collected by different users in one database.

To improve the ease of management of the GIS project in the field, several data and information entry forms were created. Each of these windows had different characteristics and often benefited from lists of terms and standardized classifications.

Collecting the data of each survey group in an overall project was a key point of this project, and it was possible thanks to the QGIS project implemented and packaged in a portable version for QField and to the platform-independent, portable, and compact format of the Geopackage database that connected with the overall ABDAC database structure.

Conclusion. Thus, with the data and information structured in the database, it was possible to use the tablet as a normal analogue campaign notebook in which to insert the observations that were useful for interpretations and processing but did not fit into the rigid structure of the IFFI-ReSTART card. Using the stylus both directly on the cartography ("Pen-on-map" surveying system) and on the pages of an annotation sheet (Windows Journal) maintained the traditional and proven surveying practices consolidated by decades of field practice.

The integration of field data with those already available or obtainable in the enabled creating a definitive database for PAI data that could be managed (and potentially increased or adapted to other functions) or consulted at various administrative levels (ABDAC, Regions, Provinces, Municipalities, professionals, and so on).

The accuracy of the GPS positioning was adequate. In fact, even if a cartographic antenna was used with an accuracy of the metric order, the reference base maps equalled those of the topographic map (Regione Marche, Carta tecnica numerica 1 : 10000, s.d.) at a scale of 1 : 10,000. At this scale (1 mm on the sheet equalled 10 m on the ground) the accuracy and precision of these instruments were largely sufficient. The possibility of entering data into a GIS database directly in the field also reduced the possibility of errors in the subsequent phases of indoor so-called "digitization", perhaps by a different operator (Campbell et al., 2005). For this purpose, GIS skills are no longer the prerogative of lab operators but also of field geologists.

Acknowledgments. Authors are grateful to dr. Paolo Sarandrea for the confrontation about methodology. Thanks to Marzia Lamboglia for her active contribution in the research group.

References

Alberti, M. (2019). BeePen, Python plugin for QGIS [Python]. <https://github.com/mauroalberti/beePen> (Original work published 2015)

Amanti, M., Bertolini, G., Chiessi, V., De Nardo, M. T., & Damasco, M. (2001). Allegato 1 – Guida alla compilazione della scheda frane IFFI. SGN – Geological Survey of Italy.

Campbell, E., Duncan, I., & Hibbitts, H. (2005). Analysis of Errors Occurring in the Transfer of Geologic Point Data from Field Maps to Digital Data Sets. *Workshop Proceedings, U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1428*, p. 61–65. <https://pubs.usgs.gov/of/2005/1428/campbell/>

CARG Project—Geologic and geothematic cartography. (1988). Geologic and Geothematic Cartography. <https://www.isprambiente.gov.it/en/projects/soil-and-territory/carg-project-geologic-and-geothematic-cartography-1>

Clegg, P., Bruciatelli, L., Domingos, F., Jones, R. R., De Donatis, M., & Wilson, R. W. (2006). Digital geological mapping with tablet PC and PDA: A comparison. *Computers, & Geosciences*, 32(10), 1682–1698. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.03.007>

Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes, Special Report 1996 (Special Report Fasc. 247; Transportation Research Board, pp. 36–75). National Academy of Sciences.

De Donatis, D. D. M., & Bruciatelli, B. L. (2006). MAP IT: The GIS software for field mapping with tablet pc. *Computers, & Geosciences*, 32(5), 673–680. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.09.003>

De Donatis, M., Alberti, M., Cesarini, C., Menichetti, M., & Susini, S. (2016). Open Source GIS for geological field mapping: Research and teaching experience. *PeerJ Preprints*, 4, e2258v3. <https://doi.org/10.7287/peerj-preprints.2258v3>

De Donatis, M., Pappafico, G. F., & Romeo, R. W. (2019). A Field Data Acquisition Method and Tools for Hazard Evaluation of Earthquake-Induced Landslides with Open Source Mobile GIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/ijgi8020091>

Development Team QGIS Geographic Information System. (2020). QGIS (3.10). Open Source Geospatial Foundation.

Gallerini, G., De Donatis, M., Baioni, D., & Bruciatelli, L. (2005). Landslide field mapping with tablet pc. A new integrated approach. *Proceedings of the 11th International Conference and Field Trip on Landslides, Norway, Landslides and Avanches*, 107–113.

Jordan, C. J., Bee, E. J., Smith, N. A., Lawley, R. S., Ford, J., Howard, A. S., & Laxton, J. L. (2005). The Development of Digital Field Data Collection Systems to Fulfil the British Geological Survey Mapping Requirements. *GIS and Spatial Analysis, Proceedings of IAMG '05, Toronto*, p. 886–891.

Miccadei, E. (2022). QField for Android, the fastest way in collecting field data [Personal communication]. Department of Engineering and Geology.

Microsoft Corporation. (2021). Windows Journal software for Windows 7 (10.0.173) [Microsoft Windows, Windows Phone]. Retrieved from <https://support.microsoft.com/en-us/help/3162655/windows-journal-application-for-windows>

Mussumeci, G., Scianna, A., Siligato, G., & Villa, B. (2004). Impiego dei ricevitori GPS a basso costo per applicazioni GIS e catastali: Limiti e potenzialità. *GEOMATICA standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie*, 1535–1539.

OPENGIS.ch. (2022). OPENGIS.Ch. <https://www.opengis.ch/>

OSGeo. (2022). <https://www.osgeo.org/>

Regione Marche, Carta tecnica numerica 1:10000. (s.d.). Recuperato 13 agosto 2020, da <https://www.regione.marche.it/Regione-Utili/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Cartografia/Repertorio/Caratecnica-numerica-10000>

ReSTART. Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale. (2020, aprile 12). <https://www.autoritaadistrettoac.it/restart>

Thomas, M., Connolly, & Carolyn, E. Begg. (2005). Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation and Management, 5th Edition (IV). Pearson. <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Connolly-Database-Systems-A-Practical-Approach-to-Design-Implementation-and-Management-5th-Edition/PGM191949.html>

Trigila, A., & Iadanza, C. (2008). Landslides in Italy, Special Report 2008 (Special Report Fasc. 83). Italian National Institute for Environmental Protection and Research-Geological Survey of Italy/Land Protection and Georesources Department. <https://www.isprambiente.gov.it/it/publicazioni/rapporti/landslides-in-italy-special-report-2008>

Trigila, A., & Iadanza, C. (2018). Landslides and floods in Italy: Hazard and risk indicators – Summary Report 2018 (Summary Report 287bis/18; Reports, p. 30). Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA). <https://www.isprambiente.gov.it/en/publications/reports/landslides-and-floods-in-italy-hazard-and-risk-indicators-2013-summary-report-2018>

Trigila, A., Iadanza, C., & Guerrieri, L. (2007). The IFFI Project (Italian Landslide Inventory): Methodology and results. Guidelines for Mapping Areas at Risk of Landslides in Europe, 60. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/>

Trigila, A., Iadanza, C., & Spizzichino, D. (2010). Quality assessment of the Italian Landslide Inventory using GIS processing. *Landslides*, 7(4), 455–470. <https://doi.org/10.1007/s10346-010-0213-0>

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes. In *Landslides: Analysis and control*. (Transportation Research Board, National Academy of Science). Schuster RL, Krizek RJ.

Отримано редакцією журналу / Received: 24.03.23

Прорецензовано / Revised: 14.09.23

Схвалено до друку / Accepted: 18.10.23

Мауро ДЕ ДОНАТИС¹, PhD (геол.), доц.
ORCID ID: 0000-0002-9721-1095
e-mail: mauro.dedonatis@uniurb.it

Джуліо Ф. ПАППАФІКО¹, магістр (геол.), технік
ORCID ID: 0009-0001-4683-4460

Роберта БОНИ¹, PhD (геол.), наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-3477-1044

Мірко ФРАНЦІОНІ¹, PhD (геол.), наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0001-6358-374X

Лучія МАРІНО², асп.

Стефано МОРЕЛЛІ¹, PhD (геол.), наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0001-8069-3609

Сергій ВИЖВА³, д-р геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-4091-6649
e-mail: vyzhvas@gmail.com

Віталій ЗАЦЕРКОВНИЙ³, д-р техн. наук, проф.
ORCID ID: 0009-0003-5187-6125

¹Університет Урбіно Карло Бо, Урбіно, Італія

²Університет Неаполя Федеріко II, Неаполь, Італія

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ПОЛЬОВЕ КАРТУВАННЯ ЗСУВІВ: IFFI-RESTART-ФОРМИ ДЛЯ ЗБОРУ ТА УПРАВЛІННЯ ДАНИМИ

За останні кілька десятиліть підхід до геолого-геоморфологічних досліджень помітно змінився. Поява цифрових інструментів дала змогу досягти значного прогресу в отриманні та управлінні даними опитувань. У цій статті продемонстровано розробку й тестування нового та ефективного методу цифрового опитування, який дозволяє швидко отримувати та спільно зберігати й керувати даними й інформацією. Цей метод був випробуваний у співпраці з п'ятьма університетами для картографування та класифікації зсувів у 249 районах обстеження в Центральній Італії, а точніше, в муніципалітетах, які постраждали від землетрусу в Центральній Італії 2016 року. Геолого-геоморфологічні дослідження проводились на місцевості за допомогою планшетів, GPS та камер. Проєкт обстеження для збору польових даних базувався на структурі проєктів Італійської інвентаризації зсувів (IFFI) і проєктів Територіальної стійкості Центральних Апеннін після землетрусів (ReSTART). Для цього реалізовано структуру бази даних та форми введення. Крім того, дані та інформація були отримані та організовані в детальні записи, корисні для адміністративних установ.

Ключові слова: цифрова геологічна служба, мобільна ГІС, реляційна база даних, геопакет, інвентаризація зсувів, управління після катастроф.

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 4(103)

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. 14,1. Наклад 300. Зам. № 223-10838.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Гл4.
Підписано до друку 29.12.23

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