

VISNYK
OF THE LVIV
UNIVERSITY

Series Geology

Issue 39

Scientific journal

Published 1 issue per year

Published since 1962

Ivan Franko
National University of Lviv

ВІСНИК
ЛЬВІВСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

Серія геологічна

Випуск 39

Збірник наукових праць

Виходить 1 раз у рік

Виходить з 1962 р.

Львівський національний
університет імені Івана Франка



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

Друкуються за ухвалою Вченої Ради
Львівського національного університету
імені Івана Франка
протокол № 88/9 від 24 вересня 2025 р.

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа:
Рішення Національної ради України з питань
телебачення і радіомовлення № 1877
від 30.05.2024 року. Ідентифікатор медіа: R30-04892

На підставі наказу Міністерства освіти і науки України № 1309 від 25.10.2023 р.
(додаток 4) збірник внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»)
у галузі природничих наук (спеціальність Е4 – Науки про Землю).

According to the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine as of 25.10.2023 № 1309
(annex 4), the collection is included in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine
(category "B") on natural sciences (specialty E4 – Earth sciences).

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Львівський національний університет імені Івана Франка
(вул. Університетська, буд. 1, м. Львів, 79000, zag_kan@lnu.edu.ua, (032) 239-41-22)
Media entity – Ivan Franko National University of Lviv (79000, Universytetska Str., 1, Lviv,
zag_kan@lnu.edu.ua, (032) 239-41-22)

У збірнику публікують наукові праці з актуальних проблем загальної та регіональної геології,
геотектоніки, геодинаміки, геології корисних копалин, геофізики, стратиграфії, петрології, літології,
седиментології, екології, гідрогеології, історії геології, геонформаційних систем та технологій
у науках про Землю.

The scientific journal publishes papers on current problems of general and regional geology,
geotectonics, geodynamics, mineral geology, geophysics, stratigraphy, petrology, lithology, sedimentology,
ecology, hydrogeology, history of geology, Geoinformation Systems and Technologies in Earth Sciences.

Редакційна колегія:

Канд. геол.-мін. наук, доц. *П. К. Волошин* (головний редактор); канд. геол. наук, доц.
Л. В. Генералова; канд. геол.-мін. наук, проф. *А. Б. Богущий*; д-р геол. наук *О. М. Ігнато*;
д-р геол. наук *К. Г. Григорчук*; д-р геол. наук, проф. *М. М. Павлунь*; канд. геол.-мін. наук
А. В. Побережський; чл.-кор. НАН України, д-р геол. наук, проф. *Н. Я. Раковець*; д-р філософії
З. Франковські (Польща); д-р геол. наук *Ю. В. Хоха*.

Редакційна рада:

Канд. геол. наук, доц. *Ю. М. Віхоть*; д-р філософії, проф. *Л. Городиський* (США); канд. геол. наук
С. Я. Криль; д-р геол. наук, проф. *Ю. З. Крупський*; д-р геол. наук, доц. *Ю. І. Федоришин*;
канд. геол. наук, доц. *С. І. Цихонь*.

Editorial Board:

Associate Professor *P. Voloshyn* – Editor-in-Chief,
Associate Professor *L. Heneralova* – Deputy Editor-in-Chief.

Відповідальний за випуск д-р геол. наук, проф. *Микола Павлунь*
Упорядники: *Л. Генералова*

Адреса редколегії:

Львівський національний
університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4,
м. Львів, Україна, 79005
тел.: (038) (032) 272-80-56

Editorial office address:

Ivan Franko National
University of Lviv,
Hrushevskoho Str., 4,
Lviv, Ukraine, 79005
tel.: (038) (032) 272-80-56

Комп'ютерне верстання *С. Калабухова*

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com від польської компанії *Plagiat.pl*.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ, ВИДАВЦЯ І ВИГОТОВЛЮВАЧА:
Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Підписано до друку 06.10.2025 р.
Формат 70х100/16
Ум. друк. арк. 22,43.
Тираж 100 прим. Зам. 1025/832

© Львівський національний
університет імені Івана Франка, 2025

ISSN 2786-6548 (Online)
ISSN 2078-6425 (Print)

ЮВІЛЕЙ

УДК 378.4.096:55(477.83-25)(091)(035)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.39.01>

ДО 80-РІЧЧЯ ЗАСНУВАННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

**Микола Павлунь, Євгенія Сливко, Олег Гайовський,
Сергій Ціхонь, Лариса Генералова**

*Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. М. Грушевського, 4,
Львів, Україна, 79005
e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua, slyvko@lnu.edu.ua, oleg.hayovskyy@lnu.edu.ua,
serhii tsikhon@lnu.edu.ua, larysa.heneralova@lnu.edu*

У статті проаналізована навчальна, наукова робота колективу геологічного факультету, видання монографій, підручників і посібників та навчально-методичних розробок, студентської наукової роботи. Звернуто увагу на зростання кількості наукових статей у журналах, які входять у наукометричні бази даних Web of Science і Scopus, що дало змогу сформувати редакції трьох журналів періодики факультету й перевести їх в категорію Б фахових журналів. Здійснено аналіз виконання співробітниками наукових держбюджетних тем і тем, які виконують у межах робочого часу викладачів. Стисло описано організацію та проведення наукових конференцій, круглих столів, семінарів та розкриті всеукраїнські й міжнародні зв'язки геологічного факультету. Показано нову оптимізовану структуру геологічного факультету та новий розпис штатного науково-педагогічного й лабораторного персоналу, нову кількість навчальних і навчально-наукових лабораторій. Описано можливості проведення загальноосвітньої та геолого-зйомочної навчальних практик студентам першого і другого курсів на базі університету в смт Верхнє Синьовидне в Сколівському районі Карпат. Зазначено, що перелік освітніх програм, які опановують студенти факультету, за змістом покривають усі наявні проблеми геологічного виробництва і наук. Синтезовано, що факультет консолідує довготривалих традицій потужних наукових шкіл із сучасними інноваційними трендами й підходами навчання й підготовки висококваліфікованих фахівців у царині геології, відповідно до потреб ринку праці в умовах євроінтеграції. Підсумовано, що геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка – один із лідерів у сфері підготовки фахівців геологів, яка відповідає високим стандартам якості геологічної вищої освіти навчання

Ключові слова: 80 років геологічному факультету, навчальний і науковий процес, практики, олімпіади, наукові конференції, структура геологічного факультету, Львівський національний університет імені Івана Франка.

Постановка проблеми. Історія становлення геологічного факультету Львівського університету, його зростання, розвиток і навчально-наукові питання з різною детальністю й різнобічно проаналізовано в численних статтях, матеріалах наукових конференцій та Енциклопедії університету [3–6; 8–11]. Однак найновішу й найяскравішу інтегровану інформацію про факультет можна знайти у двох довідково-інформаційних виданнях під назвою «Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка», де у першому виданні наведені матеріали за 1945–2005 рр., у другому – 1945–2010 рр. [1; 2]. У третій книзі, яку видано до 75-річчя факультету, міститься інформація за період



Геологічному факультету Львівського національного університету імені Івана Франка – 80 років. Міжнародна конференція «80 років геологічному факультету: нові тренди розвитку геологічної освіти і науки». Пленарне засідання. 24 вересня 2025 р.

з 2010 до 2020 року (до 30 червня 2020 р.) [7]. Останні п'ять років діяльності факультету промайнули як одна мить, яка все-таки вмістила й певні кризові моменти, і подальші кроки в навчально-науковому зростанні.

Метою дослідження – висвітлити результати діяльності геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка за період 2020–2025 років.

Методологія дослідження. Під час написання роботи для дослідження діяльності геологічного факультету використано загальнофілософські, загальнонаукові та конкретно-наукові методи за методологічних принципів об'єктивності, комплексності й системності.

Історія досліджень. Геологічний факультет зустрів 1 січня 2020 р. з оптимізованою новою структурою і новим штатним розписом науково-педагогічного і лабораторного складу та кількісно – 200 осіб. Однак необхідно було працювати в нових умовах, і факультет із честю здолав складні виклики і зустрів своє 80-річчя, впевнено й ефективно долаючи наявні проблеми, хоч усе ще не всі питання організаційної та навчально-наукової роботи виконані. Утім, переконані, ми їх розв'яжемо найближчим часом.

Результати дослідження охоплюють навчальну, навчально-методичну, науково-дослідну, науково-організаційну та видавничу діяльність геологічного факультету.

Навчальний процес. Упродовж 2020–2025 рр. на геологічному факультеті тривала підготовка фахівців геологів і екологів освітнього рівня (далі – ОР) Бакалавр і Магістр за двома спеціальностями: 103 *Науки про Землю* та 101 *Екологія*. Навчання на ОР Бакалавр за спеціальністю 103 *Науки про Землю* здійснювалося за такими спеціалізаціями: *Геологія*, *Геологія*

нафти і газу; Комп'ютерні технології в науках про Землю, а з 2020 р. – за освітньою програмою (далі – ОП) *Геологія. Комп'ютерні технології в науках про Землю*. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 30 серпня 2024 р. № 1021, з 1 листопада 2024 р. набула чинності нова редакція переліку галузей знань і спеціальностей. Відповідно, змінилися коди галузей знань і спеціальностей. Тому нині спеціальність *Науки про Землю* має код Е4.

У 2025 р. спеціалізацію *Геологія. Комп'ютерні технології в науках про Землю* перейменовано на *Геологія. Цифрові технології в науках про Землю*.

Із 2024 р. розпочато набір студентів на ОР Бакалавр ОП *Інженерна геологія та гідрогеологія*. У 2025 р. на ОР Бакалавр у спеціальності Е4 *Науки про Землю*, відповідно до потреб геологічної галузі, відкрито ОП *Надрокористування*.

Отже, у Правилах прийому до ЛНУ імені Івана Франка оголошено прийом на навчання у 2025 р. для здобуття освітнього ступеня бакалавра на спеціальність Е4 *Науки про Землю* за трьома освітніми програмами: *Геологія. Цифрові технології в науках про Землю; Інженерна геологія та гідрогеологія; Надрокористування*.

На жаль, 2021 р. рішенням Приймальної комісії припинено набір студентів на спеціальність 101 *Екологія* ОП *Комп'ютерні технології в екології та управління якністю довкілля* на ОР Бакалавр, а 2024 р. – на ОП *Екологічний менеджмент і геотуризм* на ОР Магістр. То ж нині студентів-екологів в університеті готує тільки біологічний факультет.

На ОР Магістр на денній формі навчання здійснювали підготовку студентів за чотирма ОП: *Геологія; Геологія нафти і газу; Геохімія та мінералогія; Інженерна геологія та гідрогеологія*. Із 2022 р. факультет готує здобувачів вищої освіти на ОР Магістр на заочній формі навчання за ОП *Інженерна геологія та гідрогеологія*.

У 2023–2024 рр. на факультеті відбулася успішна акредитація освітньо-професійних програм. Тому 14 грудня 2023 р. НАЗЯВО видало сертифікати про акредитацію таких ОПП за спеціальністю 103 *Науки про Землю* для другого (магістерського) рівня: *Геологія; Геохімія та мінералогія; Геологія нафти і газу*; 26 грудня 2023 р. – *Інженерна геологія та гідрогеологія*; 16 травня 2024 р. – для першого (бакалаврського) рівня *Геологія. Комп'ютерні технології в науках про Землю*. Усі сертифікати діють до 01.07.2029 р.

До квітня 2023 р. деканом геологічного факультету був проф. М. Павлунь. Пізніше обов'язки декана виконував доц. С. Ціхонь. Сьомого червня 2024 р. відбулася Конференція трудового колективу геологічного факультету, на порядок денний якої винесено питання щодо погодження кандидатури доц. С. Ціхоня на посаду декана геологічного факультету. Конференція погодила цю кандидатуру, тож деканом геологічного факультету із 16 червня 2024 р. став Сергій Ціхонь.

Навчальний процес забезпечують науково-педагогічні працівники чотирьох кафедр: загальної та історичної геології і палеонтології (завідує Антоніна Іваніна), мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського (Ірина Побережська), геології корисних копалин і геофізики (до 3 квітня 2023 р. – Сергій Ціхонь, пізніше – Олег Гайовський), екологічної та інженерної геології і гідрогеології (Петро Волошин).

Проведення лабораторних занять для студентів факультету забезпечують шість лабораторій: геоінформаційних технологій та комп'ютерного моделювання (завідувачка Тетяна Дворжак); стратиграфічних досліджень, геологічної карти і космоаерометодів (Наталія Ісаченкова); рентгеноструктурного аналізу (Андрій Дворянський); інженерно-геологічних досліджень (до 2025 р. лабораторія еколого-геологічних досліджень) (Ганна Бучацька); мінералого-петрологічних досліджень (до 2025 р. лабораторія фізичних досліджень мінералів і гірських порід та літології) (Катерина Бурбан); цифрових технологій у нафтогазовій геології (Свген Дворжак).

Сучасну високотехнологічну лабораторію цифрових технологій у нафтогазовій геології відкрито на геологічному факультеті 24 травня 2024 р. за сприяння АТ «Укргазвидобування», ТОВ «Надра Юзівська» і ТОВ «Шлюмберже Сервісез Україна». Лабораторію

створено за проектом на тему «Створення наукової лабораторії з вивчення перспектив формування покладів водню в осадових басейнах України» в межах договору № 12121-02У від 13 грудня 2021 р. «Про надання цільової спонсорської допомоги», отримувач – геологічний факультет, Леонід Скакун та робоча група з викладачів і студентів: Юрій Віхоть, Соломія Кріль, Сергій Ціхонь, Олександр Шваєвський та ін. Спонсор – ТзОВ «Надра Юзівська», загальний обсяг проекту для ЛНУ імені Івана Франка – 2,3 млн грн. За отримані спонсорські кошти лабораторію оснащено відповідним комп'ютерним обладнанням: це п'ять робочих станцій (згідно з вимогами спеціалізованих програмних пакетів), чотири ноутбуки і два планшети для польових досліджень. Одна робоча станція містить два монітори по 32 дюйми і комп'ютерний системний блок з відповідною вентиляційною системою. Створення подібної лабораторії в освітньому просторі відкриває нові можливості для навчання студентів та в майбутньому поліпшить конкурентоздатність випускників на ринку фахівців-геологів, особливо нафтогазової промисловості. У лабораторії проводять заняття для студентів ОР Бакалавр і Магістр спеціальності Е4 *Науки про Землю* з курсів «Геоінформаційні технології», «Основи геофізики та комп'ютерна обробка геолого-геофізичних даних», «Геофізичні дослідження свердловин і геологічна інтерпретація» та ін. Студенти навчаються застосовувати сучасні програми, цифрові засоби збору й аналізу польової геологічної та геофізичної інформації тощо.

У межах меморандуму про співпрацю між ЛНУ імені Івана Франка та АТ «Укргазвидобування» в лабораторії геоінформаційних технологій та комп'ютерного моделювання організовано «Курси з підготовки молодих фахівців для АТ “Укргазвидобування”». Куратор проекту від геологічного факультету – І. Шайнога, від АТ «Укргазвидобування» – менеджер з геології ЛВ УкрНДІ газу В. Бодлак. Презентація курсів відбулася 13 листопада 2023 р.

Для зазначеної лабораторії ТОВ «Шлюмберже Сервісез Україна» надало пакет програм Petrel (SLB) і Techlog у межах надання безоплатних ліцензій для академічних спільнот. Експерти компанії провели навчальні тренінги для викладачів й аспірантів геологічного факультету: 5–7.02.2024 р. – з основ інтерпретації свердловинних даних у Techlog; 15–18.10 – з основ геофізичної інтерпретації в Petrel; 21–24.10 – з основ геологічної інтерпретації і створення цифрових 3D-моделей у Petrel.

На факультеті діють такі студентські організації: Наукове товариство студентів, аспірантів, докторантів і молодих учених (керівник А. Павленко), Студентська рада (керівник П. Кемпа), Первинна профспілкорова організація студентів (керівник С. Кожушина).

У квітні 2023 р. протягом тижня студенти В. Білай, В. Бондарчук, А. Звір, А. Павленко і Д. Тарасов навчалися в межах внутрішнього міжуніверситетського обміну в ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, а студентка А. Павленко проходила навчання по програмі Еразмус+ у Ризькому національному університеті (Латвія).

Студенти геологічного факультету беруть активну участь у Всеукраїнській студентській олімпіаді з навчальної дисципліни «Геологія». Зокрема, у 2022/2023 навч. році у першому етапі олімпіади перше місце посіла В. Бондарчук (група ГЛГ-31с), друге – І. Пильгук (ГЛГ-31с), третє – Т. Коваль (ГЛГ-41с). У 2023/2024 навч. році в першому етапі взяло участь 30 студентів факультету. Результати такі: перше місце – К. Алфер'єв (ГЛГ-21с), друге – О. Мороз (ГЛГ-21с), третє – П. Кемпа (ГЛГ-11с). У 2024/2025 навч. році в першому етапі взяло участь 11 студентів. Серед них перше місце посіла О. Мороз (ГЛГ-31с), друге – К. Алфер'єв (ГЛГ-31с), третє – М. Лучко (ГЛГ-11с), четверте – К. Черкай (ГЛГ-11с), п'яте – Є. Панасенко (ГЛГ-21с).

Теоретичні знання студенти закріплюють під час проходження в червні – липні навчальних польових практик на базі факультету в селищі Верхнє Синьовиднє Стрийського р-ну Львівської обл. Тут, у долині р. Опір, уздовж населених пунктів Верхнє Синьовиднє – Сколе – Гребенів розташований один із навчальних полігонів. Під час першої навчальної польової практики студенти закріплюють теоретичні знання з курсу «Загальна

геологія», ознайомлюються з особливостями геологічної будови південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи та Українських Карпат, на власні очі простежують наслідки екзогенних геологічних процесів, зокрема сучасних. Друга навчальна польова практика – геокартувальна – є важливим складником програми підготовки бакалаврів за спеціальністю *Науки про Землю* і є базовою у формуванні сучасних уявлень про структурні особливості головних тектонічних елементів Землі та завершальною щодо дисциплін «Структурна геологія» і «Геологічне картування». Третю навчальну польову практику студенти проходять за вибором, відповідно до спеціалізації кафедр.

Примітно, що факультет щораз частіше залучає до проведення практик не тільки викладачів, а й досвідчених геологів-практиків і науковців, які вивчають різні аспекти геології регіону. Зокрема, у червні 2025 р. своїм багаторічним досвідом роботи «в полі», геологічними лайфхаками, знаннями геології Карпат ділився зі студентами першого і третього курсів доктор геол. наук, завідувач відділу проблем геології Карпат Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України Олег Гнілко.

Загалом упродовж 2020–2025 рр. на факультеті підготовлено 208 бакалаврів (161 геолог, 47 екологів) і 158 магістрів: 133 геологи (ОПП *Геологія* – 35, *Геохімія та мінералогія* – 25, *Геологія нафти і газу* – 44, *Інженерна геологія і гідрогеологія* – 29, з них 10 заочників) і 25 екологів (ОПП *Екологічний менеджмент і геотуризм*).

Наукова діяльність. Наукова діяльність була спрямована на подальший розвиток сформованих наукових шкіл і певних наукових напрямів: мінералогічної школи академіка Євгена Лазаренка, термобарогеохімічної школи професора Миколи Єрмакова та школи геології і металогенії докембрію професора Євгена Лазька. Палеонтолого-стратиграфічна школа академіка Олега Вялова поки офіційно не визнана. Серед наукових напрямів потрібно назвати нафтогазовугільний, мікропалеонтологічний, геології золота, геодинамічний (плейт-тектонічний), геотуристичний, досліджень кам'яного матеріалу будівель і пам'ятників, еколого-інженерно-гідрогеологічний, петрологічних моделей еволюції глибинних порід тощо.

Дослідження за науковими темами – держбюджетними й виконуваними в межах робочого часу викладачів здійснювалися постійно та досить ефективно.

У виконанні держбюджетної теми «Нові речовини, матеріали, види матерії та підходи до енергозбереження та охорони довкілля» (2021–2025, науковий керівник – зав. каф. експериментальної фізики ЛНУ імені Івана Франка, професор А. Волошиновський) брав участь доцент геологічного факультету Ю. Віхоть. Унаслідок виконаних мінералого-геохімічних досліджень запропоновано модель динаміки гідротермальної системи, що продукує графіт; визначено необхідні умови для ініціювання та чинники, що впливають на ефективність процесу кристалізації графіту. Пропонована модель є основою для оцінки графітових рудопроявів і родовищ України задля збільшення їхньої інвестиційної привабливості. Також досліджено закономірності поширення водню в ґрунтовому повітрі залежно від гранулометричного складу й вологості ґрунтів осадових басейнів у західній частині України. Проведено польові газогеохімічні дослідження водню в ґрунті з використанням портативних газових аналізаторів, опрацьовано результати досліджень і виконано їх інтерпретацію в ГІС-проекті в програмі QGIS. За результатами газогеохімічних досліджень вивчено склад ґрунтового газу. На підставі ГІС-проекту 3D-моделі осадового басейну теоретично обґрунтовано модель водневої системи.

З держбюджету фінансувалися і роботи зі збереження та забезпечення належного функціонування наукових об'єктів, які становлять національне надбання (Палеонтологічний музей, постанова КМУ № 1243 від 4 листопада 2022 р.), за темою «Колекція фосилій рослинних і тваринних решток Палеонтологічного музею Львівського національного університету імені Івана Франка» (наук. кер. – зав. музею, канд. геол. наук Я. Тузьяк, березень 2023 р.–грудень 2024 р.). У межах теми виконано аналіз колекцій викопних організмів

(фосилій) Палеонтологічного музею з метою створення Паспорта наукового об'єкта національного надбання. Модернізовано, доповнено й оновлено експозиційно-виставковий матеріал, створено нові відділи. Проведено ревізію колекції зубів хоботних колекції їхно-фосилій, виявлено рідкісні й цінні викопні сліди життєдіяльності та визначено їх наукове й прикладне значення. Досліджено колекцію викопної деревини міоцену Розточчя щодо систематичної належності, процесів захоронення й мінеральних заміщень.

Протягом 2020–2025 рр. співробітники геологічного факультету провадили дослідження в межах робочого часу за 18 науково-дослідними темами.

Під керівництвом доц. У. Борняк виконано роботи на тему «Дослідження кам'яного матеріалу пам'ятників культурної спадщини Галичини» (2016–2020).

Роботи на тему «Петрологічні моделі еволюції глибинних порід та їх використання для прогнозно-пошукових цілей» (2016–2020) виконували під керівництвом доц. І. Побережської. Проаналізовано результати залучення мінералів-супутників діаманта як індикаторів у процесі прогнозування, розшуків та оцінювання різноманітних генетичних типів корінних діамантоносних порід. Вивчено особливості хімічного складу й характеру розподілу в різних геологічних формаціях піропу, пікроільменіту й хромшпінелідів. Виявлено причини залучення цих мінералів до прогнозування й розшуків у різних регіонах та визначено доцільність їх використання в практиці геологорозвідувальних робіт на діаманти в Україні.

Під час виконання теми «Термодинаміка та моделювання термомеханічних процесів в активних зонах взаємодії оболонок Землі» (наук. кер. – доц. В. Фурман, 2016–2020) створено нові моделі термомеханічних властивостей активних зон взаємодії кори й мантії Землі з урахуванням пружно-пластичних деформацій кори та плинів в'язкого мантійного середовища.

У 2021 р. завершені дослідження за темою «Геодинамічні комплекси пізньомезозойської конвергенції в Українських Карпатах» (наук. кер. – доц. Л. Генералова). Вивчено геодинамічні особливості речовинних комплексів розрізів структурних одиниць Внутрішніх Карпат, які охоплюють вузлову ділянку зчленування теренів Алькапа, Тися, Дакія.

У період 2020–2022 рр. науковці факультету працювали над виконанням трьох науково-дослідних тем. Зокрема, під керівництвом доц. П. Волошина провадили дослідження за двома темами.

У темі «Еколого-геологічний аналіз природно-господарських систем Карпатського регіону та проблеми їх оптимізації» розкрито проблематику щодо освоєння Західного нафтогазоносного регіону України. Досліджено особливості розвитку небезпечних екзогенних геологічних процесів (осипи, обвали, лінійна ерозія, площинне змивання) на прикладі Піщаної гори.

Друга тема – «Оцінка екологічних ризиків освоєння підземного простору історичної частини м. Львова». Проаналізовано еволюцію поглядів щодо експлуатації цивільних споруд давнього Львова й актуальні проблеми підземної урбанізації центральної частини міста. На цій території вивчено рельєф, геологічну будову й гідрогеологічні умови, виконано просторовий аналіз провідних ризикоформувальних складників геологічного середовища, на підставі якого оцінено його сприятливість для підземного будівництва. Висвітлено питання взаємодії природного й техногенного складників у разі освоєння підземного простору. Окреслено головні чинники ризику в процесі будівництва багаторівневих підземних паркінгів. Також проаналізовано просторово-часові зміни хімічного складу підземних вод у центральній частині Львова.

Проф. М. Павлунь керував темою «Дослідження структури і морфогенетичних типів зональності зруденіння магматогенно-(метаморфогенно)-гідротермального класу». Описано різноманітні характеристики зональності, розкрито особливості й порядок проявів зональності, її генетичні типи, геологічні умови і найважливіші чинники формування. Наведено систематику й оцінку значення головних чинників виникнення зональності

гідротермальних родовищ. Визначено такі чинники однастадійної (моноасцендентної фаціальної) зональності зруденіння: геологічні – вплив літологічного складу вмисних порід, зміна характеру тектонічних деформацій, післярудний метаморфізм руд, вплив фізико-механічних властивостей гірських порід, змішування з вадозними водами.

У 2020–2023 рр. під керівництвом доц. О. Гайовського колектив науковців факультету виконував дослідження за темою «Структурно-тектонічні умови поширення та мінеральний склад брекчієвих дайок Вишківського рудного поля (Закарпаття)». Визначено, що у Вишківському районі поширені крутоспадні брекчієві дайки, які перерізають гіпабісальні інтрузивні й туфогенно-осадові породи баденського, сарматського й панонського віку та закономірно просторово приурочені до лінійних розривних структур. Інтрузивні масиви належать до фації малих інтрузій та є багатофазовими, мають неправильну, округлу, іноді витягнуту форму, близькі до лаколітів. У районі є також ефузивні утворення у вигляді покривів дацитів і андезитів, які перекривають брекчієві дайки. Брекчієві дайки Закарпаття за морфоструктурними даними й характером брекчії подібні до так званих валунних дайок, що їх описав Т. Ловерінг, який обґрунтував їх експлозивне походження.

Протягом 2021–2023 рр. на факультеті провадили дослідження за трьома науковими темами.

Темою «Мінералого-петрографічні дослідження геотуристичних об'єктів та пам'яток культурної спадщини Західної України» керувала доц. У. Борняк. Узагальнено геотуристичні об'єкти Львова, доведено можливість використання об'єктів регіонального ландшафтного парку (далі – РЛП) «Знесіння» для проведення навчальної практики студентів.

За темою «Літолого-фаціальне та біостратиграфічне довивчення розрізів фанерозою заходу та півдня України для оптимізації пошуків вуглеводнів» (науковий керівник – доц. А. Іваніна) описано методологію застосування палінологічного методу для стратиграфічних досліджень. Розроблено критерії для палеогеографічних і палеоекологічних реконструкцій та достовірного розчленування й кореляції мезо-кайнозойських відкладів осадових товщ заходу України. Виконано літолого-фаціальні, структурні та біостратиграфічні дослідження перспективних на розшуки вуглеводнів осадових комплексів девону (головно середнього), карбону та мезо-кайнозою Західного нафтогазоносного регіону. У Карпатському регіоні визначено колекторські властивості й особливості літолого-фаціального складу крейдових відкладів Пенінської зони, описано форамініфери й амоніти з цієї зони, удосконалено стратиграфію та уточнено умови седиментації палеоцен-еоценових відкладів Сколівських Бескид, монографічно описано головоногі молюски юри Закарпаття та обґрунтовано вік вмисних порід.

Темою «Геоінформаційні технології в геофізичних дослідженнях та моделюванні полів Землі» керував доц. В. Фурман. Розроблено методику опрацювання та бази інформаційних даних з розрахунку геофізичних моделей. Досліджено й удосконалено проекти моделей енергетичних перетворень в активних зонах взаємодії кори й мантії Землі в геодинамічно активних зонах. Проаналізовано наявне сучасне програмне забезпечення для геофізичних досліджень і моделювання полів Землі, а також програмне забезпечення, яке є у вільному доступі для користувачів, на прикладі опрацювання архівних даних з каротажу свердловин.

Протягом 2022–2024 рр. на факультеті провадили дослідження за трьома науково-дослідними темами.

Темою «Еволюція глибоководних фацій карпатського флішового палеобасейну в контексті становлення покривів мезо-кайнозойської конвергенції» керувала доц. Л. Генералова. На підставі аналізу геологічної ситуації і складу підводно-осувних відкладів у склепінній частині Побузької антиклиналі в середній течії р. Опір обґрунтовано належність відкладів до верхньої частини розрізу олістостромової фації верхнього еоцену. Вивчено літологічні, седиментологічні, біостратиграфічні риси розрізів, їхні речовинні

особливості, а також палеогеографію, тектонічні й геодинамічні параметри структурних одиниць крейдово-неогенової Карпатської акреційної палеопризми. Виявлено латеральну й вертикальну мінливість літодинамічних типів і структурно-парагенетичних ансамблів одиниць палеопризми та визначено еволюційну стадійність її розвитку. Виконано зіставлення геодинамічних обстановок із загальними геологічними умовами розвитку акреційних призм складчастих систем.

Унаслідок виконання досліджень за темою «Літолого-петрологічні дослідження генезису осадових, магматичних та метаморфічних комплексів порід західної і центральної частин України та проблеми їхнього генезису» (наук. кер. – доц. О. Костюк) досліджено взаємні проростання мінералів пірит-карбонатної ката-метагенетичної (післядіагенетичної) асоціації у флішових відкладах палеоцену Скибової зони Українських Карпат. Визначено, що периферійні частини відколів зерен піриту містять вкраплення й мікропрожилки карбонатів. Натомість карбонатні прожилки пронизують піритові зерна з утворенням мережі тонких проростань. Зроблено висновок, що така мінеральна асоціація могла сформуватися внаслідок післядіагенетичних перетворень у породах. Доведено, що ділянки рудної мінералізації, приурочені до розломів підфлішового фундаменту північно-західного (карпатського) й північно-східного простягання, відігравали роль підвідних шляхів для глибинних флюїдів. Доказом епіосадового походження рудної мінералізації є, зокрема, форма геологічних тіл та виявлені елементи геохімічної зональності. На підставі вивчення літохімічного складу верхньокрейдово-еоценових фонових утворень Скибової одиниці визначено мінеральні типи пелітових геміпелагітів.

Завідувачка Палеонтологічного музею Я. Тузяк керувала дослідженнями за темою «Аудит даних еталонних таксонів викопних організмів Палеонтологічного музею Львівського національного університету імені Івана Франка з метою надання науковому об'єкту статусу такого, що становить національне надбання». Колекції Палеонтологічного музею містять цінні, рідкісні й унікальні знахідки, які виявлено на території України та світу. Геологічний вік знахідок охоплює діапазон від 2,4 млрд років до сучасних представників фауни і флори. Серед фосилій є представники, які перебувають під егідою ЮНЕСКО. Виконано ревізію колекцій викопних організмів музею з метою виявлення і створення бази даних еталонних таксонів, які мають міжнародне значення (голо-, лекто-, нео-, паратири), типових видів (видів з притаманним комплексом ознак, характерних (типових) для ідентифікації конкретної групи організмів), стратиграфічно важливих видів (видів-індексів, які використовують для визначення відносного геологічного віку осадових порід).

Нині співробітники геологічного факультету працюють над виконанням двох науково-дослідних тем, термін виконання яких січень 2024 р. – грудень 2026 р. Наразі отримано такі наукові результати.

За темою «Геолого-геофізичні, мінералого-генетичні й термобарогеохімічні особливості післямагматичного зруденіння Закарпаття (із використанням геоінформаційних технологій)» (наук. кер. – проф. М. Павлунь) досліджено глибинну будову й рудоносність Вишківсько-Угольської зони горстових піднятих (басейн річок Ріка й Тересва). Проаналізовано фондів й опубліковані матеріали геологічних знімів масштабу 1:50 000, геологічного довивчення масштабу 1:50 000, а також геофізичних досліджень (гравірозвідки масштабу 1:200 000–1:10 000, сейсмозрозвідки масштабу 1:50 000, ВЕЗ, магніторозвідки), а також новітні дані ГСЗ за профілем уздовж Закарпатського прогину. Проаналізовано доступне програмне комп'ютерне забезпечення для оцифрування й візуалізації геофізичних свердловинних даних за типами каротажу – різних кривих, які отримано методами ГДС доступними програмними модулями. Реалізовано спробу розв'язання прямої задачі стосовно поширення сейсмічних хвиль у вертикально неоднорідних середовищах і запропоновано версію матричного методу обчислення синтетичних сейсмограм на вільній поверхні горизонтально-шаруватого ізотропного середовища.

Темою «Особливості геологічної будови, механізм формування, літолого-фаціальне та стратиграфічне моделювання розрізів фанерозою заходу України для оптимізації пошуків корисних копалин» керує доц. А. Іваніна. Наразі виконано структурні й палеонтолого-стратиграфічні дослідження перспективних на розшуки вуглеводнів осадових мезо-кайнозойських комплексів Західного нафтогазоносного регіону України. Деталізовано біостратиграфічне розчленування мезо-кайнозойських осадових товщ, монографічно описано головоногих молюсків й обґрунтовано вік умісних порід за палеонтологічними рештками. Розроблено критерії для палеогеографічних і палеоекологічних реконструкцій та розчленування й кореляції осадових товщ мезозою й кайнозою. Характеризовано стратиграфію і виконано мікропалеонтологічне датування відкладів K_2 Пенінської і Мармароської зон, описано біозональний поділ за планктонними й бентосними форамініферами, виконано кореляцію відкладів за форамініферами. Визначено межі альбу й сеноману, сеноману і турону, нижньої та верхньої межі кампану, верхньої межі маастрихту.

У січні 2025 р. розпочато дослідження з теми «Мінералого-геохімічні й петрологічні дослідження порід різновікових комплексів центральних та західних регіонів України» (наук. кер. – доц. І. Побережська, 01.01.2025–31.12.2027).

Організація та проведення наукових конференцій, круглих столів, семінарів, урочистих засідань та ін. Протягом 2020–2025 рр. на геологічному факультеті проведено низку наукових форумів різного рівня.

Восьмого жовтня 2020 р. відбулася П'ята наукова конференція «*Геофізичні дослідження та моделювання полів Землі*», присвячена 100-річчю початку геофізичних досліджень на геологічному факультеті й 20-річчю кафедри фізики Землі.

За описуваний період проведено п'ять щорічних Всеукраїнських наукових конференцій, які спочатку мали назву «Проблеми геології фанерозою України», а з 2022 р. – «Проблеми геології України».

Проведено три міжнародні науково-практичні конференції «*Геотуризм: практика і досвід*» (у змішаному форматі). У IV конференції (22–24 жовтня 2020 р.) взяло участь 142 учасники, серед яких представники Латвії, Литви, Польщі й Хорватії. Обговорено 67 доповідей, що стосувалися сучасних можливостей розвитку геотуризму в Україні та світі. До участі у V конференції (20–22 жовтня 2022 р.) долучився 121 учасник, зокрема з Австралії, Іспанії, Польщі та Словенії.

В описуваний період на факультеті вже традиційно проводили *Наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка* (у змішаному форматі). Дванадцяті читання на тему «Мінералогія України: сучасний стан і перспективи» (14–15 грудня 2022 р.) було присвячено 110-річчю від дня народження Євгена Лазаренка.

Дев'ятнадцятого грудня 2022 р. на факультеті відбулося *урочисте засідання Вченої ради, присвячене 70-літньому ювілею декана геологічного факультету, доктора геол.-мін. наук, професора М. Павлуна*. У засіданні взяли участь ректор університету, член-кор. НАН України, проф. В. Мельник, проректори, викладачі й студенти факультету, представники провідних геологічних наукових установ України та ін.

Третього травня 2023 р. на геологічному факультеті відбувся круглий стіл «*100-річчя від дня народження професора Ярослава Кульчицького*» – відомого українського геолога, доктора геолого-мінералогічних наук, лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки, багаторічного (1968–1991) завідувача кафедри історичної геології і палеонтології.

Надзвичайної популярності набирає міжнародна науково-практична конференція «*Геологічні музеї і колекції: їх роль в науці, освіті та туризмі*», яку заплановано проводити щодва роки. Перша конференція (6–8 грудня 2023 р.) була присвячена 170-річчю заснування Мінералогічного музею у Львівському університеті. У заході взяло участь 125 науковців з України, Литви, Німеччини і Польщі. У змішаному режимі обговорено

74 усні та стендові доповіді, які стосувалися стану, проблем і можливостей використання й розвитку геологічних музеїв і колекцій в Україні та Європі. Другу конференцію проведено 10–13 квітня 2025 р. На ній зареєструвалося вже 155 учасників, зокрема з Вірменії, Іспанії, Литви, Польщі, Румунії, США і Чехії.

Щороку взимку наші співробітники беруть участь у пленарних засіданнях на факультеті в межах Звітної наукової конференції ЛНУ імені Івана Франка, а щомісяця протягом навчального року на кожній кафедрі організують наукові семінари, на яких виступають викладачі кафедри або запрошені науковці з інших установ України. У 2022 р. в межах Всеукраїнського фестивалю науки – 2022 на факультеті відбулися два наукові семінари (20 і 23 травня), на яких виступив доцент кафедри екологічної та інженерної геології і гідрогеології В. Дяків. Теми семінарів: «Природні докембрійські ядерні геологічні реактори: фізичні, геохімічні, гідрогеологічні передумови, металогенічні та геогеологічні наслідки їх функціонування»; «Найгостріші екологічні проблеми Львівської області, шляхи та динаміка їх вирішення». Доцентка кафедри загальної та історичної геології і палеонтології Л. Генералова виступила 20 квітня 2023 р. з доповіддю «Сучасна парадигма геотектонічного розвитку Землі» на загальноуніверситетському семінарі «Філософія науки». До семінарів мали змогу доєднатися в режимі онлайн студенти і працівники як факультету, так і університету.

Студентська наукова робота. На геологічному факультеті діє Наукове товариство студентів, аспірантів, докторантів і молодих учених (керівники протягом 2020–2025 рр. – Р. Мінкевич, Є. Мороз, А. Павленко). Також функціонувало й нині працює декілька наукових гуртків: палеонтологічний (керував Р. Лещух, згодом – І. Шайнога, нині – Я. Тузьяк), мінералогічний (Л. Скакун, у 2023 – І. Побережська, нині – Л. Скакун, Н. Білик). Протягом 2020–2023 рр. працювали ще такі гуртки, як палеоботанічний (А. Іваніна), петрографічний (У. Борняк), з геології нафти і газу (Ю. Крупський), зі структурної / загальної геології (Л. Хом'як). У 2024 р. почали функціонувати геотуристичний гурток (А. Іваніна, М. Богданова) і петрологічний (І. Побережська).

Магістри 2-го курсу А. Гриник і А. Гулянич (2024) були залучені до виконання науково-дослідної теми, яку виконують викладачі кафедри геології корисних копалин і геофізики в межах робочого часу, – «Геолого-геофізичні, мінералого-генетичні й термобарогеохімічні особливості післямагматичного зруденіння Закарпаття (із використанням геоінформаційних технологій)».

Студенти 3-го курсу М. Бабій, О. Білобородов та Я. Дулько (2024) були залучені до польових досліджень з формування системи збору й аналізу первинної (польової) геологічної і геохімічної інформації, розробки методики створення гідродинамічних та геохімічних комп'ютерних моделей водневої системи осадових басейнів.

Також у 2024 р. студенти працювали за фахом (з елементами дуальної освіти) у провідних галузевих науково-дослідних, виробничих установах і компаніях України, зокрема: студенти 4-го курсу М. Бабій та О. Білобородов – у ДП «Науканафтогаз» (Львів), Д. Гайовський – у ТОВ «Нафтогазсила», Сейсмічна служба Сейсмічної партії № 2 Департаменту сейсмозвідувальних робіт (Полтава), А. Павленко – у ТзОВ «Геологічна інвестиційна група» (Львів); магістри 1-го курсу М. Бабій, В. Комарницька і Д. Тарасов – у ДП «Західургелогія» НАК «Надра України» (Львів).

У серпні 2024 р. студентка 4-го курсу А. Павленко отримала запрошення й перебувала у науковому відрядженні в Інституті геологічних наук Польської академії наук (Варшава), де виконувала електронно-мікроскопічні дослідження мінералів.

Студенти брали активну участь у студентських форумах, що їх організовував геологічний факультет. Зокрема, 27–28 жовтня 2022 р. проведено Першу Всеукраїнську науково-практичну конференцію студентів та аспірантів «Актуальні проблеми геології України». Було виголошено 12 доповідей, від факультету брало участь сім студентів.

А 23–24 листопада 2023 р. відбулася Друга Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених «Сучасні виклики геологічної освіти і науки». Представлено 29 усних і стендових доповідей, від факультету до заходу долучилося 12 аспірантів і 10 студентів. Третя конференція на аналогічну тему відбулася 7–8 листопада 2024 р. в Будинку вчених. На ній заслухано 12 доповідей і представлено п'ять стендових доповідей молодих учених. З результатами конференцій можна ознайомитися на факультетському сайті.

За період 2020–2023 рр. студенти геологічного факультету опублікували одноосібно чи у співавторстві 21 наукову працю. Серед них одна у виданні, що входить до наукометричних баз даних, одна у фаховому виданні, одна в іншому виданні України і 18 – це тези й матеріали у збірниках наукових праць конференцій. У 2024 р. за участю студентів вийшло вже 33 публікації, з них три статті у фахових виданнях України (категорія Б), п'ять статей в інших виданнях України та 25 матеріалів і тез доповідей на конференціях (п'ять на міжнародних і 20 – на вітчизняних). Активними учасниками науково-дослідних робіт були студенти В. Білай, Д. Бірук, В. Бондарчук, А. Павленко, С. Сухоставець, Д. Тарасов та ін.

Не можна не згадати про участь студентів різних курсів у Всеукраїнському конкурсі-захисті студентських наукових робіт (далі – Конкурс). Цей Конкурс проводять з 2017 р. з метою виявлення й підтримки обдарованої студентської молоді, створення умов для її творчого зростання, підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації. Подібні студентські наукові змагання відбуваються в різних країнах світу. Студенти геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка неодноразово посідали в цьому конкурсі призові місця. Зокрема, у 2021/2022 навч. році на Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт переміг магістр першого року навчання І. Слівінський.

У 2024 р. Конкурс проводили у два тури. У лютому в першому турі Конкурсу зі спеціальності 103 *Науки про Землю (Геологія)* взяло участь дев'ять студентів факультету. Переможців конкурсу та їхніх наукових керівників нагороджено відповідними дипломами: дипломи I ступеня отримали студенти О. Білобородов і М. Бабій за роботу «Водень у газі з ґрунтового шару – індикатор потоків природного водню в надрах Передкарпаття» (наук. кер. Л. Скакун), диплом II ступеня – В. Білай за роботу «Мінералого-петрографічна характеристика порід з північно-західної частини Атлантичного океану (40°57'36" N 54°01'26" W, 4865 м)» (Н. Білик), диплом III ступеня – В. Бондарчук за роботу «Ультраосновні породи Західно-Лашівської ділянки силікатних кобальт-нікелевих руд» (І. Побережська), дипломи IV ступеня – А. Павленко за роботу «Карбонатні манганові руди Нікопольського манганорудного басейну та проблеми переробки шлаків» (І. Побережська) та Н. Кіндрат і К. Алфер'єв за роботу «Загадка палеодіктіона» (М. Богданова). За напрямом «Цивільна безпека в умовах воєнного стану» в конкурсі взяло участь п'ять студентів; диплом I ступеня отримав Д. Ісевич (наук. кер. В. Дяків). Підсумкова конференція II туру Всеукраїнського конкурсу-захисту студентських наукових робіт зі спеціальності 103 *Науки про Землю (Геологія)* відбулася на факультеті 4 квітня 2024 р. в онлайн-форматі. Заслухано 11 наукових робіт представників шести ЗВО України. За результатами конкурсу дипломом першого ступеня нагороджено студентку 4-го курсу В. Бондарчук за наукову роботу «Ультраосновні породи Західно-Лашівської ділянки силікатних кобальт-нікелевих руд» (наук. кер. І. Побережська). Студентам, які пройшли всі етапи конкурсу-захисту у 2023/2024 навч. році (М. Бабій, О. Білобородов, А. Павленко), видано відповідні сертифікати.

Студенти геологічного факультету брали участь у Конкурсі й у 2025 р. Другий тур проведено на базі ЛНУ імені Івана Франка. За результатами Конкурсу студентів нашого факультету нагороджено в окремих номінаціях. Зокрема, у номінації «За ґрунтовне теоретичне дослідження» відзначено В. Білай за наукову роботу «Мінеральний склад та умови формування гіпсів Городищенського родовища (Івано-Франківська область)» (наук. кер. І. Побережська); «За актуальність обраної теми» – Д. Тарасова за роботу «Особливості цеолітової мінералізації в базальтах Полицького родовища» (Н. Білик); «За довивчення

відомих геологічних об'єктів» – К. Алфер'єва за дослідження на тему «Гранітоїди житомирського комплексу Волинського мегаблока Українського щита» (І. Побережська).

Відповідно до Угоди про співпрацю між ЛНУ імені Івана Франка і Центром дитячої та юнацької творчості Залізничного району м. Львова, студенти В. Білай та К. Алфер'єв у травні 2025 р. взяли участь у Звітній науковій конференції з питань екології.

Періодичні, наукові та навчальні видання. Результати схарактеризованих вище досліджень висвітлені в численних українських і зарубіжних періодичних виданнях, низці монографій, збірниках матеріалів наукових форумів різного рангу тощо.

Протягом 2020–2025 рр. на факультеті продовжували виходити такі фахові *періодичні наукові видання*, як «Вісник Львівського університету. Серія геологічна», «Мінералогічний збірник» і «Палеонтологічний збірник». У 2023–2024 рр. вони увійшли до переліку наукових фахових видань України (категорія Б): «Палеонтологічний збірник» – згідно з додатком 3 Наказу МОН України № 491 від 27.04.2023; «Вісник Львів. ун-ту. Серія геологічна» – згідно з додатком 4 Наказу МОН України № 1309 від 25.10.2023; «Мінералогічний збірник» – згідно з додатком 4 Наказу МОН України № 220 від 21.02.2024.

За період 2020–2024 рр. співробітники факультету були авторами чи співавторами понад десяти *монографій*, зокрема: *Білоніжка П.* Ноосфера та проблеми її розвитку (Львів, 2020); *Крупський Ю. З.* Геологія і нафтогазоносність Західного регіону України (Львів, 2020); *Лещук Р. Й., Стражинський О. М.* Мезозойські відклади південно-західної України і прилеглої шельфу (Львів, 2020); *Wietrzenie anhydrytów i gipsów / Red. M. Babel, D. Olszewska-Nejbert, K. Nejbert (Warszawa, 2020); Богущкий А., Волошин П., Томенюк О.* Лесовий покрив Волинської височини: стратиграфія, опорні розрізи, інженерно-геологічна характеристика (Львів, 2021); *Матковський О., Наумко І., Павлунь М., Сливко Є.* Термобарогеохімія в Україні (Львів, 2021); *Climate change & sustainable development: new challenges of the century: monograph / Ed. by O. Mitryasova, P. Koszelnik (Rzeszow, 2021); Матковський О., Сливко Є.* Вшанування пам'яті академіка Євгена Лазаренка (Львів, 2022); *Резерв нафтогазовидобутку Західного регіону України / відп. ред. М. Павлюк (Львів, 2022); Богущкий А., Волошин П., Томенюк О.* Лесовий покрив Подільської височини: стратиграфія, опорні розрізи, інженерно-геологічна характеристика (Львів, 2023); *Морфодинамічні процеси у Західному регіоні України: розвиток та екологічні наслідки / за ред. Р. М. Гнатюка, Л. Ф. Дубіс (Львів, 2024) та ін.* Побачили світ один *підручник* (*Павлишин В. І., Матковський О. І., Довгий С. О.* Генезис мінералів. 3-тє видання. Київ, 2021) та 11 *навчальних і навчально-методичних посібників*, зокрема, *Узіюк В. І., Узіюк Є. В.* Мікроструктурний анатомо-морфологічний визначник вуглетворних рослин (ранній карбон Львівсько-Волинського басейну) (2020); *Волошин П., Бучацька Г., Кремінь Н.* Інженерна геологія : навч.-метод. посібник до виконання лаб. робіт для студентів спеціальностей 101 – «Екологія» і 103 – «Науки про Землю» (2021); *Волошин П. К., Книш І. Б., Ніколенко П. М.* Навч.-метод. посібник для виконання практ. робіт з дисципліни «Урбоекологія» студентами спеціальності 101 – Екологія (2021); *Книш І., Кремінь Н.* Основи картографії : навч.-метод. посібник (для студентів спеціальності 101 – «Екологія» та інших природничих спеціальностей) (2021); *Костюк О. В., Побережська І. В., Борняк У. І.* Літологічні методи досліджень. Ч. 2 (карбонатні породи) : навч.-метод. посібник до лаб. занять і самост. роботи для студентів спеціальності 103 Науки про Землю та інших природничих спеціальностей (2021); *Павлунь М., Гайовський О.* Гіпогенна зональність постмагматичного (пневматолітово-гідротермального) зруденіння (2021); *Білик Н. Т., Скакун Л. З., Бекеша С. М., Побережська І. В.* Діагностика мінералів за основними макроскопічними ознаками : навч.-метод. посібник до лаб. занять і самост. роботи для студентів спеціальності 103 – Науки про Землю та інших природничих спеціальностей (2022); *Крупський Ю. З.* Пошук і розвідка вуглеводнів: приповерхневі дослідження та їхня інтерпретація : навч. посібник для студентів-магістрів

спеціальностей 101 «Екологія» і 103 «Науки про Землю» (2022); *Волошин П., Кремінь Н.* Гідрогеологічне та інженерно-геологічне моделювання і прогнозування : конспект лекцій (для студентів спеціальності 103 – «Науки про Землю») (2023); *Костюк О. В., Побережська І. В.* Літологічні методи досліджень. Ч. 3 (глинисті породи) : навч.-метод. посібник до лаб. занять і самост. роботи для студентів спеціальності 103 – Науки про Землю та інших природничих спеціальностей (2023); *Узіюк В. І., Шайнога І. В.* Мікρο-структурний анатомо-морфологічний визначник вуглетворних рослин карбону і прогнозу якості вугілля Донбасу (мікропалеоботаніка вугілля карбону) (2024).

Також вийшло 10 методичних видань, одне довідково-бібліографічне видання (*Павлунь М., Матковський О., Наумко І.* Петро Білоніжка – учений, педагог. Львів, 2020) та одне – довідково-інформаційне (*Павлунь М., Матковський О., Сливко Є., Білоніжка П., Іваніна А.* Геологічному факультету Львівського національного університету імені Івана Франка 75 років. Львів, 2020).

За описуваний період кількість статей у виданнях з імпакт-фактором становить 13, у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Web of Science і Scopus, – 26, в інших зарубіжних виданнях – 15. У фахових виданнях України опубліковано 122 статті, в інших вітчизняних виданнях – 166. Щодо матеріалів і тез конференцій різного рівня, то у збірниках міжнародних конференцій надруковано 144 публікації, а вітчизняних – 135. Опубліковано 15 збірників тез і матеріалів конференцій, організованих різними підрозділами геологічного факультету.

Всеукраїнські та міжнародні зв'язки. Протягом 2020–2025 рр. геологічний факультет активно співпрацював із закладами вищої освіти, академічними інститутами, галузевими науковими й науково-виробничими установами, фірмами і компаніями України та інших країн. Ми вже тривалий час підтримуємо тісні наукові зв'язки з ІГГК НАН України, ІГН НАН України, ІГМР імені М. П. Семененка НАН України, Карпатським відділенням Інституту геофізики імені С. І. Субботіна НАН України, факультетами геологічного профілю інших ЗВУ України, НАК «Нафтогаз України», Львівською ГРЕ, ВАТ «Гірхімпром» та ін. Разом із науковцями та працівниками зазначених установ співробітники факультету виконують наукові дослідження та пишуть спільні наукові роботи.

У 2020–2021 рр. співробітники кафедри історичної геології та палеонтології співпрацювали з колегами Національного природничого та етнографічного музею Молдови (вивчення дрібномірної малакофауни з байоських відкладів Переддобрудзьського прогину, Р. Лещух) і Гірничо-металургійною академією імені Станіслава Сташиця у Кракові (вивчення біогенних включень у бурштині, А. Іваніна; вивчення залишків молюсків Пенінської зони, Г. Гоцанюк). Тривала наукова співпраця з Інститутом геології ім. М. М. Адишева НАН Киргизької Республіки в м. Бішкек (Л. Генералова та ін.).

У цей період В. Дяків працював у складі науково-експертної групи з визначення відповідності земельної ділянки нормативним вимогам до облаштування полігона та будівництва об'єктів поводження з твердими побутовими відходами; він був членом конкурсної комісії з вибору інвесторів для будівництва комплексів утилізації твердих побутових відходів у Львівській обл., екологічної ради при Управлінні екології та природних ресурсів Львівської міської ради, робочої групи при Львівській ОДА з розслідування обвалу, який утворився внаслідок діяльності ПАТ «Стебницьке ДГХП «Полімінерал»», та напрацювання заходів із забезпечення екологічної рівноваги на території Стебницького калійного родовища, робочої групи при Івано-Франківській ОДА з проблем Калуського гірничо-промислового району, проведення обстеження полігона токсичних відходів та Домбровського кар'єру. Упродовж 2020–2024 рр. В. Дяків працював за сумісництвом на посаді керівника Наукового центру ТзОВ «Інститут «Гірхімпром»», консультував ПАТ «Стебницьке ГХП «Полімінерал»», Львівську, Дрогобицьку, Трускавецьку, Бориславську міські ради з різних екологічних та інженерно-геологічних питань.

У період з 01.09.2020 р. до 01.04.2021 р. співробітники кафедри геології корисних копалин і геофізики у співпраці з колегами з Національного університету «Львівська політехніка» виконували геологічне завдання інвестиційного гранту Європейського геофізичного союзу «Створення віртуальних геологічних відслонень».

У грудні 2021 р. укладено угоду з ТзОВ «Надра Юзівська» «Про надання цільової спонсорської допомоги» в термін від 1.10.2022 р. до 30.11.2023 р. У межах угоди заплановано виконання таких робіт: 1) формування системи збору й аналізу первинної (польової) геологічної і геохімічної інформації; 2) розробка методики створення гідродинамічних та геохімічних комп'ютерних моделей водневої системи осадових басейнів.

Для досягнення цієї мети укладено низку угод і меморандумів між ЛНУ імені Івана Франка та Гірничим університетом Леобена в Австрії (Montanuniversität Leoben). У 2023 р. у межах співпраці з австрійськими вченими і АТ «Укргазвидобування» запланували створення на геологічному факультеті лабораторії з вивчення перспектив формування покладів водню в осадових басейнах України. Проведено польові роботи, у яких брали участь як працівники факультету (Н. Білик, К. Бурбан, Ю. Віхоть, Є. Дворжак, О. Костюк, С. Кріль, Л. Скакун, Н. Словотенко, С. Ціхонь, О. Шваєвський), так і студенти (М. Бабій, О. Білобородов, В. Бондарчук, Я. Дулько, М. Ірчак, А. Курбатова, В. Лущик, І. Слівінський, І. Терешкевич). І 24 травня 2024 р. на факультеті було відкрито сучасну високотехнологічну лабораторію цифрових технологій у нафтогазовій геології, яка надає нові можливості для навчання наших студентів і поліпшить конкурентоздатність випускників на ринку фахівців, особливо нафтогазової промисловості. Завдяки новітньому програмному забезпеченню здобувачі зможуть застосовувати сучасні методики моделювання та прогнозування родовищ нафти і газу.

У межах зазначеної співпраці геологічний факультет отримав сучасне обладнання для виконання польових й аналітичних досліджень – для відбирання й аналізу ґрунтового газу: пробовідбірник Драгера – Штітца, чутливі газоаналізатори Geotech BIOGAS 5000 та GM 5 Schütz GmbH Messtechnik. Таке обладнання дає змогу експресно за польових умов вимірювати вміст водню в ґрунтовому газі, вивчати профіль ґрунту на глибину до 2 м та відбирати проби ґрунту для визначення вологості й гранулометричного складу. До польових робіт з формування системи збору й аналізу первинної (польової) геологічної і геохімічної інформації, розробки методики створення гідродинамічних і геохімічних комп'ютерних моделей водневої системи осадових басейнів залучені Л. Скакун (керівник проекту), К. Бурбан, Ю. Віхоть, С. Кріль, Н. Словотенко, О. Шваєвський, студенти М. Бабій, О. Білобородов, Я. Дулько.

У 2022 р. згідно з угодою про співпрацю з ДП «Західукргеологія» О. Гайовський та О. Шваєвський розпочали спільну роботу зі створення «Геолого-інвестиційного паспорта ОТГ». Наразі видано три такі паспорти: для Золочівської, Новороздільської та Яворівської ОТГ. Продовженням співпраці є спільна участь у грантовій програмі проекту USAID¹ «Підвищення ефективності роботи й підзвітності органів місцевого самоврядування» («ГОВЕРЛА»). Об'єднаними зусиллями подано спільну заявку геологічного факультету та ДП «Західукргеологія» на участь у проекті через ТзОВ «Науковий парк Львівського університету "Інновації та підприємництво"». Тема проекту – «Розвиток мінерально-сировинної бази ОТГ як підґрунтя зростання місцевих економік та зміцнення потенціалу громад», його мета – розробка дієвого механізму оцінки та раціонального й ефективного використання потенціалу надр для десяти ОТГ партнерів Програми USAID «ГОВЕРЛА» у Львівській обл. Заплановано досягнення таких цілей, що відповідають проекту: 1) підвищення рівня участі громади та громадян в ухваленні рішень, які пов'язані з використанням мінеральних ресурсів; 2) захист інтересів громад у питаннях раціонального та екологічно

¹ United States Agency for International Development, USAID – Агентство США з міжнародного розвитку.

безпечного використання сировинної бази громад; 3) удосконалення підходів з управління активами корисних копалин, розробка інструментарію для залучення мінеральних ресурсів в економіку громад. Згодом подано ще один спільний проєкт у межах зазначеної програми на тему «Інтеграція мінерально-сировинної бази в економіку місцевих громад (на прикладі ОТГ Закарпатської області)».

У 2023 р. на геологічному факультеті розпочала роботу Рада роботодавців (далі – Рада). На першій зустрічі було обрано голову, заступника і секретаря Ради. Головою Ради стала депутатка Львівської обласної ради, засновниця та СЕО «Геологічної інвестиційної групи», співзасновниця ГО «Наука. Розвідка. Видобування», адвокатка з понад 10-річним досвідом у сфері корпоративного права та природокористування Ірина Супрун; заступник голови Ради – начальник відділу альтернативних джерел енергії ЛВ УкрНДІ-газу АТ «Укргазвидобування», канд. геол.-мін. наук, доцент (0,5 ст.) кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського Леонід Скакун; секретар Ради – асистент кафедри геології корисних копалин і геофізики, голова профбюро факультету Олександр Шваєвський; члени Ради – начальник відділу геології та виробництва ДП «Західукргеологія» Дмитро Панов та директор Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України, канд. геол.-мін. наук Андрій Побережський.

Зазначимо, що співробітники факультету, особливо кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського, тісно співпрацюють з ТЗОВ «Геологічна інвестиційна група». Аспіранти і студенти мають змогу проходити навчальні й виробничі практики на тих об'єктах, де виконує роботи ця компанія. Її засновниця І. Супрун прочитала 15.04.2024 р. гостьову лекцію на тему «Геологія – перспективи фаху в Україні» для студентів і співробітників факультету.

Важлива для наших студентів і майбутнього факультету подія (у сенсі перспектив для фахової освіти і працевлаштування) відбулася 21.07.2023 р.: директор ДП «Західукргеологія» Михайло Лишак підписав договір про співпрацю з ЛНУ імені Івана Франка. У заході взяли участь Сергій Ціхонь, Микола Павлунь, Олег Гайовський та начальник відділу геології та виробництва ДП «Західукргеологія» Дмитро Панов.

Наш університет 02.08.2023 р. підписав ліцензійну угоду з компанією Micromine Pty Ltd на використання програмного забезпечення Micromine. За цією угодою компанія надала геологічному факультету ліцензію (15 місць) на використання програмного забезпечення Micromine Origin&Beyond з усіма додатковими програмними модулями в освітніх цілях. Засновниця і директорка ТЗОВ «Софтлайн», доктор геол. наук Н. Баряцька, за сприяння якої підписано угоду, 21.09.2023 р. прочитала в онлайн-режимі гостьову лекцію на тему «Можливості гірничо-геологічного програмного забезпечення Micromine для геологічного освіти» і презентувала програмне забезпечення Micromine з усіма його модулями, а 07.10.2024 р. виступила з лекцією на тему «Цифрові технології в геології та гірництві». Наочно продемонстровано можливості ПЗ Micromine Origin&Beyond для потреб розшуків, розвідки рудних родовищ, моделювання рудних тіл, оцінки запасів, проєктування розробки родовищ, а також для використання в навчальному процесі й науковій роботі.

У 2024 р. розпочато співпрацю з Національним університетом «Львівська політехніка» зі сканування Палеонтологічного музею. Співробітники кафедри інженерної геодезії «Львівської політехніки» виконали пілотні дослідження зі сканування музейних експонатів з використанням сучасних приладів (наземний лазерний сканер виробництва Trimble, мобільний лазерний сканер-смартфон iPhone). Результатом роботи стали 3D-моделі одного залу музею та низки музейних експонатів.

Також у 2024 р. у межах меморандуму про співпрацю між ЛНУ імені Івана Франка, АТ «Укргазвидобування» і ТОВ «Шлюмберже Сервісес Україна» групи Schlumberger геологічний факультет отримав безоплатну тижневу ліцензію на програмне забезпечення Techlog з основ інтерпретації свердловинних даних. Так, у лабораторії геоінформаційних

технологій та комп'ютерного моделювання геологічного факультету в лютому 2024 р. організовано онлайн-тренінг з основ інтерпретації свердловинних даних у ПЗ Techlog. Результатом подальшої співпраці в межах зазначеного меморандуму стало отримання безоплатної ліцензії на програмне забезпечення Petrel. На факультеті започатковано онлайн-курси з метою отримання нової інформації, теоретичних знань з практичною перевіркою запропонованих умінь і навичок роботи з ПЗ Petrel. Організовано онлайн-тренінг з основ геологічної інтерпретації та створення цифрових моделей у ПЗ Petrel. В онлайн-тренінгу взяли участь викладачі факультету М. Богданова, Ю. Віхоть, О. Гайовський, Ю. Дацюк, В. Дяків, С. Кріль, Н. Радковець, Л. Скакун, Н. Словотенко, Л. Хом'як, М. Хом'як, С. Ціхонь, І. Шайнога, О. Шваєвський, а також студенти М. Бабій і Д. Тарасов.

Восьмого жовтня 2024 р. геологічний факультет підписав угоду про співпрацю з факультетом природничих наук і технологій НТУ «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро). Ця співпраця вже наповнюється практичним змістом, особливо після візиту до Львова завідувача кафедри загальної та структурної геології С. Шевченка та проф. Ю. Хоменка в червні 2025 р. Заплановано, що влітку 2025 р. студенти з Дніпра побувають на геологічній практиці в Карпатах.

Десятого жовтня 2024 р. підписано Угоду про науково-технічне співробітництво ЛНУ імені Івана Франка та Державної комісії України по запасах корисних копалин (далі – ДКЗ), що демонструє активну працю університету у сфері створення нових можливостей для розвитку здобувачів освіти і викладачів, а також формування якісної та практично орієнтованої освіти. Підписали відповідний документ перший проректор А. Гукалюк, голова ДКЗ С. Паюк та декан геологічного факультету С. Ціхонь.

За ініціативою кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського співробітники нашого факультету організували збір навчальної та наукової фахової літератури для підтримки колег з факультету геології, географії, рекреації і туризму Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, адже університетську бібліотеку було дуже пошкоджено під час ворожого обстрілу. Тож наприкінці 2024 р. зібрану літературу відправлено до Харкова.

Другого січня 2025 р. укладено угоду про співпрацю між ЛНУ імені Івана Франка і Центром дитячої та юнацької творчості Залізничного району м. Львова. Відповідно до цієї угоди, студенти нашого факультету взяли участь у звітній конференції з наукових проблем природничих наук, присвяченій пам'яті професора В. Здуна, яка відбулася в приміщенні бібліотеки-філії № 15 ЦБС для дорослих.

Делегація геологічного факультету в особі С. Ціхоня, Я. Тузак і Л. Хом'яка 26 червня 2025 р. взяла участь у підписанні Меморандуму про співпрацю між ЛНУ імені Івана Франка та гірничо-видобувним комунальним підприємством «Волиньприродресурс» (директор А. Капустюк). Меморандум передбачає системну співпрацю у сфері геології, палеонтології, екологічної освіти та наукових досліджень. Серед головних напрямів партнерства – організація спільних польових досліджень, стажувань для студентів, обмін візитами, проведення спільних освітніх заходів тощо. На підприємстві для львів'ян провели екскурсію по цехах з первинної обробки й сортування бурштину. Під час поїздки на Волинь також підписано Угоду про співпрацю з Княгининівським ліцеєм Волинської обласної ради (директор О. Омелько).

Наш факультет давно співпрацює з геологами КНУ імені Тараса Шевченка. У межах такої співпраці 3 липня 2025 р. на базі навчальних польових практик геологічного факультету в смт Верхнє Синьовидне відбулася зустріч львів'ян (Сергій Ціхонь, Юрій Дацюк, Олександр Шваєвський) з представниками ННУ «Інститут геології» Київського університету – завідувачем кафедри загальної та історичної геології Дмитром Кравченком та іншими викладачами. Обговорили минулу співпрацю і плани на майбутнє, зокрема,

можливість використання бази у Верхньому Синьовидному для навчальних польових практик київських студентів, а київських баз – для львів'ян.

Висновки. У своєму розвитку й поступу геологічний факультет консолідує довготривалі традиції потужних наукових шкіл із сучасними інноваційними трендами й підходами навчання й підготовки висококваліфікованих фахівців у царині геології, відповідно до потреб ринку праці в умовах євроінтеграції. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка – один із лідерів у сфері підготовки фахівців геологів. Ця підготовка відповідає високим стандартам якості геологічної вищої освіти навчання. Перелік освітніх програм, які опановують студенти факультету, за змістом покривають усі наявні проблеми геологічного виробництва і науки. Факультет гарантує якісне навчання, реалізовує наукові дослідження, що стають основою вдосконалення освітніх програм, забезпечує програму безперервного професійного вдосконалення викладачів на засадах інтеграції освіти, наукових досліджень та інновацій, розвиває партнерство з провідними світовими навчальними закладами й науковими установами, створює умови для мобільності студентів і викладачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоніжка П., Матковський О., Павлунь М., Сливко Є. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка (1945-2005): Довідк.-інформ. вид. Львів : ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. 375 с.
2. Білоніжка П., Матковський О., Павлунь М., Сливко Є. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка (1945-2010): Довідк.-інформ. вид.; 2-е вид., перероб. і допов. Львів : ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2010. 520 с.
3. Колтун Л. І. До історії геологічного факультету у Львівському університеті. *Вісник львівського ун-ту. Серія геол.* 1962. Вип. 1. С. 3–12.
4. Матковський О. І., Лещух Р. Й. Павлунь М. М. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка: минуле і сьогодення (до 350-річчя заснування Львівського університету). *Геолог України*. 2010. № 4. С.25–29.
5. Матковський О. І. Геологічному факультету 50 років. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геологічна*. 1998. Вип. 13. С. 3–12.
6. Матковський О. І., Павлунь М. М. Розвиток геології у Львівському національному університеті імені Івана Франка (до 60-річчя геологічного факультету). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геологічна*. 2005. Вип. 19. С. 4–21
7. Павлунь М., Матковський О., Сливко Є., Білоніжка П., Іваніна А. Геологічному факультету Львівського національного університету імені Івана Франка 75 років. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 208с.
8. Проблемні питання геологічної науки і освіти на порозі ХХІ століття: Конф., присвяченої 60-річчю геолог. ф-ту Львів. ун-ту імені Івана Франка: тези доповідей наук. [Відп. ред. М. Павлунь]. Львів : ЛНУ. 2005. 139 с.
9. Стан і перспективи сучасної геологічної освіти та науки: наук. конф., присвячена 65-річчю геол. ф-ту Львів. нац. ун-ту імені Івана Франка: тези доп. [відп. ред. М. Павлунь]. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2010. 270 с.
10. Фундаментальне значення і прикладна роль геологічної освіти і науки: міжнар. наук. конф., присвячена 70-річчю геол. ф-ту Львів. нац. ун-ту імені Івана Франка: матеріали. [відп. ред. М. Павлунь]. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2010. 250 с.
11. Encyclopedia. Львівський національний університету імені Івана Франка. [відп. ред. О. Вакарчук (голова) та ін.]. довідк. вид.: у 2-х т. Т. 1: А–К. 2011. 715с.; Т. 2: Л–Я. 2014. 762 с. Львів : ЛНУ імені Івана Франка.

REFERENCES

1. Bilonizhka, P., Matkovskiyi, O., Pavlun, M., Slyvko, Ye. (2008). Heolohichniy fakultet Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka (1945–2005): dovidk.-inform. vyd. [Faculty of Geology of Ivan Franko Lviv National University (1945–2005): reference-inform. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 375 s. [in Ukrainian].
2. Bilonizhka, P., Matkovskiyi, O., Pavlun, M., & Slyvko Ye. (2010). Heolohichniy fakultet Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka (1945–2010): dovidk.-inform. vyd. [Faculty of Geology of Ivan Franko Lviv National University (1945–2010): reference-inform. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 518 s. [in Ukrainian].
3. Koltun, L.I. (1962). Do istorii heolohichnoho fakultetu u Lvivskomu universyteti [To the history of the geological faculty at Lviv University]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya heolohichna – Visnyk of Lviv University. Series Geology*. Vyp. 1. S. 3–12. [in Ukrainian].
4. Matkovskyy, O.I., Leshchukh, R.Y. Pavlun, M. M. (2010). Heolohichniy fakultet Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka: mynule i sohodennia (do 350-richchia zasnuvannia Lvivskoho universytetu) [Geology Department of Ivan Franko National University of Lviv: Past and Present (on the 350th anniversary of the founding of Lviv University). *Geologist of Ukraine*. *Heoloh Ukrainy – Geologist of Ukraine*. 2010. №4. C.25–29.
5. Matkovskyy, O.I. (1998). Heolohichnomu fakultetu 50 rokiv [The Faculty of Geology is 50 years old]. *Seriia heolohichna – Visnyk of Lviv University. Series Geology*. Vyp. 13. S. 3–12. [in Ukrainian].
6. Matkovskyy, O.I., Pavlun, M. M. (2005). Rozvytok heolohii u Lvivskomunatsionalnomu universyteti imeni Ivana Franka (do 60-richchia heolohichnoho fakultetu) [The development of geology at Ivan Franko National University of Lviv (on the 60th anniversary of the Faculty of Geology)]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya heolohichna – Visnyk of Lviv University. Series Geology*. Vyp. 19. S. 4–21. [in Ukrainian].
7. Pavlun, M., Matkovskiyi, O., Slyvko, Ye., Bilonizhka, P., & Ivanina, A. (2020). Heolohichnomy fakultetu Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka 75 rokiv : dovidk.-inform. vyd. [Seventy-five years of the Faculty of Geology of the Ivan Franko National University of Lviv: reference-inform. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 208 s. [in Ukrainian].
8. Problemni pytannia heolohichnoi nauky i osvity na porozhi KhKhI stolittia: Konf., prysviachenoj 60-richchju heoloh. f-tu Lviv. un-tu imeni Ivana Franka: tezy dopovidei nauk [Problematic issues in geological science and education at the turn of the 20th century: Conference dedicated to the 60th anniversary of the Faculty of Theology at Ivan Franko University in Lviv: abstracts of scientific reports] (2005). Vidp. red. M. Pavlun. Lviv: LNU imeni Ivana Franka. 139 s. [in Ukrainian].
9. Stan i perspektyvy suchasnoi heolohichnoi osvity ta nauky: nauk. konf., prysviachena 65-richchju heol. f-tu Lviv. nats. un-tu imeni Ivana Franka: tezy dop. [The state and prospects of modern geological education and science: scientific conference dedicated to the 65th anniversary of the Faculty of Geology of Ivan Franko National University of Lviv: abstracts] (2010). Vidp. red. M. Pavlun. Lviv: LNU imeni Ivana Franka. 270 s. [in Ukrainian].
10. Fundamentalne znachennia i prykladna rol heolohichnoi osvity i nauky: mizhnar. nauk. konf., prysviachena 70-richchju heol. f-tu Lviv. nats. un-tu imeni Ivana Franka: materialy [Fundamental significance and exemplary role of geological education and science: international scientific conference dedicated to the 70th anniversary of the Faculty of Geology of Ivan Franko National University of Lviv: materials] (2015). Vidp. red. M. Pavlun. Lviv: LNU imeni Ivana Franka. 250 s. [in Ukrainian].
11. Encyclopedia. Lvivskiyi natsionalnyi universytetu imeni Ivana Franka [Encyclopedia. Ivan Franko National University of Lviv]. Vidp. red. O. Vakarchuk (holova) ta in. dovidk. vyd.: u 2-kh t. T. 1: A–K. 2011. 715s.; T. 2: L–Ya. 2014. 762 s. Lviv : LNU imeni Ivana Franka. [in Ukrainian].

ON THE 80TH ANNIVERSARY OF THE FOUNDING OF THE GEOLOGY FACULTY OF THE IVAN FRANKO NATIONAL UNIVERSITY OF LVIV

**Mykola Pavlun, Yevheniya Slyvko, Oleg Hayovskyy,
Serhii Tsikhon, Larysa Heneralova**

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua, slyvko@lnu.edu.ua, oleg.hayovskyy@lnu.edu.ua,
serhiitsikhon@lnu.edu.ua, larysa.heneralova@lnu.edu*

The article analyzes the educational and scientific work of the staff of the Faculty of Geology, the publication of monographs, textbooks, manuals, and teaching aids, as well as student research. Attention is drawn to the increase in the number of scientific articles in journals included in the Web of Science and Scopus scientometric databases, which made it possible to form the editorial boards of three faculty periodicals and transfer them to category B professional journals. An analysis was carried out of the implementation by employees of scientific state budget topics and topics that are carried out within the working hours of teachers. The organization and conduct of scientific conferences, round tables, seminars, and the disclosure of all-Ukrainian and international ties of the Faculty of Geology are briefly described. The new optimized structure of the Faculty of Geology and the new staffing of scientific, teaching, and laboratory personnel, as well as the new number of educational and research laboratories, are presented. The possibilities for conducting general education and geological survey training practices for first- and second-year students at the university in the village of Verkhne Synevdyne in the Skole district of the Carpathians are described. It is noted that the list of educational programs that students of the faculty master covers all existing problems of geological production and sciences in terms of content. It has been synthesized that the faculty consolidates the long-standing traditions of powerful scientific schools with modern innovative trends and approaches to teaching and training highly qualified specialists in the field of geology, in accordance with the needs of the labor market in the context of European integration. It was concluded that the Faculty of Geology of Ivan Franko National University of Lviv is one of the leaders in the field of training geologists, which meets the high standards of quality of geological higher education.

Key words: 80 years of the Faculty of Geology, educational and scientific process, internships, competitions, scientific conferences, structure of the Faculty of Geology, Ivan Franko National University of Lviv.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

СТАТТІ

УДК 553.26:549.41(477)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.39.02>

ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА І ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЧНА ЗОНАЛЬНІСТЬ ЗОЛОТОРУДНИХ РОДОВИЩ МЕТАМОРФОГЕННО-ГІДРОТЕРМАЛЬНОГО КЛАСУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Микола Павлунь

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua*

У статті стисло схарактеризовано суть термобарогеохімічної зональності й вертикальний розмах зруденіння на різноглибинних золоторудних родовищах Українського щита. Проаналізовано геологічну будову об'єктів у докембрії – на нижньому структурному поверсі, де поширені, зокрема, метаморфогенно-гідротермальні родовища золота великих глибин. Відповідна геологічна ситуація визначила просторово значну витриманість тектонічних елементів родовищ на цьому поверсі й великий ступінь термостатованості за високої ізотермічності прогрітих бокових порід усієї вертикальної колони. Це сприяло формуванню стійких мінеральних асоціацій без помітних змін мінерального складу. Вертикальної зональності рудних тіл у межах величезного вертикального інтервалу майже немає. І тут на допомогу приходить термобарогеохімічна зональність, яку можна визначити на будь-якому рудному об'єкті.

Наведено конкретні особливості зональної будови золоторудних родовищ Українського щита (Майське, Балка Широка, Балка Золота, Сергіївське) і термобарогеохімічної зональності. Схарактеризовано її значення для прогнозно-металогенічної оцінки поширення зруденіння з глибиною.

Ключові слова: золото, метаморфогенно-гідротермальні родовища, термобарогеохімічна зональність, докембрій, Український щит, Майське родовище, родовище Балка Широка, родовище Балка Золота, Сергіївське родовище.

Постановка проблеми. Термобарогеохімічна зональність метаморфогенно-гідротермальних золоторудних родовищ Українського щита (далі – УЩ) практично дуже слабо вивчена, до того ж на гіпербарних об'єктах великих глибин, де мінералого-геохімічна зональність майже не виявлена, а на родовищах зеленокам'яних структур дуже специфічна. Водночас її дослідження дають змогу уточнювати генетичну позицію родовища, прогнозувати поширення зруденіння з глибиною.

Мета – розкрити специфіку термобарогеохімічної зональності на родовищах золота УЩ, показати тренди й закономірності зміни в просторі головних термобарогеохімічних параметрів процесів золотоутворення – термобарогеохімічну зональність.

Виклад основного матеріалу. Під зональністю традиційно розуміють упорядковане й закономірне поширення в просторі рудоутворювальних компонентів – хімічних елементів, мінералів чи їхніх парагенетичних асоціацій, а визначену за ними зональність називають мінералого-геохімічною (Рундквист, Неженский, 1975; Смирнов, Еремеев,

1976; Соколов, 1976). Якісна і кількісна оцінка такої зональності можлива на родовищах з полімінеральною комплексною мінералізацією. Натомість великі труднощі виникають на об'єктах, де розвинута проста, нерідко мономінеральна рудна мінералізація, наприклад, пов'язана із золоторудною убогосульфідною формацією чи каситерит-кварцовою та ін. У цьому разі такі мінерали мають обмежене значення для виявлення зональності, водночас, як це не парадоксально, саме вони містять якісно нові й майже універсальні для вивчення зональності родовищ об'єкти – флюїдні включення. Адже головні фізико-хімічні параметри мінералоутворення, що їх виявляють за допомогою включень, закономірно змінюються не тільки із часом, а й у просторі, зумовлюючи повсюдні прояви зональності, яку назвали термобарогеохімічною (далі – ТБГХ) (Лазько, 1981); вона може бути температурна, фазометрична, газохімічна, гідрохімічна та ін. на різних родовищах, що переконливо доведено в працях львівських науковців С. Лазька, Ю. Ляхова, М. Павлуна, А. Пізнюра, І. Попівняка (1976, 1984, 1994, 1995 та ін.). Особливо вагоме значення вона має для метаморфогенно-гідротермальних родовищ УЩ, оскільки чинники ТБГХ-зональності тут зумовлені певним поєднанням геолого-структурних і літолого-фаціальних умов, енергетичними чи парагенетичними зв'язками золотого зруденіння з ультраметаморфічними або власне магматичними процесами, особливостями *PT*-режиму й динаміки спрямовано-регресивного розвитку гідротермальної системи на великих, але все ж таки різних глибинах [1; 3; 5; 7–10; 12; 13 та ін.]. Особливо це стосується діагностики ступеня термостатованості рудоутворювальної системи через значення палеотемпературного градієнта ($\Delta T/100\text{м}$), а власне зміна неоднорідності теплових полів залежить також від динаміки потоку й ентальпії флюїдів, ступеня нагрівання вмісних порід, їх проникності, теплоємності та зміни інших теплофізичних властивостей (Шарапов, 1971).

Спочатку розглянемо геологічні умови глибини формування родовищ і ймовірний вертикальний розмах зруденіння, зокрема для родовищ метаморфогенно-гідротермального класу (Вольфсон, 1976) на УЩ, а тоді перейдемо до опису ТБГХ-зональності на цих об'єктах, яка має для них хоч і фрагментарне, однак вагоме значення через слабе розкриття родовищ буровими свердловинами та гірничими виробками.

За Ю. Білібіним (1955), три послідовні ритми розвитку геосинклінально-складчастої ділянки відповідають трьом ярусам – нижньому, середньому і верхньому, що сьогодні в тектонічних побудовах синонімічно використовують як термін «структурний поверх» (Вольфсон, 1976). Майже загальноприйнятою геотектонічною нормою є твердження, що давні метаморфічні утворення (докембрійські) належать до нижнього структурного поверху (основи, фундаменту), утворення власне складчастого й орогенного етапів розвитку земної кори відповідають середньому поверху, а платформного – верхньому. Однак така уніфіковано-ідеалізована і проста схема витримується далеко не завжди: відомі провінції, де середнього структурного поверху нема, і тоді на нижньому поверсі (на основі, фундаменті) безпосередньо залягає верхній структурний поверх. Такі провінції охоплюють великі ділянки давніх платформ. Часто у фундаменті чи на щиті (виведеній на поверхню частині фундаменту) діагностують процеси автономної чи відображеної активізації; це могло відбуватись у протерозої (протоактивізація) (Казанский, 1969), згодом у палеозої і навіть кайнозої: у давньому субстраті формувалися різні типи родовища значно молодшого віку.

Тому коректна діагностика глибини процесів утворення родовищ украй важлива для прогнозно-металогенічних оцінок території, оскільки має великий вплив на особливості будови родовищ, речовинний склад руд (парагенезиси) і білярудних метасоматитів, вертикальний розмах та масштаби зруденіння.

Головним методом визначення глибини петро- й рудогенезу вважають якомога точнішу реставрацію літолого-стратиграфічного розрізу й геологічних умов формування

родовищ, однак це вдається зробити тільки на рудоносних площах слабкодислокованих шаруватих товщ. Тому застосовують експериментальні дослідження розпаду твердих розчинів, визначення значення тиску за флюїдними включеннями з CO_2 і NaCl та іншими термобарогеохімічними параметрами, визначення ступеня термостатованості через значення палеотермоградієнта ($\Delta T/100$ м) у палеогідротермальних системах рудоутворення [9; 11 та ін.], який обернено пропорційно пов'язаний з глибиною і вертикальним розмахом зруденіння й залежить від структурного поверху його залягання.

Загалом спостереження засвідчують, що віддаль між верхніми частинами найвищих і найнижчих прихованих рудних тіл на одному родовищі здебільшого не перевищує 600–800 м, а загальний вертикальний розмах зруденіння значно змінний – від декількох сотень метрів до 3–4 км, найчастіше – 0,8–1,5 км. Однак залежно від того, у якому структурному поверсі поширене зруденіння, воно по-різному закінчується догори і з глибиною.

У нижньому структурному поверсі (фундаменті) залягають породи архею і протерозою, зовсім спорадично – низів палеозою, що зазнали метаморфічних змін і високих ступенів метаморфізму та утворені навіть за умов ультраметаморфізму. Порооди фундаменту інтенсивно дислоковані з утворенням синклінальних складок і мікросланцюватості та міжформаційних і міжпластових зривів. За таких умов зруденіння формується здебільшого внаслідок метасоматичного заміщення і частково – завдяки виповненню слабо поширених порожнин. Воно залягає у своєрідних метасоматитах зональних стадій формування давніх розломів, де виявлені розсланцювання й міліонізація порід. Для таких утворень стійкою є кварц-мікроклін-плагіоклаз-біотит-амфіболова асоціація (наприклад, золотоносні біотит-кварц-олігоклазові метасоматити Майського родовища в чарнокіт-гранулітовому комплексі AR_1 Дністерсько-Бузького мегаблока УЩ). Наявні чіткі ознаки течії матеріалу в разі домінування пластичних деформацій дислокаційного метаморфізму за умов винятково високого тиску й температури (Вольфсон, 1976).

У детально вивчених районах глибина формування верхніх частин рудних тіл цього поверху коливається від 800–1000 до 1500 м, а вертикальний розмах, порівняно зі зруденінням вищих структурних поверхів, максимальний – від 2,0–2,5 до 3,5–4,0 км (золоторудне родовище Колар в Індії). Тобто глибина залягання рудних тіл сягає 5 км – нижче починається перехід рудоконтролювальних і рудовмісних розривів у зони пластинчастої течії, де немає умов для відкладання руд. Така просторова велика витриманість тектонічних елементів родовищ описуваного поверху і високий ступінь термостатованості за високої ізотермічності прогрітих бокових порід усієї вертикальної колонії сприяють формуванню в них стійких мінеральних асоціацій майже без помітних змін мінерального складу у величезному інтервалі – вертикальній зональності рудних тіл майже немає (Вольфсон, 1976).

Золоторудні родовища УЩ належать до метаморфогенно-гідротермальних утворень великих глибин [9], геологоструктурна позиція яких майже тотожна або дуже близька до описаної вище для нижнього (архейського) структурного поверху.

На УЩ вирізняють такі три природно різні типи золотоконцентрувальних палеогідротермальних систем власне метаморфогенно-гідротермальних родовищ нижньо- і верхньоархейського віку (T – 500–50 °C за $\Delta T/\Delta P$ – 3–10 °C) [1; 2; 9; 11]:

1. Порівняно термостатована (ΔT – 8–10 °C/100 м) середньобарична (до 200 МПа) пневматолітово-гідротермальна система з інтенсивною гетерогенізацією густинного H_2O - CO_2 - NaCl -флюїду, на початку процесу порівняно концентрованого (до 35 мас. % NaCl). Генотип – Балка Широка у верхньоархейській Чортомлицькій зеленокам'яній структурі (далі – ЗКС) Середньопридніпровської зеленокам'яної області (далі – ЗКО), де ділянки розвантаження та міграції флюїдів просторово розірвані.

2. Порівняно термостатована (ΔT – 5–8 °C/100 м) високобарична (до 250–300 МПа) система, від початку – гетерогенно-гідротермальна за участю порівняно високогустинного

H₂O-CO₂-NaCl-флюїду (35–50 мас. % NaCl), пізніше – гомогенно-гідротермальна з обмеженим закипанням (гетерогенізацією) CO₂-H₂O-розчину, просторово порівняно відірвана від джерел генерування флюїдів. Генотип – верхньоархейські родовища Балка Золота, Сергіївське (Сурська ЗКС).

3. Порівняно термостатована ($\Delta T/\Delta P$ – 3–5 °C) гіпербарична (до 350 МПа) гомогенно-гідротермальна система за участю порівняно густинного флюїду складу H₂O-CO₂-NaCl (сольова концентрація – до 47 мас. % NaCl), пізніше – гетерогенна з достатньо інтенсивною дегазацією CO₂, наприкінці – суттєво водна, суміщена з джерелом генерування флюїдів. Генотип – Майське родовище в нижньоархейському чарнокіт-гранулітовому комплексі Дністерсько-Бузького мегаблока УЩ.

На цих родовищах, особливо на гіпербаричному Майському, значні труднощі виникають у разі виявлення мінералогеохімічної зональності, про що вже зазначено вище. Характер флюїдного режиму формування золотоносних зон сульфідизації дає змогу зачислити цей новий для регіону тип зруденіння до утворень, енергетично залежних від палеотеплових потоків ранньоархейських гранітних масивів палінгенного походження. Можна припускати, що найважливіші морфологічні й структурно-геохімічні особливості зруденіння цього родовища певним чином зумовлені локалізацією золотої мінералізації в біотит-кварц-олігоклазових метасоматитах у золотоносній структурі термобароаномальних фронтів із проявами процесів палінгенезу. Можна говорити про недалеке переміщення флюїдних мас і досить невисоку диференціацію перенесених ними рудних компонентів. Це відображено в розвитку процесів метасоматозу й відсутності чітко виявлених мінеральних асоціацій та їх зонального розподілу [1; 2; 5].

Натомість на верхньоархейських родовищах, розташованих порівняно далеко від флюїдогенерувальних центрів (Балка Широка та, особливо, Балка Золота і Сергіївське), рудну зональність можна простежити, хоч і з різною контрастністю, у вигляді фаціальної (відкладення) і стадійної (пульсаційної). Розпочнемо аналіз ТБГХ-зональності з Майського родовища [1; 4; 5; 13 та ін.].

Золоторудне **родовище Майське** розташоване на Саврансько-Синицівській площі, яка розташована на північному краю східної частини Дністерсько-Бузького мегаблока, сформованого утвореннями побузького чарнокіт-гранулітового структурно-формаційного комплексу. Геологічна позиція родовища визначена двома великими синкліналями, що складені діафторованими утвореннями лейкогранулітової і гіперстенової гнейсо-кристалосланцевої формацій. Родовище контрольоване розривним порушенням, що має субширотну орієнтацію і локалізоване ближче до північно-західного крила Савранської синкліналі. На площі робіт наявні два просторово індивідуалізовані автохтонні масиви апліто-пегматоїдних гранітів плутонічного вигляду, які утворилися під час метасоматозу й палінгенезу на етапі ультраметаморфізму, – Південний і Північний [1; 3; 5].

Вивчення особливостей рудної мінералізації родовища засвідчило, що мінералогеохімічна зональність тут виявлена дуже неконтрастно. Рудопідготовчими етапами на родовищі були нагромадження первинної речовини суперкрудальних формацій, метаморфізм і гранітизація за умов гранулітової фації, діафторез, динамометаморфізм та ультраметаморфізм за умов амфіболітової фації, кременисто-лужний метасоматоз, палінгенез та кислотне вилугування (передрудне) [4; 5].

Стисло розглянемо етап метаморфогенно-гідротермального рудоутворення [3; 4], на якому вирізняють дві стадії – сульфідного та вуглекисотно-водного метасоматозу. Стадія сульфідного метасоматозу дорудна. Рудогенна система була гомогенно-високощільною складу H₂O-CO₂-NaCl з умістом солей до 40–45 мас. % NaCl. Температура змінювалася від 410 до 300 °C, тиск – 350–150 МПа. Друга стадія – продуктивна, третя – післяпродуктивна.

Під час продуктивної стадії формувалася золото-сульфідний комплекс, який охоплює три мінеральні парагенезиси: пірит-П-сфалерит-галенітовий, золото-бісмутиновий і золото-телуридний. Мінералоутворення відбувалося за умов гетерогенної гідротермальної системи з виділенням рідкого CO_2 ($1,2\text{--}0,8\text{ г/см}^3$), пізніше – газоподібного ($0,4\text{--}0,1\text{ г/см}^3$). *ТР*-параметри: від $310\text{--}300$ до $200\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$, $70\text{--}50\text{ МПа}$ [1; 5; 11].

Характер флюїдного режиму і структурно-речовинний його зв'язок з біотит-кварц-олігоклазовими золотоносними метасоматитами дає змогу зачислити цей тип до метаморфогенно-гідротермальних утворень із чіткими рисами геоенергетичної залежності від палеотеплових полів масиву палінгенних магматитів.

Як засвідчили дослідження, з глибиною спостерігається загальна для золото-сульфідно-кварцових зон родовищ закономірність, яка полягає в підвищенні температури, густини рідкого CO_2 , тиску й сольової концентрації розчинів. У цьому ж напрямі у кварці-П допродуктивного сульфідного комплексу фіксується зміна газОВО-рідинних включень рідинно-газовими, що засвідчує посилення мінералоутворювальної діяльності газоподібних розчинів. Особливо інтенсивно така тенденція виявлена в Південному блоці родовища. Збільшення температури гомогенізації включень у кварці-П відображено у вертикальних палеотемпературних градієнтах за падінням рудних зон на глибині $240\text{ м} - 12,5\text{ }^\circ\text{C/100 м}$ у Південному блоці (свердловини 6714, 6715 профілю 21) та на глибині $375\text{ м} - 7,2\text{ }^\circ\text{C/100 м}$ – у Північному (свердловини 6702, 6701, 6700 профілю 26). Максимальна температура (рис. 1, 2) у період формування допродуктивного комплексу ранніх сульфідів – $>420\text{--}410\text{ }^\circ\text{C}$ – характерна для рудних зон у гранітоїдному масиві Південного блока. У цій високотемпературній ділянці виявилася діяльність висококонцентрованих розчинів ($17,4\text{--}27,2\text{ мас. \% NaCl}$), релікти яких простежено у вигляді флюїдних газОВО-рідинних багатофазових інклюзивів з галітом і силвіном.

Головна особливість умов формування продуктивних мінеральних парагенезисів, зважаючи на флюїдні включення у кварці-IIIa, б, полягає в провідній ролі розчинів, які неодноразово гетерогенізувалися. У цьому разі варіації *РТ*-режиму розчинів такі: Південний блок – $350\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$, $13,5\text{ МПа}$ ($282,0\text{ м}$), густина рідкого CO_2 – $0,941\text{--}0,203\text{ г/см}^3$, Північний блок – $340\text{--}225\text{ }^\circ\text{C}$, $11,5\text{ МПа}$ ($232,0\text{ м}$), $0,849\text{--}0,139\text{ г/см}^3$. Значення $\Delta T/100\text{ м}$ оцінюється в $6,3\text{ }^\circ\text{C/100 м}$ для ранньої продуктивної золото-пірит-кварцової мінеральної асоціації (кварц-IIIa) Південного блока, а під час формування золото-бісмутиніт-телуридного парагенезису воно зменшується до $4,1\text{ }^\circ\text{C/100 м}$ (кварц-IIIб).

Отримані результати засвідчують, що водно-вуглекислі розчини з різним ступенем інтенсивності гетерогенізації були поширені в Південному блоці родовища повсюдно, натомість у Північному блоці такий тип розчинів наявний здебільшого на глибоких гіпсометричних рівнях. Кількісне оцінювання густини рідкого й газоподібного CO_2 засвідчило збільшення інтенсивності гетерогенізації золотоносних розчинів – $0,930\text{--}0,139\text{ г/см}^3$, що прямо корелює з ділянками підвищеного вмісту золота; у межах рудних зон з низьким вмістом золота участь гетерогенних $\text{H}_2\text{O}\text{--}\text{CO}_2$ -розчинів у мінералоутворенні невелика.

Значення вертикального градієнта температури розчинів під час формування післяпродуктивного комплексу мінералів оцінюють у $2\text{ }^\circ\text{C/100 м}$ у Південному блоці та $2,8\text{ }^\circ\text{C/100 м}$ – у Північному.

Виявлено також зміну густини CO_2 і тиску за здійсненням рудних зон у Південному блоці: низькі рівні – $0,940\text{ г/см}^3$ і 273 МПа , середні рівні – $0,930\text{ г/см}^3$ і 255 МПа , високі рівні – $0,927\text{ г/см}^3$ і 234 МПа ; у Північному блоці: середні рівні – $0,876\text{ г/см}^3$ і 203 МПа , низькі рівні – $0,894\text{ г/см}^3$ і 232 МПа . Отже, можна оцінити узагальнений градієнт тиску, який відповідає $16,2\text{ МПа/100 м}$ під час формування золото-пірит-кварцової асоціації та 10 МПа/100 м – під час кристалізації золото-бісмутиніт-телуридної асоціації.

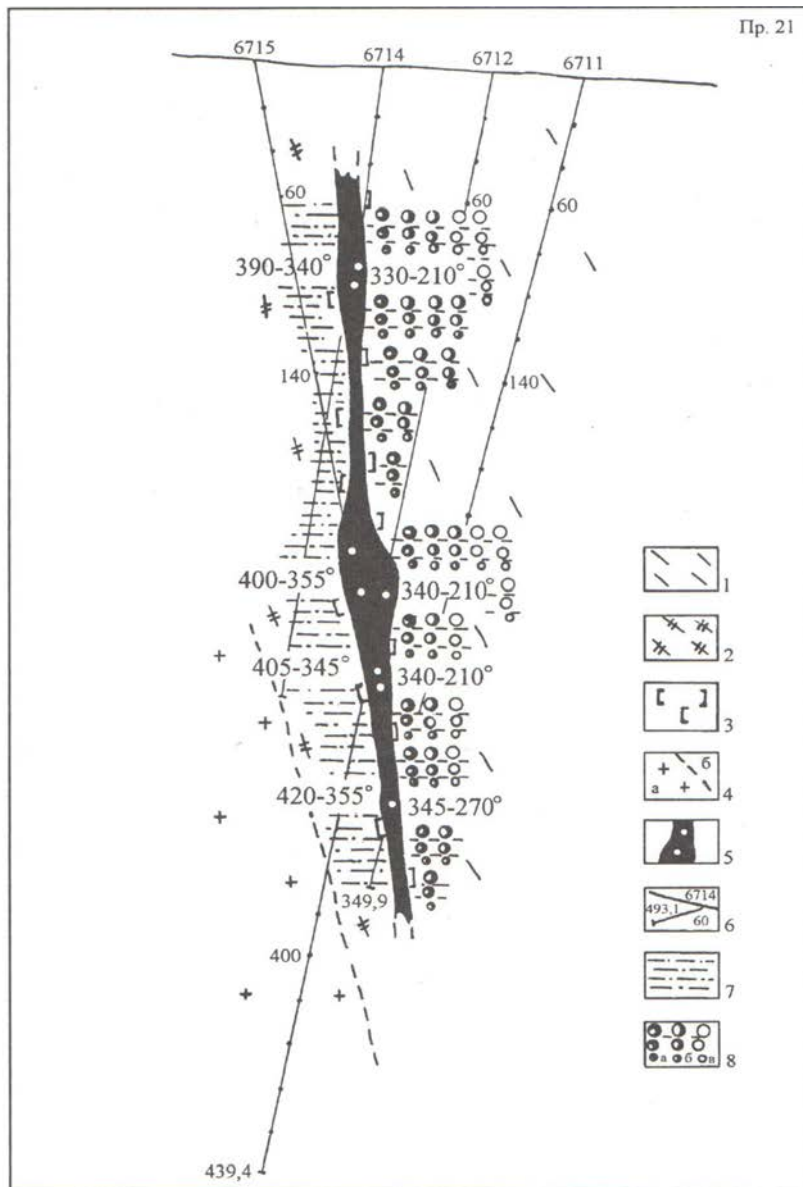


Рис. 1. Характер мінливості температури, густини й інтенсивності гетерогенізації мінералоутворювальних розчинів у межах рудної зони профілю 21 (Південний блок): 1 – біотитові плагіогнейси; 2 – мігматити; 3 – амфіболіти; 4 – аплітоподібні граніти (а), геологічні межі (б); 5 – золото-сульфідно-кварцова мінералізація, точки відбирання проб; 6 – номер і глибина свердловини; 7 – ділянки поширення кварцу-II (ранньосульфідний мінеральний комплекс) з включеннями водно-сольових розчинів; 8 – ділянки поширення кварцу-III (золото-сульфідний комплекс) з включеннями водно-вуглекислотних розчинів густиною (г/см³) 0,940–0,804 (а), 0,804–0,717 (б), 0,717–0,176 (в); густота крапу й поєднання його всіх (а–в) знаків указує на підвищений ступінь гетерогенізації гідротерм. Для обох комплексів показано температурний інтервал повної гомогенізації включень.

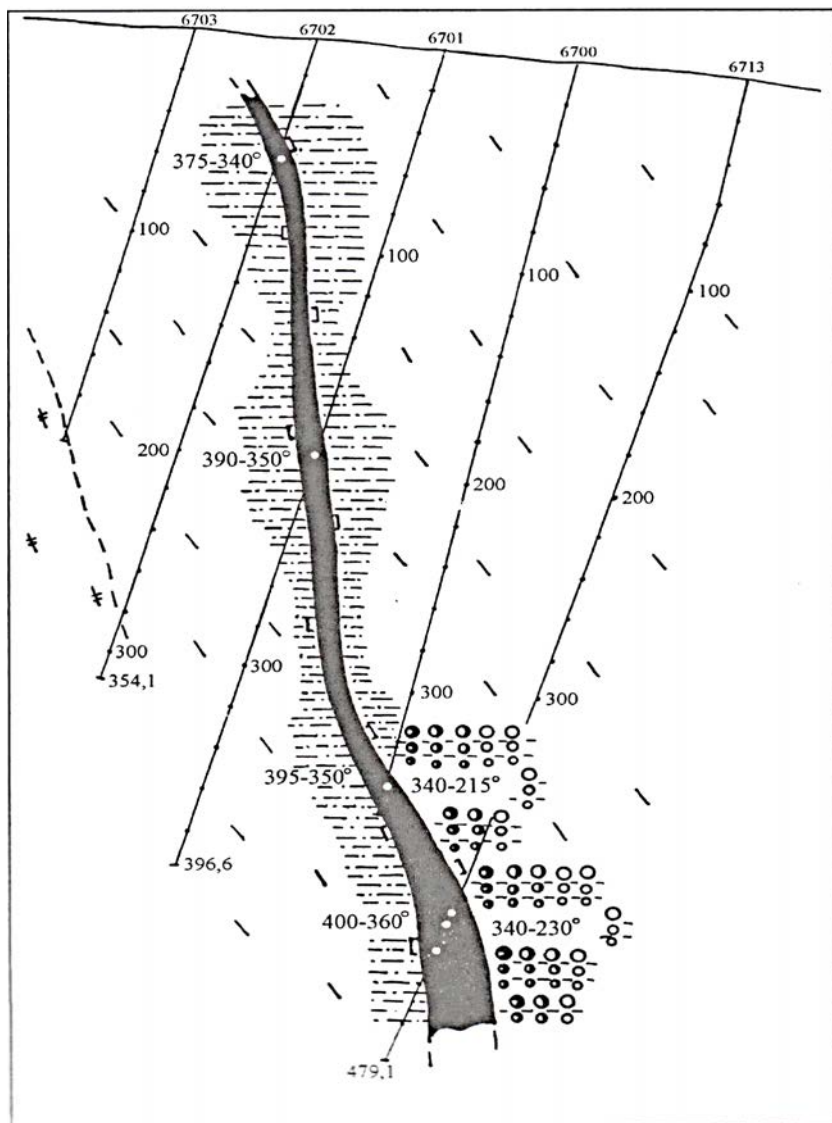


Рис. 2. Характер мінливості температури, густини й інтенсивності гетерогенізації мінералоутворювальних розчинів у межах рудної зони профілю 26 (Північний блок).
Умовні позначення див. на рис. 1.

Продовжимо аналіз ТБГХ-зональності на *родовищі Балка Широка* [4, 10 та ін.]. Воно залягає в межах високомагнітної ділянки західного крила антиклінальної складки, побудованої утвореннями сланцево-джеспіліт-голеїтової формації. Ці породи поширені в зоні екзоконтактового впливу Чкалівського масиву тоналіт-плагіогранітної формації і ріолітів лавово-субвулканічних полів ріодацитової вулканогенної формації, що інтродовані їхніми плутонічними комагматами з утворенням ріодацит-плагіогранітної вулканоплутонічної асоціації (далі – ВПА).

Зруденіння приурочено до системи субпаралельних зон сітчасто-прожилкової мінералізації, іноді без чітких меж складної конфігурації. Рудні тіла найчастіше посідають згідне положення в зонах метасоматично змінених порід (лиственіт-березити). Їх локалізація і досить часто напрям визначені положенням пластів залістистих кварцитів і структурними флуктуаціями вмісних порід – флексури, S-подібні складки тощо. Таке просторове положення мають кварц-анкерит-сульфідні тіла в прошарках джеспілітів, які відігравали роль осаджувачів золота, що його привносили флюїди генерувальної ріодацит-плагіогранітної ВПА. Подеколи рудні тіла виходять за межі залістистих кварцитів.

Отже, родовище Балка Широка представлене серією кулісоподібних крутоспадних непротяжних зон сітчасто-прожилкової мінералізації, які просторово тяжіють до регіональної диз'юнктивної структури Східночортомлицького розлому [2; 4; 10]. Мінливість просторових змін головних ТБГХ-параметрів виявлена на підставі досліджень включень у відповідних зародженнях кварцу-Па, б продуктивних парагенезисів – золото-арсенопірит-сфалерит-халькопірит-кварцового (Па) і кварц-халькопірит-арсенопірит-сульфосольового із золотом (Пб) [4; 7]. Це дало змогу припустити вірогідну підвідну роль зазначеного розлому на підставі фрагментів лінійної фаціальної зональності із субпаралельною орієнтацією ізотерм і таким же розподілом інших параметрів уздовж зони розлому. Простежується єдина для цього родовища закономірність зменшення температури по піднесенню зон від 385 °C (505,0 м – глибокі рівні родовища) до 285 °C (125,0 м – верхні рівні). Чітко фіксується зменшення густини CO₂, сольової концентрації розчинів і тиску також з переходом від глибоких до верхніх горизонтів рудних тіл розвідувального профілю «0» й у боки від розлому. У безпосередній близькості від розлому фіксується специфічна особливість формування продуктивних мінеральних парагенезисів, яка полягає в їх кристалізації з насичених CO₂ водно-вуглекислих розчинів. Вони в процесі рудоутворення неодноразово гетерогенізувалися з відокремленням діоксиду вуглецю та, імовірно, вуглеводнів. Баричний режим розчинів змінювався від 194,0–123,0 МПа на глибоких горизонтах родовища та в безпосередній близькості до структури Східночортомлицького розлому – 93,0–79,0 МПа на верхніх рівнях і з віддаленням від зони розлому. З огляду на це, густина рідкого CO₂ з підняттям золотоносних гідротерм у геологічному просторі родовища також синхронно змінювалася від 0,866–0,809 до 0,688–0,653 г/см³.

Аналогічні тренди зміни зафіксовані стосовно сольової концентрації гідротермальних розчинів: з їх підняттям та в боки від рудогенерувального розлому концентрація флюїдів змінювалась від 40–42 до помірно-концентрованих – 24 мас. % NaCl.

Виявлені закономірності зміни цих важливих параметрів треба обов'язково брати до уваги під час прогнозно-розшукових робіт у зоні Чортомлицької ЗКС, до того ж золоторудні тіла родовища «прив'язані» до прирозломних ділянок розвитку порід ріодацит-плагіогранітної ВПА і виразно демонструють зв'язки із субширотними розломами – вони для значної частини вулканітів та їх інтрузивних комагматів були **магмопідвідними** і, відповідно, рудогенерувальними, зумовлювали ремобілізацію і перерозподіл золота, наявного в залістистих кварцитах джеспіліт-толейтової формації, його трансляцію флюїдними потоками і наступне перевідкладання за інших термодинамічних і геолого-структурних умов [3].

Суттєво інша геологічна, морфоструктурна і рудноформаційна картина наявна на **родовищах тоналіт-зеленокам'яного СФК Середньопридніпровської ділянки**. Тут вулканогенні породи, метаморфізовані за умов амфіболітової до зеленосланцевої фації, супроводжуються комагматичними плутонічними утвореннями й формують вулcano-плутонічні асоціації. Достатня кількість таких асоціацій дає змогу в окремих випадках убачати деякий причинно-наслідковий зв'язок зруденіння з давнім магматизмом: дещо умовно його можна назвати парагенетичним, маючи на увазі, що процеси магматизму були

головним чинником мобілізації метаморфогенного флюїду і функціонування плутонометаморфогенної рудоутворювальної системи. Про це можна сказати при аналізі термобарогеохімічної зональності. Показовими щодо цього є родовища південної частини Сурської ЗКС – Балка Золота, Сергіївське та ін. Вони сформовані й локалізовані в єдиній ріодацит-плагіогранітній ВПА, з якою пов'язане та локалізоване золоте зруденіння в зонах прожилково-вкрапленої сульфідно-карбонат-кварцової мінералізації з середнім умістом сульфідів 3–5 %. Добре виражені лінійні субмеридіональні зони, контрольовані розривними порушеннями різного порядку й ореольного типу – в екзоконтаті лавово-субвулканічних порід і невеликих дайкоподібних тіл кварцових порфірів. У таких ореолах наявні системи різноорієнтованих прожилків середньою потужністю 0,5 см, які формують орієнтований штокверк складної морфології, рідше трапляються ділянки зближених жил потужністю 10–15 см. Тіла кварцових порфірів слабо мінералізовані в екзоконтаті. Концентроване ж зруденіння розвинуте в метабазах найближчого екзоконтакту, і з віддаленням субвулканічних інтрузій його інтенсивність зменшується [2; 4].

У жильно-штокверковому зруденінні Балки Золотої та в мінералізованій зоні Сергіївського родовища поширені середньо- й дрібнозернисті полімінеральні агрегати повнокристалічного вигляду. У подальшому вони були зруйновані й розкристалізовані внаслідок внутрішньорудного метаморфізму.

Термобарогеохімічна зональність тут і багатьох випадках усе ще досить фрагментарна. Полістадійний золотоносний сульфідно-карбонатно-кварцовий штокверк з віддаленням від тіл кварцових порфірів ріодацит-плагіогранітної ВПА розчленовується на розбіжно-відцентровий зональний ряд розвитку мінералів рідкіснометалевого (молібденіт-кварцового), ранньо- та пізньосульфідного золотого і кварц-карбонатного комплексів. У цьому ж напрямі високотемпературні (500–350 °C) і високобарні (260–200 МПа) процеси трифазової гетерогенізації внутрішньої зони змінюються середньотемпературними (300–200 °C) процесами продуктивного етапу рудоутворення середньої зони і середньо-низькотемпературними умовами (200–100 °C) післяпродуктивних стадій зовнішньої периферійної зони. Для зонально спрямованих термобарогеохімічних процесів характерні висока густина рідкого CO₂ (до 0,890–0,902 г/см³) та сольова концентрація (>35 мас. % NaCl) флюїдних фаз у безпосередній близькості до тіл кварцових порфірів, а також різкі падіння тиску (до 75–40 МПа) [7]. Аналіз мінералогічної і термобарогеохімічної зональності розкриває аномальну термобароградієнтну природу таких метаморфогенно-гідротермальних утворень, що пов'язані з формуванням кислих магматитів ВПА, а рушійним чинником мобілізації флюїдів був спрямовано-градієнтний спад тиску під час розряджання інтрузивних напружень і формування відцентрового тріщинного каркасу в екзоконтактових зонах кварцових порфірів, з якими пов'язані вибухоподібні процеси багатofазової гетерогенізації і золотонагромадження [6].

Висновки. Аналіз термобарогеохімічної зональності на метаморфогенно-гідротермальних родовищах золота УЩ засвідчив таке:

- здебільшого на родовищах виявлена фаціальна (відкладання) зональність (Майське, Балка Широка), хоча на золоторудних об'єктах Сурської ЗКС (Сергіївське) виявлено стадійну (пульсаційну) зональність;

- тренди й певні закономірності зміни термобарогеохімічних показників зональності дають підстави говорити про рудопідвідну й рудолокалізуювальну роль Чортомлицького розлому на родовищі Балка Широка, різний ерозійний зріз Північної і Південної ділянок на Майському родовищі та найбільший ерозійний зріз центральної частини Сергіївського родовища, де поширена молібденіт-кварцова (рідкіснометалева) мінеральна асоціація, облямована золотими рудами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобров О., Ляхов Ю., Павлунь М., Сіворонов А. Флюїдний режим процесів петро-рудогенезу та термобарогеохімічні критерії оцінки золотоносних зон Майського родовища (Савранське рудне поле, Побужжя). *Мінерал. зб.* 2001. № 51. Вип. 1. С. 12–21.
2. Бобров О. Б. Корисні копалини України. Ч. 1. Золоторудні родовища Українського щита. Львів : ВЦ ЛДУ, 1997. 58 с.
3. Бобров О.Б., Сіворонов А.О. Металогенія ранньоархейських зеленокам'яних поясів. *Зб. наук. праць УкрДГРІ.* Київ, 2001. С. 19–40.
4. Бобров О. Б., Сіворонов А. О., Гурський Д. С., Павлунь М. М., Ляхов Ю. В., Меркушин І. Є., Мудровська І. В., Малюк Б. І., Поздєєв К. М., Скакун Л. З., Бабинін О. К., Степанов В. Б., Лисенко О. А., Фаворов В. О., Гнугенко Н. О., Єхіванов В. А., Шумлянський В. О., Яценко Г. М. Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України. Київ : УкрДГРІ, 2004. 368 с.
5. Бобров О. Б., Сіворонов А. О., Меркушин І.Є., Гурський Д. С., Бакаржійєв А. Х., Маківчук О. Ф., Скакун Л. З., Гнугенко Н. О., Ляхов Ю. В., Фаворов В. О., Сергієнко В. М., Шевчук В. М. Майське золоторудне родовище (геологія, речовинний склад руд, модель утворення). Дніпропетровськ : Арт-Прес, Техпечать, 2000. 168 с.
6. Ляхов Ю., Павлунь М. Термобарогеохімічне обґрунтування рудно-формаційної належності ендегенних золоторудних родовищ України: теоретичні та методологічні аспекти. *Мінерал. зб.* 2002. № 52. Вип. 1. С. 68–73.
7. Ляхов Ю., Павлунь М., Ціхонь С. Термостатованість палеогідросистем як основа генетичної типізації золоторудних родовищ України (за даними дослідження флюїдних включень). *Мінерал. зб.* 2000. № 50. Вип. 2. С. 38–43.
8. Ляхов Ю. В., Сіворонов А. О., Бобров О. Б., Павлунь М. М., Литвинович О. Р., Краснощок В. М. Флюїдний режим метаморфогенно-гідротермального зруденіння золота Сурської зеленокам'яної структури (Український щит). *Мінерал. зб.* 1994. № 47. Вип. 1. С. 27–44.
9. Павлунь М. Теоретичне та практичне значення фазо- і газометричних моделей золоторудних родовищ (за флюїдними включеннями у мінералах). *Мінерал. зб.* 2000. № 50. Вип. 2. С. 31–37.
10. Павлунь М., Гайовський О., Шваєвський Т. Термобарогеохімія процесів рудоутворення на золоторудному родовищі Балка Широка (Український щит). *Мінерал. зб.* 2024. № 74. С. 45–55. <https://doi.org/10.30970/min.74.04>
11. Павлунь М. М. Фізико-хімічні умови і зональність розвитку молібден-вольфрамових та золоторудних формацій (за результатами термобарогеохімічних досліджень) : автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Львів, 2003. 53 с.
12. Павлунь М.М. Про метаморфогенно-гідротермальну природу родовищ золоторудних формацій Українського щита. *Мінерал. журн.* 2015. Т. 37. № 3. С. 98–111. URL: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000536069>
13. Stein H.G., Markey R.J., Sundblad K., Sivoronov A.A., Bobrov A.B., Malyuk B.I., Pavlun' M.M. Re-Os ages for molybdenites from the Maiske and Sergeevske gold deposits of Ukraine. *Геофиз. журн.* 1998. Т. 20. № 4. С. 114–117.

REFERENCES

1. Bobrov, O., Liakhov, Yu., Pavlun', M., & Sivoronov, A. (2001). Fluidnyi rezhym protsesiv petro-rudohenezu ta termobarogeochemichni kryterii otsinky zolotonosnykh zon Maiskoho rodovyshcha (Savranske rudne pole, Pobuzhzhia) [Fluid regime of the petro-ore-genesis processes and thermobarogeochemical criteria of the evaluation of gold-containing fields at the Mayske deposit (Savranske ore field, Boug region)]. *Mineralogical Collection*, 51 (1), 12–21. [in Ukrainian].

2. Bobrov, O.B. (1997). Korysni kopalyny Ukrainy. Ch. 1. Zolotorudni rodovyshcha Ukrainiskoho shchyta [*Minerals of Ukraine. Part 1. Gold ore deposits of the Ukrainian Shield*]. Lviv: Publishing Centre of Ivan Franko State University of Lviv. [in Ukrainian].
3. Bobrov, O.B., & Sivoronov A.O. (2001). Metaloheniia rannoarkheiskyykh zelenokamianykh poiasiv [Metallogeny of Early Archean greenstone belts]. In *Collection of Scientific Papers of the Ukrainian State Geological Exploration Institute*. Kyiv (pp.19–40). [in Ukrainian].
4. Bobrov, O.B., Sivoronov, A.O., Hurskyi, D.S., Pavlun, M.M., Liakhov, Yu.V., Merkushyn, I.Ye., Mudrovska, I.V., Maliuk, B.I., Pozdieiev, K.M., Skakun, L.Z., Babynin, O.K., Stepanov, V.B., Lysenko, O.A., Favorov, V.O., Hnutenko, N.O., Yekhivanov, V.A., Shumlianskyi, V.O., & Yatsenko, H.M. (2004). Heoloho-henetychna typizatsiia zolotorudnykh rodovyshch Ukrainy [*Geological and genetic typing of gold ore deposits of Ukraine*]. Kyiv: UkrSGRI. [in Ukrainian].
5. Bobrov, O.B., Sivoronov, A.O., Merkushyn, I.Ye., Hurskyi, D.S., Bakarzhiev, A.Kh., Makivchuk, O.F., Skakun, L.Z., Hnutenko, N.O., Liakhov, Yu.V., Favorov, V.O., Serhiienko, V.M., & Shevchuk, V.M. (2000). Maiske zolotorudne rodovyshche (heolohiia, rechovynnyi sklad rud, model utvorennia) [Maiske gold deposit (geology, material composition of ores, formation model)]. Dnipropetrovsk: Art-Pres, Tekhpechat. [in Ukrainian].
6. Lyakhov, Yu. & Pavlun, M. (2002). Termobarogeokhimichne obgruntuvannia rudno-formatsiinoi nalezhnosti endohennykh zolotorudnykh rodovyshch Ukrainy: teoretychni ta metodolohichni aspekty [Thermobarogeochemical grounds of the Ukraine gold-bearing endogenous deposits ore-formational belonging: theoretical and methodological aspects]. *Mineralogical Collection*, 52 (1), 68–73. [in Ukrainian].
7. Lyakhov, Yu., Pavloun', M., & Tsikhon', S. (2000). Termostatovanist paleohidrosystem yak osnova henetychnoi typizatsii zolotorudnykh rodovyshch Ukrainy (za danymy doslidzhennia fluidnykh vkluchchen [Thermostatic control of paleohydrosystems as the basis for genetic typization of the Ukrainian gold deposits (according to fluid inclusions investigations)]]. *Mineralogical Collection*, 50 (2), 38–43. [in Ukrainian].
8. Liakhov, Yu.V., Sivoronov, A.O., Bobrov, O.B., Pavlun, M.M., Lytvynovych, O.R., & Krasnoshchok, V.M. (1994). Fluidnyi rezhym metamorfohenno-hidrotermalnoho zrudennia zolota Surskoj zelenokamianoj struktury (Ukrainskyi shchyty) [Fluid regime of metamorphogenic-hydrothermal gold mineralization of the Surska greenstone structure (Ukrainian Shield)]. *Mineralogical Collection*, 47 (1), 27–44. [in Ukrainian].
9. Pavloun', M. (2000). Teoretychne ta praktychne znachennia fazo- i hazometrychnykh modelei zolotorudnykh rodovyshch (za fluidnymy vkluchenniamy u mineralakh) [Theoretical and applied significance of gold deposits phase- and gas-metric models (according to fluid inclusions in minerals)]. *Mineralogical Collection*, 50 (2), 31–37. [in Ukrainian].
10. Pavlun, M., Haiovskyi, O., & Svaievskyi, T. (2024). Termobarogeokhimiia protsesiv rudoutvorennia na zolotorudnomu rodovyshchi Balka Shyroka (Ukrainskyi shchyty) [Thermobarogeochemistry of ore formation processes at the Balka Shyroka gold ore deposit (Ukrainian Shield)]. *Mineralogical Collection*, 74, 45–55. <https://doi.org/10.30970/min.74.04> [in Ukrainian].
11. Pavlun', M.M. (2003). Fyzyko-khimichni umovy i zonalnist rozvytku molibden-volframovykh ta zolotorudnykh formatsii (za rezultatamy termobarogeokhimichnykh doslidzhen) [*Physical-chemical conditions and zoning of the molybdenum-tungsten and gold-bearing formations development (on the basis of thermobarogeochemical investigations)*]: thesis for doctoral degree of geological sciences. Lviv. [in Ukrainian].
12. Pavlun, M.M. (2015). Pro metamorfohenno-hidrotermalnu pryrodu rodovyshch zolotorudnykh formatsii Ukrainiskoho shchyta [About the metamorphic-hydrothermal nature of gold ore deposit formations of the Ukrainian Shield]. *Mineralogical Journal*, 37 (3), 98–111. Retrieved from: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000536069> [in Ukrainian].
13. Stein, H.G., Markey, R.J., Sundblad, K., Sivoronov, A.A., Bobrov, A.B., Malyuk, B.I., & Pavlun', M.M. (1998). Re-Os ages for molybdenites from the Maiske and Sergeevske gold deposits of Ukraine. *Geophysical Journal*, 20 (4), 114–117.

GEOLOGICAL STRUCTURE AND THERMOBAROGEOCHEMICAL ZONING OF GOLD DEPOSITS OF THE METAMORPHOGENETIC-HYDROTHERMAL CLASS ON THE UKRAINIAN SHIELD

Mykola Pavlun

Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua

The article briefly describes the essence of thermobarogeochemical zoning and the vertical extent of mineralization in gold deposits of different depths on the Ukrainian Shield. The geological structure of the objects in the Precambrian is analysed – in the lower structural floor, where, in particular, metamorphogenetic-hydrothermal gold deposits of great depths are widespread. The corresponding geological situation determined the spatially significant durability of the tectonic elements of the deposits on this floor and a large degree of thermostating with high isothermality of the heated lateral rocks of the entire vertical column. This contributed to the formation of stable mineral associations without noticeable changes in mineral composition. There is almost no vertical zoning of ore bodies within a huge vertical interval. And here thermobarogeochemical zoning comes to the rescue, which can be determined at any ore object.

The article presents specific features of the zonal structure of the Ukrainian Shield gold deposits (Mayske, Balka Shyroka, Balka Zolota, Serhiivske) and thermobarogeochemical zoning. Its significance for the predictive and metallogenic assessment of the distribution of mineralization with depth is characterized.

Key words: gold, metamorphogenetic-hydrothermal deposits, thermobarogeochemical zoning, Precambrian, Ukrainian Shield, Mayske deposit, Balka Shyroka deposit, Balka Zolota deposit, Serhiivske deposit.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

УТВОРЕННЯ ТА МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД УРЗУФСЬКОГО РОЗСИПУ (АЗОВСЬКЕ МОРЕ)

Мирон Ковальчук, Олена Ганжа

*Інститут геологічних наук Національної академії наук України,
вул. Олеса Гончара, 55-б, Київ, Україна, 01601
e-mail: oag2909@gmail.com*

У межах Урзуфського розсипу (Донецька область) відбувається утворення розсипів ільменіту в узбережно-морських умовах та в умовах пляжу на усьому узбережжі Азовського моря між населеними пунктами Урзуф – Бабах-Тарама. Практичний інтерес становлять ільменіт (у кількостях від перших кілограмів до декількох десятків кілограмів на метр кубічний піску) та монацит. Ступінь змінності ільменіту незначний, уміст TiO_2 – 44,79–64,85 %. Монацит належить до церієвого виду (вміст Ce_2O_3 ~20 %). Ла присутній разом із церієм у співвідношенні приблизно 1:2. Утворення розсипів досліджено в натурних умовах під час декількох польових сезонів з відбором проб рудних осадів. Дослідження мінерального складу здійснено з використанням бінокулярного та електронного мікроскопів. На різних ділянках пляжу розсипи вміщують піщано-гравійно-галькові, піщано-детритусові, гравійно-піщані, піщані, піщано-глинисті відклади. Провідна роль в утворенні узбережно-морських розсипів належить уздовжбереговим водним потокам, штормам і нерівностям морського дна, натомість в утворенні розсипів пляжу провідна роль належить уздовжбереговим водним потокам, хвилюванню води, штормам, вітрам. Від пляжу пансіонату Замок у напрямку села Бабах-Тарама значна роль в утворенні розсипів належить абразивним й обвальним процесам, що спричинює зміну рудоносних піщаних відкладів на піщано-глинисті. На цьому відрізку пляжу розсипи утворюють дві смуги латерального збагачення ільменітом пляжу: у хвилеприбійній зоні і біля уступу берега. За результатами досліджень мінерального складу пісків пляжу діагностовано такі мінерали: рутил, ільменіт, кварц, гранат (альмандин), циркон, ставроліт, кордієрит, альбіт, польові шпати, глауконіт, п'ємоніт, мусковіт, апатит, монацит. Аналіз мінерального складу рудовмісних відкладів свідчить про наявність декількох джерел постачання теригенного матеріалу у розсип.

Ключові слова: Азовське море, Урзуф, Бабах-Тарама, розсипи, ільменіт, умови утворення, мінеральний склад.

Вступ. Крупні пляжні розсипи важких мінералів є в США (на півострові Флорида, узбережжі штатів Каліфорнія, Орегон, Аляска), Бразилії, на узбережжях Африки, Індії, Атлантичному узбережжі Європи та ін. [2; 7]. Завдяки значному простяганню, ширині й товщині рудних осадів такі розсипи мають значні запаси важких мінералів. В Україні сучасні пляжні розсипи ільменіту, монациту та інших мінералів утворюються на узбережжі Чорного й Азовського морів. Піски пляжу мають характерне чорне забарвлення (зумовлене присутністю ільменіту, магнетиту) й увійшли в наукову літературу під терміном «чорні піски». Серед сучасних пляжних розсипів узбережжя Азовського моря, окрім ільменітових розсипів, широко поширені розсипи рідкісноземельних і рідкіснометалічних мінералів. На сьогоднішній день відомо 15 розсипів Азовського моря, розташованих у межах Донецької і Запорізької областей України: Ногайський (Шевченківський), Новопетрівський, Обіточний, Бердянський, Ганчжуковський, Урзуфський, Урзуф-Юр'ївський,

Юр'ївський, Білосарайський, Портовий, Маріупольський, Найденівський, Широкинський (Володимирський), Безим'янівський (Оріховський), Буденнівський [1]. Найбільші з них пов'язані з акумулятивними тілами кіс азовського типу (розсипи Білосарайської, Бердянської та Обіточної кіс); інші розсипи та розсипні прояви розташовані в межах дугоподібних абразійних ділянок морського узбережжя.

Незважаючи на значний матеріал щодо наявності розсипів важких мінералів в узбережно-морських осадах північного узбережжя Азовського моря, інтерес до їх дослідження до початку воєнної агресії російської федерації проти України зростає у зв'язку з постійною трансформацією наявних розсипів у плінні часу; утворенням нових розсипів; геоекологічними проблемами чорних пісків; можливістю розробки розсипів супутньо з очищенням і розширенням пляжів.

Мета статті – дослідити механізм розсипоутворення та особливості мінерального складу рудних пісків у межах пляжної зони Азовського моря на ділянці населених пунктів Урзуф та Бабах-Тарама.

Методи досліджень. Фактичним матеріалом були натурні спостереження за утворенням сучасних розсипів у межах пляжної зони між населеними пунктами Урзуф та Бабах-Тарама протягом декількох польових сезонів, а також проби відкладів пляжу.

Натурні спостереження проводилися протягом другої половини липня – першої половини серпня і містили: аналіз зміни конфігурації пляжу за рік і протягом польового сезону; встановлення ділянок найбільш інтенсивного ільменітонагромадження в зоні пляжу; дослідження та опробування ільменітових розсипів; встановлення чинників і характеру трансформації наявних розсипів ільменіту. Підготовку проб для лабораторних досліджень провадили двома методами:

1) пробу розділяли магнітним сепаратором на дві фракції – електромагнітну й неелектромагнітну, після чого вивчали зерна мінералів під бінокуляр та добирали окремі зерна залежно від форми, кольору, прозорості та блиску. Потім їх аналізували за допомогою енергодисперсійного спектрометра на електронному мікроскопі JXA733 (JEOL, Японія). Зважаючи на нерівності поверхні зерен, отримані результати не можна вважати кондиційними, однак з урахуванням достатньої статистичної кількості їх використано для ідентифікації мінералів;

2) другий метод полягав у виготовленні полірованої епоксидної шайби з нерозділеної проби. Полірована поверхня забезпечила виконання кондиційного мікрозондового аналізу, проте була втрачена можливість описати візуальні властивості мінералу. Цей метод найкраще підходив для діагностики й дослідження мінералів, які через малий розмір (~50 мкм і менше) та низький уміст у пробі не вдалося діагностувати (циркон, монацит) першим методом.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Інтерес до чорних пісків (ільменіт-цирконові, ільменіт-циркон-монацитові розсипи) північного узбережжя Азовського моря з'явився з 20-х років минулого століття. Уперше чорні піски північного узбережжя Азовського моря в мінералогічному відношенні описано П. І. Чирвінським у 1925 р. Унаслідок досліджень П. І. Чирвінського (1925), П. Г. Пантелєєва (1935), К. М. Савич-Заблоцького (1937, 1939), А. І. Сулоєва (1938) та ін. до кінця 40-х років минулого століття склалися загальні уявлення про будову, поширеність та мінеральний склад відкладів узбережних пляжів північного узбережжя Азовського моря. У 1938 р. А. І. Сулоєв за результатами дослідження відкладів Білосарайської коси зробив припущення щодо можливості отримання з них ільменітової та цирконової сировини. У 1948 р. Л. І. Карякін опублікував дані щодо мінерального складу пісків узбережжя Азовського моря між косами Бердянська й Обіточна. У 1961 р. Ф. А. Щербаков висвітлив результати дослідження щодо історії

розвитку північного й західного узбережжя Азовського моря у зв'язку з утворенням узбережно-морських розсипів ільменіту. У 1964 р. М. В. Логвиненко, І. М. Ремізов, М. Г. Бергер висвітлили деякі особливості нагромадження сучасних відкладів у межах берегової зони Азовського моря та здійснили теригенно-мінералогічне районування. У 1967 р. Г. К. Єременко, В. В. Борисов, Ю. Ю. Юрк зі співавторами оприлюднили результати дослідження алмазонасності сучасних відкладів північного узбережжя Азовського моря. У 1971 р. О. П. Бобрівич зі співавторами оприлюднив відомості про знахідки піропу в четвертинних відкладах північно-західного Приазов'я. У 1973 р. вийшла друком праця Ю. Ю. Юрка, І. Ф. Кашкарова, Ю. О. Полканова присвячена алмазонасності піщаних відкладів. У 1974 р. вийшла друком колективна монографія (Є. Ф. Шнюков, Г. М. Орловський, В. П. Усенко та ін.) присвячена геології Азовського моря. У 1974 р. Ю. І. Іноземцев висвітлив літолого-мінералогічні особливості узбережно-морських осадів Азовського моря, а в 1975 р. виокремив на основі дослідження цих осадів теригенно-мінералогічні провінції. У 1975 р. Є. Ф. Шнюков і Ю. І. Іноземцев дослідили джерела зносу й абсолютний вік теригенних мінералів сучасних узбережно-морських відкладів Азовського моря. У 1997 р. Є. Ф. Шнюков оприлюднив результати дослідження золотонасності донних осадів Чорного й Азовського морів. У 1998 р. Л. М. Дружинін дослідив шліхо-мінералогічні асоціації сучасних розсипів України. У 2003 р. В. С. Кармаза і Г. Б. Рязанцев дослідили склад «чорних пісків» узбережжя Азовського моря. У 2004 р. К. В. Волкова і Т. П. Волкова дослідили безпеку «чорних пісків» Азовського моря. У 2009 р. Ю. О. Полканов дослідив алмазонасність піщаних відкладів. У 2011 р. Л. М. Даценко і О. В. Непша оприлюднили відомості про акумулятивні утворення північного Приазов'я. У 2012 р. М. С. Ковальчуком представлено результати польових досліджень Урзуфського розсипу та висвітлено механізм їх утворення [2]. У 2013 р. О. В. Непша оприлюднила інформацію про будову кіс Північного Приазов'я [3], а у 2017 р. дослідила надходження теригенного матеріалу внаслідок абразії кліфів та морського дна [4]. У 2014 р. вийшла друком колективна монографічна праця, присвячена геологічній, геоморфологічній будові, геолого-геоморфологічним процесам та геоекологічному стану північно-західного Приазов'я [5]. У 2018 р. С. В. Стефанко сформулював немагнітну і чотири магнітних фракції чорних пісків північного узбережжя Азовського моря. У 2019 р. Є. Ф. Шнюков, В. В. Сковорцов, В. В. Пермяков дослідили морфологічні та геохімічні властивості деяких мінералів темних пісків ільменіт-цирконового розсипу поблизу м. Приморськ північно-західного узбережжя Азовського моря. У 2024 р. В. В. Сковорцов і В. В. Пермяков оприлюднили відомості про морфологічні особливості та хімічний склад оксидів заліза у відкладах пляжу північно-західної частини Азовського моря. Цього ж року О. А. Ганжа зі співавторами представила результати мінералогічних досліджень піщаних відкладів північно-східної ділянки Азовського моря [1]. Так, мінералогію сучасних узбережно-морських відкладів Азовського моря в межах підводної частини зони пляжу тривалий час вивчало багато дослідників, причому як з наукового погляду, так і з прикладною метою. Значний обсяг досліджень був присвячений утворенню розсипів рудних мінералів у зоні пляжу.

Виклад основного матеріалу. Розсипи ільменіту досліджено вздовж пляжу між населеними пунктами Урзуф та Бабах-Тарама (рис. 1).

Довжина пляжу, що досліджувався, становить близько 2,0 км; ширина – 9–46 м. У літологічному відношенні відклади, що вміщують пляжні розсипи, представлені піщано-гравійно-гальковими, піщано-детритусовими, гравійно-піщаними, піщаними, піщано-глинистими утвореннями (рис. 2, а–г). На різних ділянках дослідженого пляжу наявні відповідні літологічні відміни наносів. Загалом жодної закономірності в чергуванні літологічних відмін наносів не спостерігається.



Рис. 1. Район досліджень на космознімку з порталу Google Earth Pro

Чітко виражені розсипи ільменіту, які видно неозброєним оком, утворюються в піщаних відкладах (рис. 3, а). Лише при наближенні до села Бабак-Тарама (у напрямку Урзуф – Бердянськ) в утворенні пляжу значну роль відіграють делювіальні та абразивні утворення, які представлені строкатоколірними суглинками, світло-сірими косо-, хвилясто-, горизонтальношаруватими ільменітвмісними слабозцементованими пісками і пісками з горизонтальними прошарками сірих і темно-сірих алевролітів. З огляду на це, на абразивно-обвальних ділянках пляжу рудоносні відклади представлені піщано-глинистими утвореннями (див. рис. 3, б). Процес утворення розсипів досліджувався на відстані до 60 метрів від берега в бік моря. Утворення розсипів у дослідженій зоні відбувається на дні моря і в пляжній зоні прибою.

Утворенню розсипів на дні моря сприяє рельєф морського дна, де на відстані 58–128 м від урізу води наявний вал, який виражений відмілиною (глибина 1,2–1,8 м) і перед яким нагромаджується певна частина важких мінералів (рис. 4).

За валом у напрямку берега розташоване пониження в морському дні завширшки 18–75 м з глибинами понад 2,0 м, у межах якого важкі мінерали розпорошені в осаді. При наближенні до берега наявна смуга піщаних осадів з галькою і валунами гірських порід. У гальково-піщаному матриксі нагромаджується значна частина важких мінералів.

На відмілині поблизу берега (глибина 0,2–0,5 м) важкі мінерали, які оминули морфологічні перешкоди в морському дні, нагромаджуються на слабонахиленій поверхні на вершині піщаних брижів (рис. 5). У межах пляжу відбувається постійне надходження нового піщаного матеріалу, з якого частина важких мінералів осаджується, а частина разом з піщаним матеріалом зноситься вздовж берега або виноситься на глибину морського басейну.

У хвилеприбійній зоні шириною 9–46 м відбувається нагромадження піщаних наносів збагачених ільменітом та іншими мінералами й природне сортування зерен мінералів за гідралічною крупністю (рис. 6).

На місце вилученої піщаної фракції хвилями привноситься нова, збагачена важкими мінералами порція наносів. Тут відбувається постійна зміна морфології та розміру



a



б



в

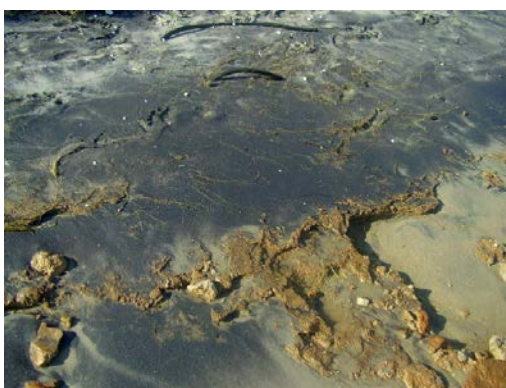


г

Рис. 2. Літологічні різновиди розсиповміщувальних осадів: піщано-гравійно-галькові (*a*), піщано-детритусові (*б*), гравійно-піщані (*в*), піщані (*г*)



a



б

Рис. 3. Плязні розсипи ільменіту в піщаних (*a*) і піщано-глинистих (*б*) відкладах пляжу



Рис. 4. Фрагмент рельєфу морського дна на космознімку з порталу Google Earth Pro



Рис. 5. Нагромадження ільменіту на вершині піщаних брижів

розсипів ільменіту. Наноси, що залишилися на березі, утворюють акумулятивні форми у вигляді нагромаджень пляжу з прошарками важких мінералів, що добре видно за їхнім чорним забарвленням (рис. 7).

В утвореннях пляжу прошарки, які збагачені ільменітом, незважаючи на незначну товщину (1–5 см), залягають рівномірно, їх ширина і довжина співрозмірні з шириною і довжиною вміщувальної акумулятивної форми. Витриманість по ширині й довжині робить розсип сприятливим для розробки.

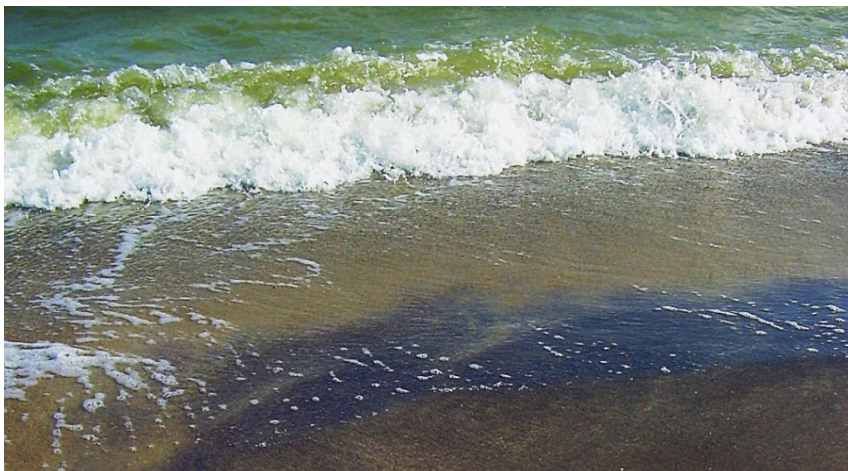


Рис. 6. Нагромадження піщаних наносів, збагачених ільменітом у хвилеприбійній зоні пляжу



Рис. 7. Ільменітовмісні прошарки в піщаних відкладах пляжу

При високому стоянні хвиль або штормах хвилі вдаряються об береговий уступ, утворюючи біля нього розсипи (рис. 8), які при спокійному хвилюванні моря не руйнуються. Така ситуація притаманна на ділянці, де наявний крутий абразивно-обвальний берег. Збільшення глинистості рудоносних відкладів завдяки надходженню берегового матеріалу сприяє затримці ільменіту в осадах.

Трансформація утворених розсипів відбувається завдяки еоловій та антропогенній діяльності. У результаті еолових процесів на поверхні піску в межах пляжу утворюються



Рис. 8. Розсипи ільменіту біля берегового уступу

еолові брижі, на вершині яких нагромаджується ільменіт, скупчення якого видно неозброєним оком (рис. 9).

За ступенем збагаченості ільменітом піски пляжу поділяються на слабозбагачені ($5\text{--}10\text{ кг/м}^3$), помірнозбагачені ($10\text{--}20\text{ кг/м}^3$), сильнозбагачені ($20\text{--}40\text{ кг/м}^3$) та дуже сильно збагачені ($40\text{--}70\text{ кг/м}^3$).

За результатами досліджень мінерального складу пісків пляжу діагностовано такі мінерали: рутил, ільменіт, кварц, гранат (альмандин), циркон, ставроліт, кордієрит, альбіт, польові шпати, глауконіт, п'ємонтит, мусковіт, апатит, монацит. Найпоширенішим мінералом розсипів є кварц. Діагностовано декілька його різновидів: безбарвні прозорі погано обкатані зерна зі скляним блиском ($\sim 50\%$ фракції); прозорі матові погано обкатані зерна з рудими включеннями ($\sim 30\%$); прозорі погано обкатані зерна цитрусового відтінку (до 10%); напівпрозорі зеленуваті обкатані зерна у зростках з польовим шпатом (до 10%); безбарвні прозорі обкатані зерна з включеннями чорних мінералів (до 5%); обкатані й погано обкатані зерна димчастого кварцу (поодинокі знахідки). Значна кількість різновидів кварцу свідчить про наявність декількох джерел постачання розсипу теригенним матеріалом.



Рис. 9. Еолові брижі на поверхні піщаних нагромаджень пляжу

Переважальний розмір піщаної фракції 0,1–0,25 мм. Подеколи пісок вміщує значну кількість (до 30 %) фракції 0,01–0,05 мм.

Альмандин діагностовано у вигляді необкатаних, прозорих зерен з бузковим відтінком розміром до 0,25 мм. Хімічний склад альмандину, за даними мікрозондового аналізу, такий, мас. % : Na_2O – 0,0–0,64; MgO – 3,33–10,12; Al_2O_3 – 18,4–23,03; SiO_2 – 31,75–39,61; P_2O_5 – 0,45–0,95; K_2O – 0,0–0,41; CaO – 0,61–1,83; MnO – 0,29–4,3; Fe_2O_3 – 26,01–37,43.

Глауконіт представлений двома відмінами (рис. 10): близько 60–70 % електромагнітної фракції становлять зелено-чорні (з білими прожилками) непрозорі добре обкатані зерна (рис. 8), близько 10 % – непрозорі зелені обкатані й добре обкатані зерна. Розмір зерен – до 0,5 мм. Хімічний склад глауконіту, за даними мікрозондового аналізу, такий, мас. %: MgO – 3,19–4,68; Al_2O_3 – 6,54–12,49; SiO_2 – 41,86–57,41; P_2O_5 – 0,21–3,72; K_2O – 4,95–8,61; CaO – 0,16–3,84; MnO – 0,0–0,21; Fe_2O_3 – 17,36–28,49.

Польовий шпат представлений здебільшого сіро-жовтими непрозорими слабо обкатаними зернами, розміром до 0,5 мм; іноді трапляються матові, жовтуватого забарвлення обкатані й погано обкатані зерна та непрозорі необкатані зростки кварцу з польовим шпатом; діагностовано одне безбарвне, прозоре видовжено–призматичне зерно польового шпату. Хімічний склад польових шпатів, за даними мікрозондового аналізу, такий, мас. %: Na_2O – 0,0–0,33; MgO – 0,0–0,89; Al_2O_3 – 14,59–22,59; SiO_2 – 50,53–76,24; P_2O_5 – 0,0–0,99; K_2O – 10,76–16,76; CaO – 0,0–0,71; MnO – 0,0–4,14; Fe_2O_3 – 0,14–2,88.

Ільменіт представлений напівобкатаними зернами різної морфології і їх уламками розміром до 0,25 мм. Хімічний склад ільменіту, за даними мікрозондового аналізу, такий,

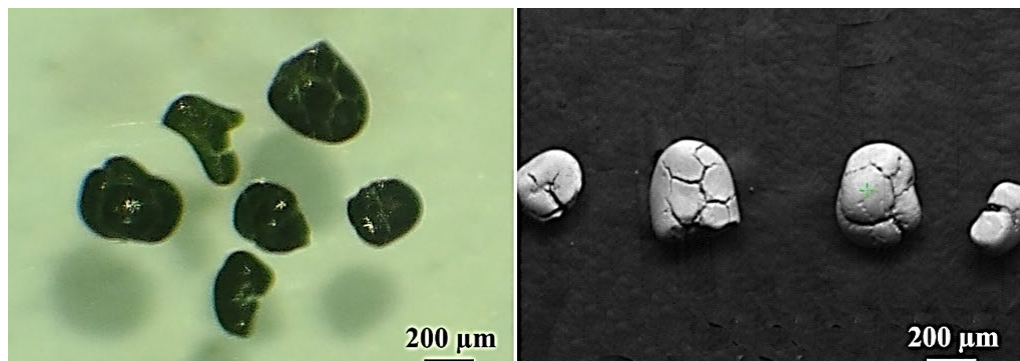


Рис. 10. Морфологія зелено-чорних зерен глауконіту

мас. %: Al_2O_3 – 0,88–1,4; SiO_2 – 0,91–1,73; P_2O_5 – 0,31–1,05; CaO – 0,0–0,26; K_2O – 0,0–0,08; MnO – 0,0–1,4; TiO_2 – 44,79–64,85; Fe_2O_3 – 14,36–33,11.

Рутил представлений поодинокими обкатаними зернами темно-, світлокоричневого забарвлення розміром до 0,2 мм. Хімічний склад рутилу, за даними мікрозондового аналізу, такий, мас. %: MgO – 0,0–0,53; Al_2O_3 – 0,36–2,19; SiO_2 – 0,94–1,83; P_2O_5 – 0,12–0,91; K_2O – 0,0–0,02; CaO – 0,15–0,4; TiO_2 – 84,67–94,5; Fe_2O_3 – 0,86–2,41.

Циркон представлений короткопризматичними зернами та їх уламками розміром до 0,15 мм. Хімічний склад циркону, за даними мікрозондового аналізу, такий, мас. %: SiO_2 – 35,89; Al_2O_3 – 3,74; ZrO_2 – 60,16; Fe_2O_3 – 0,14.

Співвідношення між ільменітом, рутилом і цирконом у важкій фракції 5:2,5:05.

Зважаючи на угоду між Україною і США про спільний видобуток корисних копалин, окрім ільменіту, на увагу заслуговує наявність у досліджених розсипах монациту, який за даними мікрозондового хімічного аналізу має такий склад, мас. %: P_2O_5 – 20,72; Ce_2O_3 – 19,97; La_2O_3 – 9,63; Th_2O_3 – 9,23; Nd_2O_3 – 5,99; Sm_2O_3 – 2,31; UO_2 – 1,63; CaO – 1,26; Y_2O_3 – 0,78; Fe_2O_3 – 0,59.

Висновки. На сучасному етапі відбувається утворення розсипів ільменіту в узбережно-морських умовах та в умовах пляжу на всьому узбережжі селища Урзуф (від центрального пляжу) у напрямку населеного пункту Бабах-Тарама. Розсипи характеризуються наявністю ільменіту в кількостях від перших кілограмів до декількох десятків кілограмів на метр кубічний піску. Уміст TiO_2 в ільменіті – 44,79–64,85 %. Окрім ільменіту, практичний інтерес має наявність у розсипах монациту. Монацит належить до церієвого виду (вміст Ce_2O_3 ~20 %). Ла присутній разом із церієм у співвідношенні приблизно 1:2. Мінеральний склад розсиповмісних відкладів свідчить про наявність декількох джерел постачання теригенного матеріалу. Серед дослідників узбережно-морських розсипів північного узбережжя Азовського моря є декілька думок щодо постачання розсипів рудними мінералами. По-перше, це породи основного й кислого (гранітоїди) складу Приазов'я. Унаслідок вивітрювання і розмиву цих порід флювіальними потоками, мінерали транспортувалися річками до акваторії моря. У межах досліджуваної нами території в Азовське море впадає річка Зелена. Дослідження алювію пригирлової частини річки і незначної за розміром її дельти показало низький ступінь збагачення теригенних утворень ільменітом. Отже, річка Зелена не може бути постачальником рудних мінералів в узбережно-морські відклади. Водночас дельтові нагромадження слугують механічним бар'єром для нагромадження теригенного матеріалу збагаченого ільменітом, який переноситься вздовжбереговими течіями. Інша точка зору – це абразія порід узбережжя та розмив давніх розсипів. Така думка є більш прийнятною в нашому випадку, оскільки породи берегу на значній території

представлені косошаруватими сірими пісками, у яких шаруватість підкреслюється скупченнями ільменіту.

Провідна роль в утворенні узбережно-морських розсипів ільменіту належить уздовжбереговим водним потокам, штормам і нерівностям морського дна. В утворенні розсипів в умовах пляжу провідна роль належить уздовжбереговим водним потокам, хвилюванням води, штормам, вітрам. Розсипи утворюються в межах хвилеприбіної зони пляжу і біля уступу берега. У хвилеприбінійній зоні пляжу відбувається постійна зміна морфології, товщини ільменітовмісних пісків та ступеню збагаченості їх рудними мінералами. Після штормів відбувається зміна конфігурації, будови пляжу, а також міграція багатих розсипів ільменіту в напрямку центрального пляжу с. Урзуф – с. Бабах-Тарама. У цьому ж напрямку відбувається і зміна речовинного складу відкладів, що вміщують розсипи, зокрема збільшується їх глинистість. Від пляжу пансіонату Замок у напрямку населеного пункту Бабах-Тарама значна роль в утворенні розсипів належить абразивним й обвальним процесам, що спричинює зміну рудоносних піщаних відкладів на піщано-глинисті. На цьому відрізку пляжу розсипи утворюються у хвилеприбінійній зоні й біля уступу берега.

Отримані результати дають уявлення про механізм утворення сучасних узбережно-морських і пляжних розсипів та їх мінеральний склад у межах Урзуфського розсипу на ділянці центральний пляж с. Урзуф – с. Бабах-Тарама та можуть бути використані для дослідження інших розсипів у межах української частини Азовського моря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ганжа О., Ковальчук М., Бельський В. Мінералогія піщаних відкладів північно-східної ділянки Азовського моря. *Стан, проблеми і перспективи розвитку мінералогічної науки та освіти в Україні* : Матеріали Тринадцятих наукових читань імені академіка Євгена Лазаренка. Відп. ред. М. Павлуць. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2024. С. 43–47.
2. Ковальчук М. С. Пляжні розсипи ільменіту на узбережжі Азовського моря (с. Урзуф). *Зб. наук. праць Ін-ту геол. наук НАН України*, 5, 2012. С. 209–212.
3. Непша О. В. Про будову кіс Північного Приазов'я. *Геол. журн.* №3, 2013. С. 44–50.
4. Непша О. В. Надходження теригенного матеріалу внаслідок абразії кліфів та морського дна як фактор стабільності акумулятивних утворень Північного Приазов'я. *Геол.-мінерал. вісн. Криворізького нац. ун-ту*, 3 (37), 2017. С. 32–41.
5. Північно-Західне Приазов'я: геологія, геоморфологія, геологогеоморфологічні процеси, геоecологічний стан : монографія / Л. М. Даченко та ін. Мелітополь : Вид. Мелітопольського державного педагогічного університету, 2014. 308 с.
6. Савич-Заблюцький К. Н. Ільменітові піски з північного узбережжя Азовського моря. *Учені записки Харківського державного університету*. Кн. 10, 1937. С. 173–181.
7. Perks C., Mudd G. Titanium, zirconium resources and production: A state of the art literature review. *Ore Geology Reviews*, 107, 2019. P. 629–646. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.025>

REFERENCES

1. Ganzha, O., Kovalchuk, M., Belsky, V. (2024). Mineralohiya pishchanykh vidkladiv pivnichno-skhidnoyi dilyanky Azovskoho morya [Mineralogy of sand deposits of the northeastern part of the Azov Sea]. *Stan, problemy i perspektivy rozvytku mineralohichnoyi nauky ta osvity v Ukraini : Materialy Trynadtsyatykh naukovykh chytan' imeni akademika Yevhena Lazarenka – State, problems and prospects for the development of mineralogical science and education in Ukraine: Materials of the 13th Scientific Readings named after Academician Yevgeny Lazarenko*. Editor-in-chief M. Pavlun. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 43–47 [in Ukrainian].
2. Kovalchuk, M.S. (2012). Plyazhni rozsyipy il'menitu na uzberezhzhzi Azovskoho morya (s. Urzuf) [Ilmenite beach placers on the coast of the Azov Sea (Urzuf village)]. *Zbirnyk naukovykh prats' Institutu heolohichnykh nauk NAN Ukrainy – Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine*, Vol. 5. 209–212 [in Ukrainian].

3. Nepsha, O.V. (2013). Pro budovu kis Pivnichnoho Pryazov'ya [On the structure of the ridges of the Northern Azov region]. *Heol. Zhurn – Geological Journal*. No. 3. 44–50 [in Ukrainian].
4. Nepsha, O.V. (2017). Nadkhodzhennya teryhennoho materialu vnaslidok abraziyi klifiv ta mors'koho dna yak faktor stabil'nosti akumulatyvnykh utvoren' Pivnichnoho Pryazov'ya [The arrival of terrigenous material due to the abrasion of cliffs and the seabed as a factor in the stability of accumulative formations of the Northern Azov Sea.]. *Heol.-mineral. visn. Kryvoriz'koho nats. un-tu – Geol.-Mineral. Bulletin of the Krivoy Rog National University*, Vol. 3(37). 32–41 [in Ukrainian].
5. Datsenko, L.M., Molodychenko, V.V., Nepsha, O.V. et al. (2014). Pivnichno-Zakhidne Pryazov'ya: heolohiya, heomorfolohiya, heoloho heomorfolohichni protsesy, heoekolohichnyy stan [Northwestern Azov Sea: geology, geomorphology, geological and geomorphological processes, geoecological state]. *Melitopol': Vyd. Melitopol's'koho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu – Melitopol: Publishing House of Melitopol State Pedagogical University* [in Ukrainian].
6. Savych–Zablotsky, K.N. (1937). Il'menitovi pisky z pivnichnoho uzberezhzhya Azov's'koho morya [Ilmenite sands from the northern coast of the Azov Sea]. *Ucheni zapysky Kharkivs'koho derzhavnoho universytetu – Academic notes of Kharkiv State University*. 10. 173–181 [in Ukrainian].
7. Perks, C., Mudd, G. (2019). Titanium, zirconium resources and production: A state of the art literature review. *Ore Geology Reviews*, 107, P. 629–646. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.025> [in English].

FORMATION AND MINERAL COMPOSITION OF THE URZUF PLACER (AZOV SEA)

Myron Kovalchuk, Olena Ganzha

Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine,

O. Gonchar Str., 55-b, Kyiv, Ukraine, 01601

e-mail: oag2909@gmail.com

Within the Urzuf alluvial deposit (Donetsk Oblast), ilmenite placers are formed in coastal-marine conditions and on the beach along the entire Azov Sea coast between the settlements of Urzuf and Babakh Tarama. Of practical interest are presented of ilmenite (in quantities ranging from a few kilograms to several tens of kilograms per cubic meter of sand) and monazite. The degree of alteration of ilmenite is insignificant, the content of TiO_2 – 44,79–64,85 %. Monazite belongs to the cerium species (the content of Ce_2O_3 ~20 %). La is presented together with cerium in a ratio of about 1:2. The placers formation was studied during several field seasons with sampling of ore sediments. The mineral composition was studied using binocular and electron microscopes. In different parts of the beach, the placers contain sand-gravel-pebble, sand-detritus, gravel-sand, sand, and sandy-clay deposits. The leading role in the formation of coastal-marine placers belongs to coastal water flows, storms and seabed irregularities, while the main role in the formation of beach placers belongs to coastal water flows, water waves, storms, and winds. From the beach of the Zamok boarding house towards the village of Babakh-Tarama, abrasive and landslide processes play a significant role in the formation of placers, which causes the change of ore-bearing sandy deposits to sandy clay deposits. On this section of the beach, placers form two bands of lateral enrichment of the beach with ilmenite: in the wave surf zone and near the shoreline. Based on the results of the mineral composition of the beach sands, the following minerals were diagnosed: rutile, ilmenite, quartz, garnet (almandine), zircon, staurolite, cordierite, albite, feldspar, glauconite, pyemomite, muscovite, apatite, and monazite. The analysis of the mineral composition of ore-bearing sediments indicates the presence of several sources of terrigenous material supply to the placer.

Key words: Azov Sea, Urzuf, Babakh Tarama, placers, ilmenite, conditions of formation, mineral composition.

Дата надходження статті: 20.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

МАТЕРІАЛИ ДО ПЕТРОГРАФО-ПЕТРОХІМІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВУЛКАНОМІКТОВИХ УТВОРЕНЬ ЗОРЯНСЬКОЇ ТОВЩІ ТРАПОВОЇ ФОРМАЦІЇ ЗАХІДНОЇ ВОЛИНИ

Наталія Бацевич, Ігор Наумко

*Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, вул. Наукова, 3-а,
Львів, Україна, 79060
e-mail: natalja_bats@ukr.net, naumko@ukr.net*

Наведено результати комплексних досліджень повних розрізів зорянської вулканоміктової товщі (зорянських верств) (V_{1zr}) трапової формації Західної Волині зі значною перевагою експлозивного матеріалу щодо вивчення просторового поширення й мінерального складу, виявлення петрографічних і петрохімічних особливостей та практичного значення туфів. Проаналізовано товщину і палеорельєф за даними свердловин, які розкрили утворення зорянської товщі в місцях її найбільшого поширення, та визначено важливі структурні особливості як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках. Для наочності побудовано карти, що відображають товщину і рельєф палеоповерхні пірокластичних порід, зокрема в районі населених пунктів Ратне і Камінь-Каширський. У результаті петрографічного вивчення розрізу відкладів зорянської товщі є підстави вважати, що вони формувалися в режимі гравітаційного осадження пірокластичного матеріалу з нагромадженням туфових відкладів на стадії неповного застигання вулканічного матеріалу й формування грубої, неритмічної шаруватості. Чітких ознак перевідкладення, тобто вулканоміктового походження, для туфів зорянської товщі в межах регіону (подібно до туфів бабинської світи) не виявлено. Ці міркування підтверджуються опосередкованими фактами, насамперед такими, як рельєф поверхонь, на яких залягають туфи відповідних стратиграфічних підрозділів, на якому не фіксуються ознаки інтенсивного розмиву, різкі форми тощо. Але це не виключало сповзання нагромаджених товщ пологими схилами на відносно невеликі віддалі. За петрохімічними параметрами виявлено належність туфів зорянської товщі до низько-помірноглиноземистих, калієво-натрієвих, мезо-меланократових відмін. Уміст міді в туфах характеризується відносно невисокими значеннями, що може вказувати на невизначені перспективи зорянської товщі щодо мідного зрудіння і потребує подальших цілеспрямованих досліджень.

Ключові слова: зорянська товща, пірокластичний матеріал, туфи, трапова формація, Західна Волинь.

Вступ. Пірокластичні породи в південно-західній частині Східно-Європейської платформи відзначені серед відкладів поліської і волинської серій верхнього протерозою (відповідно, рифею та едіакарію) та генетично пов'язані з платобазальтами трапової формації. У межах Західної Волині (Україна) відклади трапової формації (базальти з прошарками пірокластичного матеріалу (туфи, туфіти, туфо-брекчії, пізоліти) перспективні на виявлення промислових запасів самородної міді і супутніх металів. Саме тому в останні десятиріччя зріс інтерес до вивчення цих верств.

З іншого боку, пірокластичні породи серед вулканітів взагалі завжди відіграють роль своєрідних реперів, які символізують певні етапи формування та становлення вулканічних товщ і формацій загалом. Аналогічного значення набувають ці утворення і для трапової формації Західної Волині.

Загалом пірокластичні породи є важливим компонентом мінеральних комплексів України [15], причому продукти експлозивної вулканічної діяльності посідають провідне місце і в траповій формації Західної Волині [6]. Зокрема, осадово-вулканогенна волинська серія [7] містить базальти, що трапляються в асоціації з туфами, туфітами і туфобрекчіями, які сформувалися внаслідок інтенсифікації вулканогенної експлозивно-ефузивної діяльності на ранньоедіакарському етапі розвитку континентального рифтового вулканізму. Це в хронологічному діапазоні виокремлює досліджені трапи південно-західної частини Східно-Європейської платформи від регіонів з найбільшими виверженнями, що відбулися протягом тріасового-юрського періодів і пізньої крейди – раннього палеогену [20].

Постановка проблеми. Поширеність та унікальний склад вулканоміктових утворень стали підставою для системного вивчення туфів як їх ключового компонента, що набуває як генетичного, так і практичного значення. Актуальність таких досліджень лише зростатиме, враховуючи збільшення попиту на мідь – критичну й стратегічну сировину, основні родовища якої в Україні переважно пов'язують із перспективними міденосними відкладами трапової формації едіакарію Західної Волині.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші відомості про результати комплексних досліджень власне повних розрізів зорянської товщі (від підшоши до покрівлі), у яких фіксується значна перевага експлозивного матеріалу, наведено в [1–3]. Загалом, стан вивченості вулканоміктових утворень у межах трапової формації Західної Волині нами скрупульозно обговорено у праці з досліджень пірокластичного матеріалу бабинської світи [4]. Виконаний у ній детальний аналіз матеріалів попередників щодо геологічних, структурно-текстурних, речовинних властивостей ефузивно-пірокластичного матеріалу Західної Волині ґрунтується на численних відомих опублікованих роботах регіонального плану – первинних джерелах важливої інформації з означеної проблеми [15; 6; 8; 13; 16; 14 та ін.], з якими зацікавлені читачі можуть познайомитися і за потреби опрацювати.

Мета статті – дослідити мінеральний склад та визначити петрографічні й петрохімічні особливості туфів зорянської вулканоміктової товщі (зорянських верств) (V_z) трапової формації Західної Волині в контексті оцінки перспектив їх міденосності, отримати нові дані щодо особливостей формування самородномідних руд і розподілу відповідної мінералізації в цих туфах.

Методика досліджень. Польові геологічні дослідження передбачали опис штуфів і керна, відбір проб для аналітичних визначень. Для вивчення і складання типового розрізу зорянської товщі використали керновий матеріал зі св. 8282.

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

Геохімічні дослідження містили визначення вмісту основних хімічних компонентів порід методом валового хімічного аналізу та вмісту міді – методом атомно-абсорбційного аналізу (хімічна лабораторія відділу геохімії осадових товщ нафтогазоносних провінцій ІГГГК НАН України, аналітики Л. К. Білик, В. Л. Крижевич).

Виклад та обговорення основного матеріалу. Геолого-структурні дослідження. Однією з характерних особливостей пірокластичних відкладів у межах трапової формації є їх перемежування між собою та з базальтовими покривами. Так, на заболотівській базальтовій світі розташована туфова товща бабинської світи, яку перекриває лучичівська світа, що переважно містить базальти. Далі в межах ратненської світи на лучичівську світу накладаються вулканоміктові зорянські верстви, а їх, своєю чергою, перекривають якушівські верстви, сформовані численними потоками базальтів з прошарками туфів [9].

Зазначимо, що перешарування вулканічних і вулканоміктових порід повсюдно характерно для трапових провінцій світу [8; 17–19; 22; 23]. Це свідчить про те, що

кожному траповому виливу лави передував викид пірокластичного матеріалу, пізолітів [4; 14], що призвело до утворення горизонтів туфів під кожним шаром лавових утворень.

Об'єкт досліджень – зорянська вулканоміктова товща (зорянські верстви) (V_{1zr}) – виділяється серед стратифікованих одиниць волинської серії трапової формації Західної Волині (Україна) [12] нашаруваннями різноманітних вулканоміктових теригенних порід основного складу: червоних вулканоміктових алевролітів, пісковиків, туфів та різнобарвних конгломератів. Зорянська товща узгоджено, місцями з розмивом, залягає на лучичівській світі та без перерв перекривається якушівською товщею. Її відклади виходять на денну поверхню безпосередньо на північ та північний захід від м. Камінь-Каширський.

Зорянська товща за своїм складом різко відрізняється від вулканогенних утворень суміжних стратонів волинської серії, будучи у Волино-Поліському прогині надійним стратиграфічним репером.

Нами проведено аналіз товщин і гіпсометрії рельєфу палеоповерхні в розрізах численних свердловин, які розкрили утворення зорянської товщі в межах Ратненсько – Камінь-Каширської площі, де зорянська товща має найзначніше поширення (подібно до базальтів лучичівської світи [21] та вулканоміктових утворень бабинської світи [4]). Для цього застосували метод інтерполяції для всіх свердловин, пробурених нині в межах площі.

Для розподілу товщин характерна відсутність градієнтних змін, що зумовлює їх поступовість за латераллю (рис. 1–2).

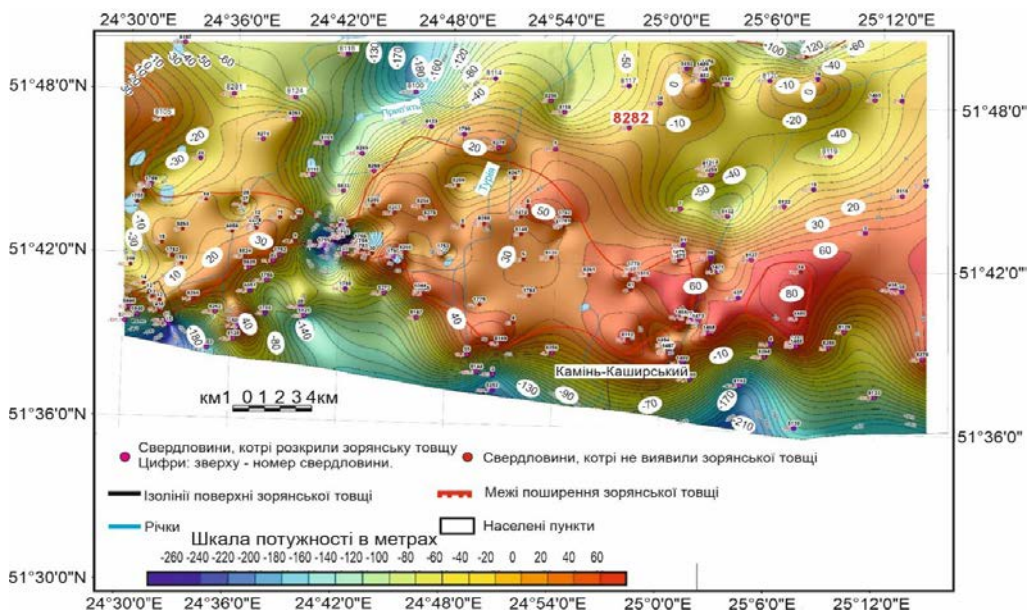


Рис. 1. Карта рельєфу палеоповерхні пірокластичних утворень зорянської товщі в межах Ратне – Камінь-Каширської площі. Масштаб 1 : 100 000. Склад І. В. Рєпин за безпосередньої участі Н. В. Бацевич

Максимальні значення товщини інколи просторово приурочені до занурених частин рельєфу підстильної лучичівської світи. Незначна зміна товщини не дає підстав говорити про відсутність чи наявність кореляції в межах площі стосовно особливостей рельєфу поверхні лучичівської світи.

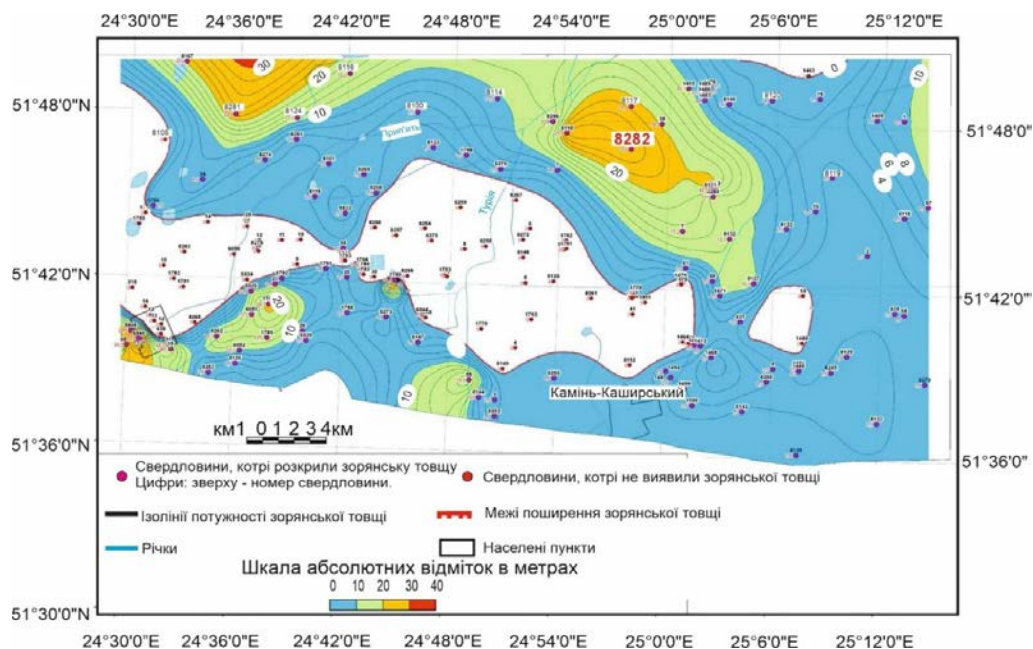


Рис. 2. Карта товщини пірокластичних утворень зорянської товщі в межах Ратне – Камінь-Каширської площі. Масштаб 1 : 100 000. Склад І. В. Рєпин за безпосередньої участі Н. В. Бацевич

Повні розкриті товщини зорянської товщі варіюють в межах 0,5–33,3 м.

Петрографічні дослідження. Згідно з нашими макроскопічними дослідженнями керну за розрізом свердловини 8282 – це переважно породи сіро-зеленого кольору, проте трапляються відміни бурого та перешарованого сіро-зеленого й бурого (рис. 3).

Структурно-текстурні, речовинні та деякі інші особливості туфів зорянської товщі наведено на (рис. 4–7).

Вулканоміктових відмін, які б утворилися шляхом механічного руйнування і перевідкладення різних вулканогенних утворень з наступною цементацією матеріалом змішаного (вулканогенно-осадового) складу, не виявлено. Туфи переважно алевро-псамітові, присутні також псефітові відміни. Туфовий складник за структурними особливостями належить до літо-вітрокластичної відміни, інколи з домішкою кристалокластики.

Поділ туфової товщі на ритми проводили за принципом, застосованим при вивченні бабинської світи [4]. У результаті було виділено два ритми (від підшови до покрівлі): перший на глибині 178–169,4 м (товщина 8,6 м), другий на глибині 169,4–157,0 м (товщина 12,4 м).

Перший ритм відрізняється від другого присутністю більш крупноуламкових (псефітових) відмін, за кольором туфи переважно бурі, трапляється шаруватість, плитчаста окремість. Шаруватість виявляється завдяки прошкам крупноуламкових туфів бурого кольору на фоні сіро-зелених, дрібноуламкових. За своїми особливостями вони належать до літо-вітрокластичних, псефіто-псаміто-алевритових, несортованих спечених туфів основного складу. Уламки зазнали вторинних перетворень різною мірою. Серед них

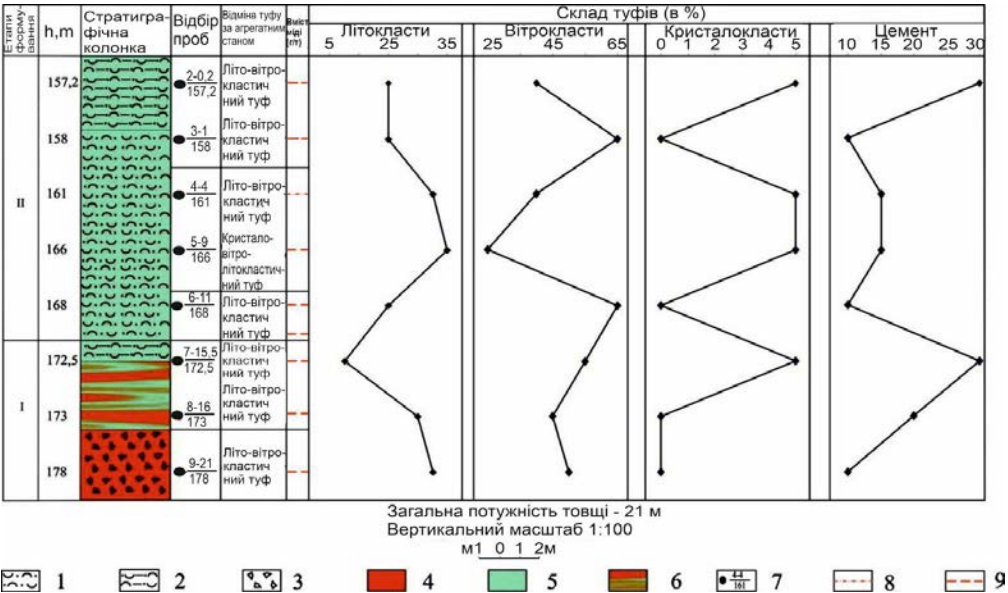


Рис. 3. Речовинні, структурно-текстурні особливості туфів зорянської товщі за розрізом свердловини 8282

Умовні позначення: відміни туфів (св. 8282): 1 – псамітові, 2 – алевритові, 3 – жорства; забарвлення туфів: 4 – буре, 5 – сіро-зелене, 6 – перешарування бурих та сіро-зелених туфів; 7 – точка відбору проби (4 – номер взірця; 4 – відстань від покрівлі туфового утворення; 161 – глибина); вміст міди (г/т): 8 – менше 120, 9 – 120–500; h, м – глибина відбору проби

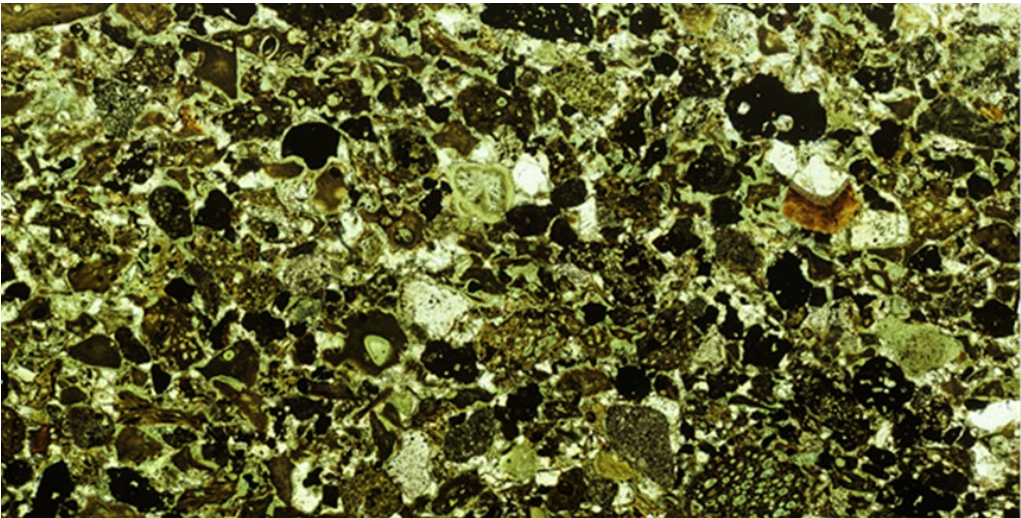


Рис. 4. Псамітовий літо-вітрокластичний туф. Ніколи ||. Ширина поля зору – 10 мм. Зорянська товща. Св. 8282. Шліф 8282/3. Глибина відбору – 158 м.

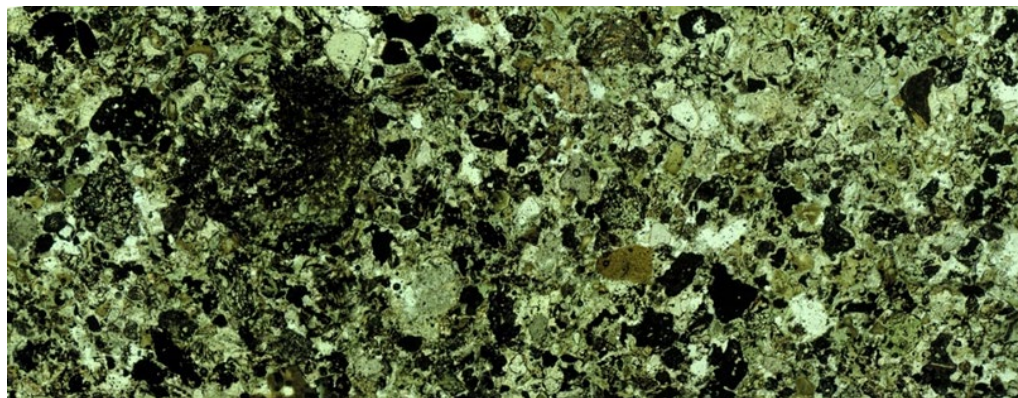


Рис. 5. Псамітовий кристало-вітро-літокластичний туф. Ніколі ||. Ширина поля зору – 12 мм. Зорянська товща. Св. 8282. Шліф 8282/5. Глибина відбору – 166 м.

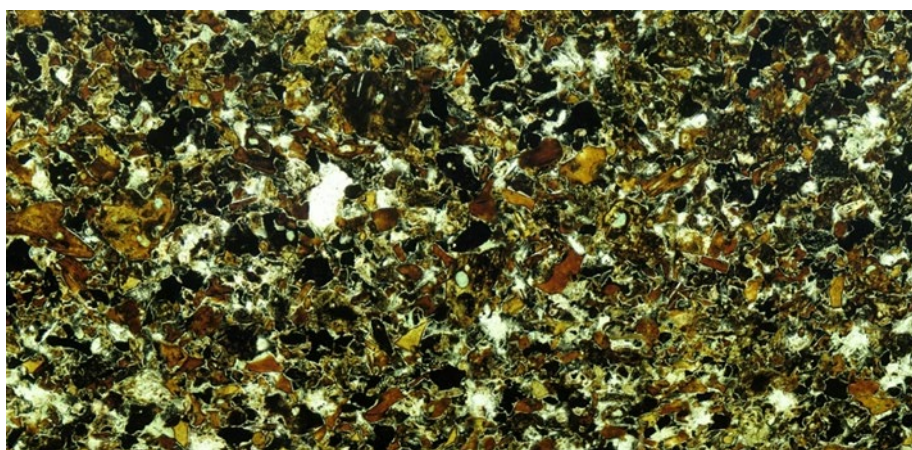


Рис. 6. Псаміто-алевритовий літо-вітрокластичний туф. Ніколі ||. Ширина поля зору – 4 м. Зорянська товща. Св. 8282. Шліф 8282/6. Глибина відбору – 168 м.

трапляється змінене вулканічне скло й базальти. Форма еліпсоподібна, розмір переважальної частини уламків 0,01–0,5 мм. Уламки орієнтовані за нашаруванням.

У другому ритмі товщиною 12,4 м за структурними особливостями переважає алевро-псамітова відміна. Псамітову частину становлять базальт та вулканічне скло. Базальти афірові, інтерсертальні, трапляються дуже змінені, хлоритизовані, гематитизовані. Форма витягнута та округла. Наявні газові порожнини орієнтовані так само, як уламки, що може свідчити про первинну природу туфових утворень. Порожнини виповнені хлоритовим, цеолітовим і халцедоновим агрегатами. Інколи спостерігаються ознаки спікання у вигляді нечітких границь. Вулканічне скло палагонізоване, різної форми: сплющене, краплеподібне. Водночас зазначається наявність ксеногенного матеріалу, зокрема кварцу округло-ізометричної форми (розмір 0,01–0,2 мм).

У результаті петрографічного вивчення розрізу відкладів зорянської товщі є підстави вважати, що вони формувалися в режимі гравітаційного осадження пірокластичного

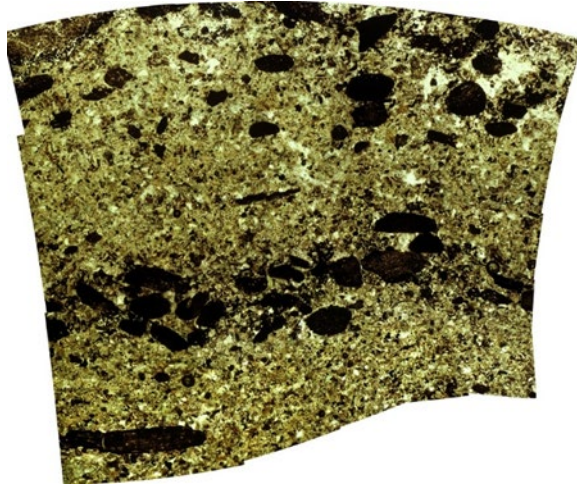


Рис. 7. Псефіто-псаміто-алевритовий літо-вітрокластичний спечений туф із шаруватою текстурою. Ніколі ||. Ширина поля зору – 8 мм. Зорянська товща. Св. 8282. Шліф 8282/8. Глибина відбору – 173 м.

матеріалу з нагромадженням туфових відкладів на стадії неповного застигання вулканічного матеріалу і формування грубої, неритмічної шаруватості. Чітких ознак перевідкладення, тобто вулканоміктового походження, для туфів зорянської товщі не виявлено. Присутність алевро-пелітового ксеногенного матеріалу не дає підстав уважати утворення туфових товщ вулканоміктовими. Про це свідчить також низка інших даних: ознаки спеченості, відсутність обкатаності, поступові переходи між туфами різної розмірності, просторовий розподіл туфових утворень за розмірністю уламків та їх співвідношенням у розрізі.

Ці міркування підтверджуються опосередкованими фактами, насамперед такими, як рельєф поверхонь, на яких залягають туфи відповідних стратиграфічних підрозділів, на якому не фіксуються ознаки інтенсивного розмиву, різкі форми тощо. Але це не виключає сповзання нагромаджених товщ пологими схилами на відносно невеликій віддалі.

Петрохімічні дослідження. На основі представницьких хімічних аналізів туфів зорянської товщі (св. 8282) (табл. 1) і проведених петрохімічних перерахунків за [5] побудовано гістограми розподілу вмістів петрогенних оксидів, міді, нікелю і цинку та зображено основні петрохімічні параметри вулканоміктової зорянської товщі (рис. 8).

Майже для всіх петрогенних оксидів досліджуваних порід характерний стрибкоподібний розподіл умістів. Уміст міді коливається від 100 до 280 г/т, це відносно низький вміст порівняно з можливими концентраціями 4800 г/т, як у туфовій товщі бабинської світи [4].

За коефіцієнтом глиноземистості ($al' = Al_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO + MgO)$), який добре корелює з відносною кількістю кольорових і лейкократових мінералів у гірських породах, усі досліджувані проби віднесено до двох відмін: низькоглиноземистих ($al' < 0,75$) та помірноглиноземистих ($al' = 0,75-1$) зі зміною значень від 0,62 до 0,90 мас. % (рис. 9).

За співвідношенням лугів $Na_2O/K_2O - 1,24-3,30$ мас. % туфова товща вкладається в показники калієво-натрієвої серії (рис. 10).

За коефіцієнтом фемічності ($f' = FeO + Fe_2O_3 + MgO + TiO_2$), що відображає в породах загальну кількість фемічних оксидів – 17,26–22,82 мас. %, вона відповідає мезо-меланократовим відмінам (рис. 11).

Таблиця 1

Хімічний склад та петрохімічні параметри туфів зорянської товщі, св. 8282
(розріз максимальної товщини – 9,0 м)

№ проби	Глибина відбору, м	вміст оксидів в мас. %												Cu, г/т	Ni, г/т	Zn, г/т	all	Na2O/K2O	f	К.ф	Fm		
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O									вип	Сума
2	157,2	52,71	1,47	11,88	10,64	2,25	4,62	5,73	0,23	0,97	3,2	0,24	1,15	4,9	99,99	280	140	290	0,64	3,30	20,09	69,23	55,51
3	158	49,26	1,47	13,14	8,76	3,23	2,37	9,36	0,23	1,1	3	0,17	1,88	6,22	100,19	260	130	280	0,62	2,73	22,82	56,16	61,12
4	161	47,52	1,75	15,1	11,67	0,88	1,94	4,99	0,08	1,66	5,23	0,22	3,33	5,73	100,1	100	80	140	0,86	3,15	19,29	71,55	61,47
5	166	49,62	1,75	15,05	9,75	1,47	1,12	7,66	0,21	2,12	3,46	0,2	2,34	5,46	100,21	190	100	190	0,80	1,63	20,63	59,43	57,70
6	168	47,65	1,74	14,31	9,01	2,23	1,33	8,41	0,19	1,58	4,6	0,18	2,19	6,62	100,04	200	110	240	0,73	2,91	21,39	57,20	60,15
7	172,5	48,63	1,56	14,09	8,3	3,35	2,25	8,91	0,26	1,84	2,33	0,19	2,56	5,83	100,1	260	130	190	0,69	1,27	22,12	56,66	59,35
8	173	57,03	1,34	11,97	8,57	2,65	0,84	7,02	0,2	1,8	2,23	0,28	1,38	4,81	100,12	230	130	130	0,66	1,24	19,58	61,51	47,01
9	178	52,32	1,61	14,08	9,22	0,94	1,8	5,49	0,13	1,73	2,57	0,21	5,36	4,69	100,15	130	90	180	0,90	1,49	17,26	64,92	47,53

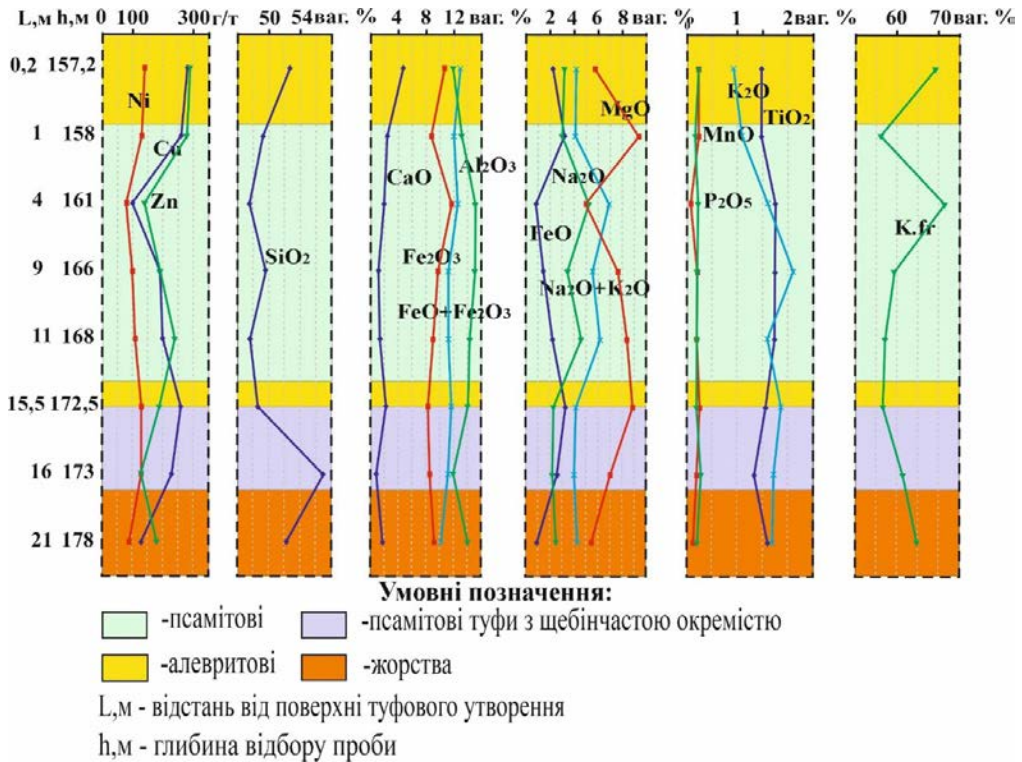


Рис. 8. Варіації вмістів з глибиною міді, нікелю, цинку, головних петрогенних компонентів, основних петрохімічних параметрів вулканоміктової зорянської товщі за розрізом св. 8282 (розріз максимальної товщини)

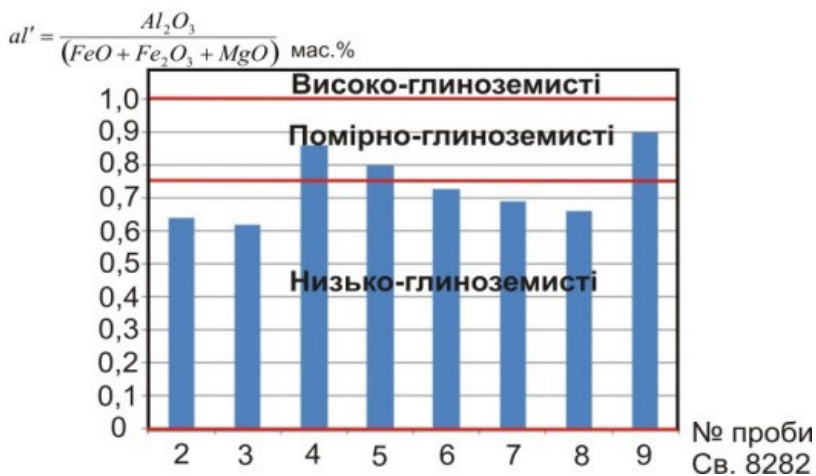


Рис. 9. Відміни туфів зорянської товщі трапової формації Західної Волині за петрохімічним показником глиноземистості (al') (свердловина 8282, глибина відбору проб – 157,2–178 м)



Рис. 10. Відміни туфів зорянської товщі трапової формації Західної Волині за петрохімічним показником $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (свердловина 8282, глибина відбору проб – 157,2–178 м)

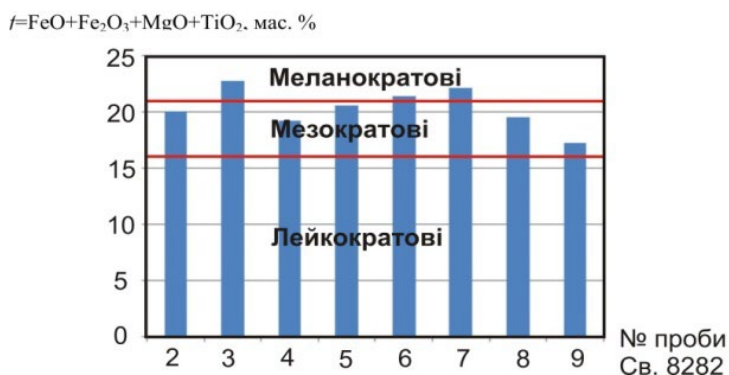


Рис. 11. Відміни туфів зорянської товщі трапової формації Західної Волині за петрохімічним показником фермічності (f) (свердловина 8282, глибина відбору проб – 157,2–178 м)

Магнезійність (Fm) ($Fm = 100 \times (\text{MgO} + \text{Fe} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2$, мас. %) – 47,01–61,47 мас. % (рис. 12).

Коефіцієнт фракціонування для встановлення ступеня диференціації основних порід (К.ф.) ($\text{К.ф.} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) \times 100 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$, мас. %) – 56,16–71,55 мас. % (див. рис. 8). Загалом коефіцієнт фракціонування для всіх світ і товщ становить 55–85 мас. %. На підставі аналізу цих даних можна дійти висновку, що трапова формація приблизно однаково значною мірою зазнала фракціонування у напрямку від вапняково-лужних до толейтових відмін.

Оцінювання прикладного значення. Незаперечною є висока практична значущість цеоліт-сметитових туфів Західної Волині [8]: для сільського господарства – це мінеральні добрива, стабілізатор рослинного живлення, для зберігання насіння; для будівельної індустрії – виготовлення цегли, черепиці, керамічної плитки, цементу, керамзиту, як пігменти для фарб та кольорових бетонів; у природоохоронних заходах – меліорація радіоактивно-забруднених ґрунтів та очистка стічних вод від NH_4 ; як в'язучий матеріал – для окатування руд і добрив. Розмаїті типи корисних копалин, приурочених до трапів, просторово

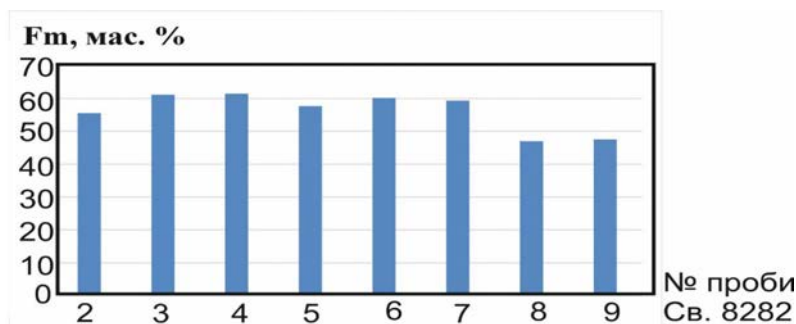


Рис. 12. Відміни туфів зорянської товщі трапової формації Західної Волині за петрохімічним показником магнезальності (Fm) (свердловина 8282, глибина відбору проб – 157,2–178 м)

і генетично тісно пов'язані, тому доцільність їхнього комплексного видобутку і переробки не викликає сумнівів. До найперспективніших для освоєння з розвіданих родовищ можуть бути віднесені родовища Рафалівського поля, у породних комплексах якого вдало поєднуються базальти, цеоліт-сметитові туфи, самородна мідь та супутні метали, виробні камені. Концентрації розсіяно-вкрапленої міді в базальтах і туфах рідко перевищують 0,3 %. Проте з огляду на стратиформний характер значне поширення за площею, наявність потужних рудовмісних інтервалів (до 7–8 м), цей тип зруденіння слід уважати перспективним на виявлення покладів руд із відносно низькими вмістами міді, але зі значними її ресурсами і запасами.

Висновки. Наведено результати комплексних досліджень зорянської вулканоміктової товщі (зорянських верств) (V_1Zr) трапової формації Західної Волині, у яких фіксується значна перевага експлозивного матеріалу.

Схарактеризовано особливості просторового поширення, мінерального складу, петрографічних і петрохімічних властивостей туфів у повних розрізах зорянської товщі (від підшови до покрівлі), визначено їхнє походження та можливе практичне значення у зв'язку з наявністю міді.

Проаналізовано товщину і палеорельєф за даними свердловин, які розкрили утворення зорянської товщі в місцях її найбільшого поширення. Визначено важливі структурні особливості як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках. Для наочності побудовано карти, що відображають товщину і рельєф палеоповерхні пірокластичних порід, зокрема в районі населених пунктів Ратне і Камінь-Каширський.

Аналіз петрографічних особливостей досліджуваних відкладів засвідчує відсутність чітких ознак перевідкладення, тобто вулканоміктового походження туфів зорянської товщі в межах регіону (подібно до туфів бабинської світи).

За петрохімічними параметрами виявлено належність туфів зорянської товщі до низько-помірноглиноземистих, калієво-натрієвих, мезо-меланократових відмін. Уміст міді у туфах характеризується відносно невисокими значеннями, що може вказувати на невизначеність зорянської товщі щодо мідного зруденіння, що потребує подальших цілеспрямованих досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бацевич Н. В., Наумко І. М., Федоришин Ю. І. Петрографічна характеристика пірокластичного матеріалу у межах бабинської світи і зорянської товщі трапової формації

- Західної Волині. *Від Мінералогії і Геогнозії до Геохімії, Петрології, Геології та Геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття*: Зб. пр. Всеукр. конф. (MinGeoIntegration XXI–2023) (Київ, 27–29 верес. 2023 р.). Київ : КНУ ім. Тараса Шевченка, 2023. С. 97–100.
2. Бацевич Н. В., Наумко І. М., Федоришин Ю. І. Туфи бабинської світи трапової формації Західної Волині: петрографія, петрохімія, генетичне і прикладне значення. *Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання (до 160-річчя від дня народження В. І. Вернадського)*: Зб. матеріалів Всеукр. наук. конф. (Київ, 19–20 верес. 2023 р.) / НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка. Київ, 2023. С. 52–57.
 3. Бацевич Н., Наумко І. Матеріали до петрографо-петрохімічної характеристики вулканоміктових утворень зорянської товщі трапової формації Західної Волині. *International scientific journal GRAAL OF SCIENCE*, № 36 (February, 2024) with the proceedings of the VII Correspondence International Scientific and Practical Conference «An integrated approach to science modernization: methods, models and multidisciplinary» held on February 16th, 2024 by NGO European Scientific Platform (Vinnitsia Ukraine) and LLC International Centre Corporative Management (Vienna, Austria). 2024. P. 555–557. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.16.02.2024.098>.
 4. Бацевич Н. В., Наумко І. М., Федоришин Ю. І. Туфи бабинської світи трапової формації Західної Волині: мінералогія, петрографія, петрохімія, генетичне і прикладне значення. *Геол. журн.* 2024. № 2 (387). С. 18–34. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.296417>
 5. Ефремова С. В., Стафеев К. Г. Петрохимические методы исследования горных пород. Справочное пособие. 1985. 511 с.
 6. Лазаренко Є. К., Матковський О. І., Винар О. М., Шашкіна В. П., Гнатів Г. М. Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині. Львів : Вид-во Львів. ун-ту, 1960. 510 с.
 7. Лазаренко Є. К., Воловник Б. Я. Нові дані про будову вулканогенної товщі волинської серії західної окраїни Руської платформи. *Геол. журн.* 1969. Т. 29, Вип. 1 (124). С. 12–22.
 8. Мельничук В. Г. Товща цеоліт-сметитових туфів у нижньовендських трапах південно-західної частини Східно-Європейської платформи, їх походження та перспективи використання. *Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України*. 2008. Вип. 1. С. 104–111.
 9. Мельничук В. Г. Геологія та міденосність нижньовендських трапових комплексів південно-західної частини Східноєвропейської платформи: автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ, 2010. 36 с.
 10. Мельничук В. Г. Міденосні трапи Волині і суміжних територій Східної Європи. Рівне : НУВГП, 2022. 328 с.
 11. Мельничук В. Г., Матеюк В. В. Туфи Волино-Поділля як новий вид мінеральних ресурсів. *Проблеми раціонального використання, охорони і відтворення природно-ресурсного потенціалу України*. Чернівці : Рута, 2000. С. 133–134.
 12. Мельничук В., Мельничук Г. Оновлена стратиграфічна схема неопротерозою Волино-Поділля. *Проблеми геології України: Зб. наук. пр. за результатами XIII Всеукр. наук. конф.* (Львів, 3–5 жовт. 2022 р.). Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. С. 36–45.
 13. Мідь Волині. *Наук. пр. Ін-ту фундамент. Досліджень*: Шумлянський В. О. (відп. ред.). Київ, 2002. 112 с.
 14. Нестерович Н. В. Геохімія флюїдів середовища формування міденосних парагенезів у вулканітах трапової формації зони зчленування Волинського палеозойського підняття і Волино-Подільської монокліналі: автореф. дис. ... канд. геол. наук (прирівнюється до доктора філософії). Львів, 2014. 20 с.
 15. Ткачук Л. Г. (отв. ред.). Пирокластические породы Украины. *Киев: Наукова думка*, 1977. 156 с.

16. Шумлянський В. О., Деревська К. І., Сингаївський Є. Д., Чернишова Н. С. Мідно-цео-літова мінералізація у базальтових туфах венду на західному схилі Українського щита і природа мінералізуючих розчинів. *Дон. АН УРСР*. 1991. № 9. С. 136–139.
17. Alexander P. O., Thomas H. Copper in Deccan Basalts (India): review of the abundance and patterns of distribution. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*. 2011. No. 79–81. (Rosario, 01-07-2011). P. 107–112.
18. Blake, Tim S. Cyclic continental mafic tuff and flood basalt volcanism in the Late Archaean Nullagine and Mount Jope Supersequences in the eastern Pilbara, Western Australia. *Precambrian Research*, 2001, Vol. 107, Issue 3-4, P. 139–177.
19. Kale V.S., Bodas M., Chatterjee P., Pande K. Emplacement history and evolution of the Deccan Volcanic Province, India. *Episodes*. 2020. No. 43. P. 278–299. <https://doi.org/10.18814/EPIUGS/2020/020016>.
20. Kearey P., Klepeis K. A., Vine F. J. (2009). Global tectonics. 3rd ed. Wiley-Blackwell. 482 p.
21. Naumko I., Batsevych N., Fedoryshyn Yu., Pavlyuk M., Myshchyshyn Yu., Repyn I. Peculiarities of the distribution of thickness and paleo-surface relief of basalts of Luchychi strata (Western Volyn). *Geodynamics*. 2021. No. 1 (30). P. 36–47. <https://doi.org/10.23939/jgd.2021.01.036>
22. Ross P.-S., Ukstins Peate I., McClintock M.K., Xu Y.G., Skilling I.P., White J.D.L., and Houghton B.F. Mafic volcanoclastic deposits in flood basalt provinces: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2005. Vol. 145. P. 281–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.02.003>.
23. Scott E. Bryan, Richard E. Ernst Revised definition of Large Igneous Provinces (LIPs)]. *Earth-Science Reviews*. Volume 86, Issues 1–4, January 2008, Pages 175–202.

REFERENCES

1. Batsevych, N.V., Naumko, I.M., Fedoryshyn, Yu.I. (2023). Petrohrafichna kharakterystyka piroklastychnoho materialu u mezhakh babynskoi svity i zorianskoi tovshchi trapovoi formatsii Zakhidnoi Volyni [Petrographic characteristics of pyroclastic material within the Babynskaya suite and Zoryanskaya sequence of the Trapezov formation of Western Volyn]. *Vid Mineralohii i Heohnozii do Heokhimii, Petrolohii, Heolohii ta Heofizyky: fundamentalni i prykladni trendy XXI stolittia: Zb. pr. Vseukr. konf. (MinGeoIntegration XXI–2023) (Kyiv, 27–29 veres. 2023 r.)*. Kyiv: KNU im. Tarasa Shevchenka. S. 97–100. [in Ukrainian].
2. Batsevych, N.V., Naumko, I.M., Fedoryshyn, Yu.I. (2023). Tufy babynskoi svity trapovoi formatsii Zakhidnoi Volyni: petrohrafiia, petrokhimii, henetychne i prykladne znachennia [Tuffs of the Babynskaya suite of the Trappist Formation of Western Volyn: petrography, petrochemistry, genetic and applied significance]. *Problemy prykladnykh heolohichnykh nauk i shliakhy yikh podolannia (do 160-richchia vid dnia narodzhennia V.I. Vernadskoho): Zb. materialiv Vseukr. nauk. konf. (Kyiv, 19–20 veres. 2023 r.) / NAN Ukrainy, In-t heokhimii, mineralohii ta rudoutvorennia im. M.P. Semenka*. Kyiv, 52–57. [in Ukrainian].
3. Batsevych, N., & Naumko, I. (2024). Materialy do petrohrafo-petrokhimichnoi kharakterystyky vulkanomiktovykh utvoren zorianskoi tovshchi trapovoi formatsii Zakhidnoi Volyni [Materials for the petrographic and petrochemical characterization of volcanomictic formations of the Zoryanskaya sequence of the Trapa Formation of Western Volyn]. *International scientific journal GRAAL OF SCIENCE, № 36 (February, 2024)* with the proceedings of the VII Correspondence International Scientific and Practical Conference «An integrated approach to science modernization: methods, models and multidisciplinary» held on February 16th, 2024 by NGO European Scientific Platform (Vinnytsia Ukraine) and LLC International Centre Corporative Management (Vienna, Austria). P. 555–557. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.16.02.2024.098>. [in Ukrainian].
4. Batsevych, N.V., Naumko, I.M., Fedoryshyn, Yu.I. (2024). Tufy babynskoi svity trapovoi formatsii Zakhidnoi Volyni: mineralohii, petrohrafiia, petrokhimii, henetychne i prykladne znachennia [Tuffs of the Babynskaya stele of the Trappist Formation of Western Volyn: mineralogy, petrography, petrochemistry, genetic and applied significance]. *Heol. zhurn. – Geol. Journ.*, 2(387), 18–34. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.296417> [in Ukrainian].
5. Efremova, S.V., Stafeyev, K.H. (1985). Petrokhymycheskye metody yssledovaniya hornykh porod [Petrochemical methods of exploration of rocks. Reference manual]. *Spravochnoe posobie*. 511 s. [in Ukrainian].

6. Lazarenko, Ye.K., Matkovskiy, O.I., Vynar, O.M., Shashkina, V.P., Hnativ, H.M. (1960). Mineralohiia vyverzhennykh kompleksiv Zakhidnoi Volyni [Mineralogy of the eruptive complexes of Western Volyn]. *Lviv: Vyd-vo Lviv. un-tu*, 510 s. [in Ukrainian].
7. Lazarenko, Ye.K., Volovnyk, B.Ia. (1969). Novi dani pro budovu vulkanohennoi tovshchi volynskoi serii zakhidnoi okrainy Ruskoï platformy [New data on the structure of the volcanogenic stratum of the Volyn series of the western margin of the Russian platform]. *Heol. zhurn.* T. 29. Vyp. 1 (124). S. 12–22. [in Ukrainian].
8. Melnychuk, V.H. (2008). Tovshcha tseolit-smektytovykh tufiv u nyzhnovendskykh trapakh pivdenno-zakhidnoi chastyny Skhidno-Yevropeiskoi platformy, yikh pokhodzhennia ta perspektyvy vykorystannia [The stratum of zeolite-smectite tuffs in the Lower Vendian traps of the southwestern part of the East European platform, their origin and prospects for use]. *Zb. nauk. pr. In-tu heol. nauk NAN Ukrainy*. Vyp. 1. S. 104–111. [in Ukrainian].
9. Melnychuk, V.H. (2010). Heolohiia ta midenosnist nyzhnovendskykh trapovykh kompleksiv pivdenno-zakhidnoi chastyny Skhidnoievropeiskoi platformy [Geology and copper content of the Lower Vendian trap complexes of the southwestern part of the East European Platform]: *avtoref. dys. ... d-ra heol. nauk*. Kyiv, 36 s. [in Ukrainian].
10. Melnychuk, V.H. (2022). Midenosni trapy Volyni i sumizhnykh terytorii Skhidnoi Yevropy [Copper-bearing traps of Volyn and adjacent territories of Eastern Europe]. Rivne: NUVHP. 328 s. [in Ukrainian].
11. Melnychuk, V.H., Mateiuk, V.V. (2000). Tufy Volyno-Podillia yak novyi vyd mineralnykh resursiv [Volyn-Podillia tuffs as a new type of mineral resources. Problems of rational use, protection and reproduction of the natural resource potential of Ukraine]. *Problemy ratsionalnoho vykorystannia, okhorony i vidtvorennia pryrodno-resursnoho potentsialu Ukrainy*. Chernivtsi: Ruta. S. 133–134. [in Ukrainian].
12. Melnychuk, V., Melnychuk, H. (2022). Onovlena stratyhrafichna skhema neoproterozoïu Volyno-Podillia [Updated stratigraphic scheme of the Neoproterozoic Volyn-Podil'ya]. *Problemy heolohii Ukrainy: Zb. nauk. pr. za rezultatsy KhIII Vseukr. nauk. konf.* (Lviv, 3–5 zhovt. 2022 r.). Lviv: LNU im. Ivana Franka, S. 36–45. [in Ukrainian].
13. Mid Volyni [Copper of Volyn]. (2002). *Nauk. pr. In-tu fundament. Doslidzhen: Shumlianskyi V.O. (vidp. red.)*. Kyiv, 112 s. [in Ukrainian].
14. Nesterovych, N.V. (2014). Heokhimiia fluidiv seredovyshcha formuvannia midenosnykh paragenезiv u vulkanitakh trapovoi formatsii zony zchlenuvannia Volynskoho paleozoiskoho pidniattia i Volyno-Podil'skoi monoklinali [Geochemistry of fluids of the environment of formation of copper-bearing parageneses in volcanic rocks of the Trapov Formation of the junction zone of the Volyn Paleozoic uplift and the Volyn-Podil'ya monocline]: *avtoref. dys. ... kand. heol. nauk (pryivniuietsia do doktora filosofii)*. Lviv, 20 s. [in Ukrainian].
15. Tkachuk, L.H. (otv. red.). (1977). Pyroklastycheskye porody Ukrainy [Pyroclastic rocks of Ukraine]. *Kyev: Naukova dumka*, 156 s. [in Ukrainian].
16. Shumlanskyi, V.O., Derevska, K.I., Synhaivskyi, Ye.D., Chernyshova, N.S. (1991). Midno-tseolitova mineralizatsiia u bazaltovykh tufakh vendu na zakhidnomu skhyli Ukrainiskoho shchyta i pryroda mineralizuiuchykh rozchyniv [Copper-zeolite mineralization in Vendian basaltic tuffs on the western slope of the Ukrainian Shield and the nature of mineralizing solutions]. *Dop. AN URSR*. № 9. S. 136–139. [in Ukrainian].
17. Alexander, P.O. & Thomas, H. (2011). Copper in Deccan Basalts (India): review of the abundance and patterns of distribution. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*. 2011. No. 79–81. (Rosario, 01-07-2011). P. 107–112.
18. Blake, Tim S. (2001). Cyclic continental mafic tuff and flood basalt volcanism in the Late Archaean Nullagine and Mount Jope Supersequences in the eastern Pilbara, Western Australia. *Precambrian Research*. 2001. Vol. 107. Issue 3-4. Pp. 139–177.
19. Kale, V.S., Bodas, M., Chatterjee, P., Pande, K. (2020). Emplacement history and evolution of the Deccan Volcanic Province, India. *Episodes*. No. 43. P. 278–299. <https://doi.org/10.18814/EPIUGS/2020/020016>
20. Kearey, P., Klepeis, K. A., Vine, F. J. (2009). Global tectonics. 3rd ed. *Wiley-Blackwell*. 482 p.
21. Naumko, I., Batsevych, N., Fedoryshyn, Yu., Pavlyuk, M., Myshchyshyn, Yu., Repyn, I. (2021). Peculiarities of the distribution of thickness and paleo-surface relief of

- basalts of Luchychi strata (Western Volyn). *Geodynamics*. No. 1 (30). P. 36–47. <https://doi.org/10.23939/jgd.2021.01.036>
22. Ross, P.-S., Ukstins Peate, I., McClintock, M.K., Xu, Y.G., Skilling, I.P., White, J.D.L., and Houghton, B.F. (2005). Mafic volcanoclastic deposits in flood basalt provinces: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. 145. P. 281–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.02.003>.
23. Scot,t E. Bryan, Richard E. Ernst. (2008). Revised definition of Large Igneous Provinces (LIPs)]. *Earth-Science Reviews*. Volume 86. Issues 1–4. January 2008. Pages 175–202.

MATERIALS FOR PETROGRAPHICAL AND PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF VOLCANOMICTIC FORMATIONS OF ZORYANY THICKER OF THE CONTINENTAL FLOOD BASALTS OF WESTERN VOLYN

Nataliia Batsevych, Ihor Naumko

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine, Naukova Str., 3-a, Lviv, Ukraine, 79060
e-mail: natalja_bats@ukr.net, naumko@ukr.net

The results of comprehensive studies of full sections of the Zoryansk volcanomictic stratum (Zoryansk layers) (V1zr) of the trap formation of Western Volyn with a significant predominance of explosive material are presented for the purpose of studying the spatial distribution and mineral composition, identifying petrographic and petrochemical features and practical significance of tuffs.

The results of comprehensive studies of complete sections of the Zoryany volcanomictic stratum (Zoryany layers) (V1zr) of the continental flood basalts of Western Volyn with a significant predominance of explosive material are presented for the purpose of studying the spatial distribution and mineral composition, identifying petrographic and petrochemical features and practical significance of tuffs. The thickness and paleorelief were analyzed according to the data of wells that revealed formation of the Zoryany stratum in places of its greatest distribution. Important structural features were determined in both vertical and horizontal directions. For clarity, maps were constructed that reflect thickness and relief of paleosurface of pyroclastic rocks, in particular in area of the settlements of Ratne and Kamin-Kashyrskiy. As a result of petrographic study of section of deposits of the Zoryany stratum, there is reason to believe that they were formed in the mode of gravitational deposition of pyroclastic material with the accumulation of tuff deposits at the stage of incomplete solidification of volcanic material and formation of coarse irregular layering. Clear signs of redeposition, i.e. volcanomictic origin, for the tuffs of the Zoryany stratum within the region (similar to the tuffs of the Babyno suite) have not been found. These considerations are confirmed by indirect facts, such as relief of surfaces on which tuffs of corresponding stratigraphic units lie, first of all, which does not show signs of intensive erosion, sharp shapes, etc. But this did not exclude sliding of accumulated strata along gentle slopes over relatively short distances. According to petrochemical parameters, the tuffs of the Zoryany stratum belong to low-moderate alumina, potassium-sodium, meso-melanocratic varieties. The copper content in the tuffs is characterized by relatively low values, which may indicate uncertain prospects for copper mineralization of the Zoryany stratum and requires further targeted research.

Key words: Zoryany thicker, pyroclastic material, tuffs, the continental flood basalts, Western Volyn.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ТРАВЕРТИНОВІ ГРЕБЕНІ ЗАХОДУ УКРАЇНИ – ЦІННІ ПАМ'ЯТКИ ЖИВОЇ ТА НЕЖИВОЇ ПРИРОДИ

Уляна Борняк¹, Марина Рагуліна^{1, 2}, Олег Орлов²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: u.bornyak@ukr.net

²Державний природознавчий музей НАН України, вул. Театральна, 18, Львів, Україна, 79008

e-mail: funaria@ukr.net, orlov0632306454@gmail.com

Досліджено географічне поширення травертинових гребенів у межах заходу України. Дотепер в Україні був відомий лише один такий гребінь, розташований біля с. Криниця та одна труба – на водоспаді «Монаші сльози» біля с. Жизномир (обидва – Тернопільська область). Автори виявили ще один подібний об'єкт на теренах Львівщини: водоспад «Змійка», описаний на південній околиці села Малі Грибовичі.

Сучасна форма відкладів – гребенів чи труб, спричинена втручанням людини в природне функціонування джерел. Каптування на витоках зумовлює зміни їхнього гідродинамічного режиму, що призводить до перебудови в морфології цих утворень. З'ясовано, що в догосподарчий період на площині схилів в усіх обстежених локаціях сформувалися ущільнені травертинові відклади першої генерації. Каптування джерел призвело до інактивації травертиноутворення по площині схилів та, через зміну характеру водотоку, ініціювало формування нового морфотипу – травертинового гребеня.

Первинно побудова стінок жолоба відбувається за участі фотосинтезуючих організмів так: мохоподібні заселяють латеральні, первинно плоскі ділянки водотоку, де вода є теплішою, а течія – менш стрімкою. Із часом їхні фосилізовані рештки формують пухкі бріоліти, які поступово збільшуються догори та вишир. В активних бріолітах ріст живих мохів завжди випереджає темпи кальцифікації дернини, підтримуючи неперервність процесу туфоутворення. Після сильних злив потоки можуть переливатися через краї, зумовлюючи наростання «крил» обабіч основного жолоба, іноді досить широких. Також цьому сприяє вода, що просочується крізь тріщини та пори центрального каналу.

Незважаючи на антропогенне походження, травертинові жолоби є надзвичайно вразливими та нестійким до впливу людської діяльності. Руйнування їхніх каналів зумовлює переспрямування потоків води та порушує крихкий природний баланс біо- та абіогенних процесів, унаслідок чого туфоутворення на окремих ділянках може бути незворотно інактивовано.

Зважаючи на морфологічну винятковість та специфіку біо- та абіотичного складників, травертинові гребені є перспективними об'єктами природно-заповідного фонду України.

Ключові слова: травертин, гребінь, вапняковий туф, пам'ятка природи, захід України.

Постановка проблеми. Травертинові гребені – це морфологічний різновид відкладів травертинів (вапнякових туфів) джерельної моделі формоутворення. Вони вирізняються лінійним підвищенням водотічного каналу, зберігаючи при цьому потік по центральній, підвищеній, частині хребта. Головно вони є продуктами діяльності джерел на стрімких схилах та утворюються в результаті складної комплексної взаємодії абіотичних

та біотичних чинників. Так, осадження карбонатів кальцію магнію відбувається на певній відстані від витоків джерела, в умовах переважального росту мохів та пов'язаного з ним осадження карбонату в ареалі крапельного розпилення та в маргінальній зоні потоків. Так, русло струмка стає піднятим, а підвищення країв утруднює бічне переливання. Латеральний перелив та зміщення відбуваються із затримкою, так що відклади, зрештою, розширюються, утворюючи напівконічні туфові структури, що мають назву *cône* або *stânier* (корона, вінець) французькою, *hangtuff* (висячий туф) та *steinerne rinne* (кам'яний жолоб) німецькою [7; 10]. У розрізі типовий травертиновий гребінь має трикутну форму, симетрично або асиметрично розділену центральним каналом з водним потоком.

Зважаючи на особливі умови утворення, унікальність та незначну поширеність, ці об'єкти залишаються недостатньо дослідженими. Проблематика полягає у відсутності систематизованих даних щодо передумов формування, визначення ролі абіотичних і біотичних чинників, географічного поширення в межах України.

Аналіз досліджень. Травертинові гребені рідкісні скрізь у світі. У Європі вони здебільшого сконцентровані на теренах Баварії (Німеччина). Окремі з них комплексно описані В. Фойтглендером ще у 60-х рр. минулого сторіччя [11; 12]. Пізніше більш детально досліджено мікробіоту організмів-кальцифікаторів, що оселяються на поверхні туфів – ціанобактерій та діатомових водоростей [6; 8; 9]. Найбільші та найцікавіші з «кам'яних жолобів» у Німеччині є геологічними пам'ятками природи – геосайтами [5].

В Україні наразі офіційно відомий лише один такий гребінь, розташований біля с. Криниця (Тернопільська область), який у 2022 р. отримав статус об'єкта ПЗФ як геологічна пам'ятка природи місцевого значення «Криницький травертин» [2]. Криницький гребінь вперше описав П. Площанський [4]. Також у працях цього дослідника згадується інша форма відкладів, генетично пов'язана із цим морфотипом – травертинова труба [3; 4].

Мета – установити географічне поширення в межах заходу України травертинових гребенів; визначити передумови їх формування, роль абіотичних та біотичних чинників, цих унікальних морфологічних різновидів травертинових відкладів (вапнякових туфів), з метою обґрунтування їх наукової та природоохоронної цінності.

Матеріалом для написання статті слугували вапнякові туфи (травертинові гребені) в межах заходу України, розташовані біля с. Криниця (Монастирська МТГ Тернопільської області), водоспад «Монаші сльози» біля с. Жизномир (Бучацька МТГ Тернопільської області) та на південній околиці села Малі Грибовичі (Львівська МТГ Львівської області).

Дослідження здійснювалися детальним польовим маршрутним методом. Для кожної з локацій зазначали: розташування та геоморфологічні особливості, ступінь природності витоків та русла, характер процесів туфонагромадження, форму туфових утворень, склад та характер рослинності. Зібрані зразки травертинів аналізували в камеральних умовах. Палеоботанічний матеріал ідентифікували стандартним порівняльно-морфологічним методом з використанням оптичної мікроскопії.

Виклад основного матеріалу. Проведені дослідження на теренах заходу України дали змогу обстежити та описати три об'єкти з травертиновими гребнями.

1. Травертинове джерело «Змійка»

Розташоване на південній околиці села Малі Грибовичі (Львівська МТГ Львівської області). Джерело розвантажується на контакті світло-сірих мергелів верхньої крейди та карбонатних порід неогенової системи на правому борті річкової долини Старої Ріки (Грибовицького потоку). Далі воно стікає стрімким схилом, формуючи мальовничий гребінь, а за його межами має коротке спрямлене русло, довжиною близько 10 м.

Досліджуване джерело є здавна загосподарьованим. Старий напівзруйнований каптаж у формі прямокутного мурованого водозбірника нагадує «водяну комору» (нім. brunnenstube) часів Австро-угорської імперії (сер. XVIII – поч. XIX ст.). Можна припускати, що водотік джерела є зарегульованим уже понад 100 років. Новий бетонний каптаж, розташований за 5 м, має форму циліндра з металевою трубою, під якою утворився потужний травертиновий наріст, рясно вкритий мохами. Сучасна форма водоспаду утворена за участі людини, бо саме каптування джерела зумовило зміни його гідродинамічного режиму і, як наслідок, відобразилося на морфології відкладів [1].

У догосподарчий період, коли джерельні води самотоком стікали по площині схилу, сформувалися травертинові відклади першої генерації. У наш час вони згладжені, але й дотепер добре помітні. Потужність відкладів у центральній частині – більш ніж 0,3 м. Попри значну задернованість, замуленість та часткову деградацію приповерхневих шарів, обриси численних терас і досі виразно читаються в тілі травертину. Вони мають віялоподібну форму та в найнижчій ділянці схилу досягають розмірів понад 10 м. Забарвлення – жовтувато-сіре, структура – мікродетритова, дещо ущільнена, іноді інкрустована відбитками листя дерев, зокрема верби (*Salix* sp.). Каптування джерела призвело до інактивації травертиноутворення по площині схилу, але зміна характеру та гідродинаміки витоків призвела до формування нового морфотипу – гребеня [1].

Зараз від самого витoku потік спадає доволі похилим (до 5°) та злегка ступінчастим завдяки давнім терасам тіла травертину схилом. Вже тут, у руслі, спостерігаються ініціальні форми травертиноутворення, представлені відкладенням мінеральної речовини на гілках і листі. Нижче за течією, на відстані ~15 м від витoku, на стрімкішій (до 10°) ділянці схилу, з'являються мікротераси та мікробасейни, подекуди обабіч потоку наростають підняті борти, сформовані туфоутворюючою бріобіотою: тут вони мають переривчастий характер та не утворюють суцільної смуги. Надалі процес бортоутворення помітно активізується: крутизна зростає (до 15°), а борти формують суцільний жолоб. Топографія схилу зумовлює звивистий характер русла і, відповідно, травертинового ложа. У ньому формуються численні невеличкі водоспади та ерозійні котли, зумовлені спаданням води. Саме тут чітко проявляються основні морфологічні елементи травертинового гребеня. Проте найвиразнішим він стає вже на наступній ділянці, де ухил різко зростає (до 30°): потічок спрямляється, а жолоб заглиблюється в тіло гребеня до 10 см та стає вузьким.

У побудові гребеня активну участь беруть живі організми. Безпосередньо на контакті з водою канал вистелено слизуватим чохлам ціанобактерій, які поступово кальцифікуються та утворюють щільну кірку. Такі обростання добре помітні та мають яскраве забарвлення. У ньому чергуються різнокольорові плями неправильної форми: від темно-зелених до майже чорних і різних відтінків жовтого та вохряного, що створюють ефект «шкіри саламандри». Колонії формують гладенькі бактеріальні мати, в утворенні яких провідну роль відіграють представники порядку Oscillatoriales (*Lyngbya* sp., *Leptolyngbya* sp., *Phormidium* sp.) За межами центрального русла жолоб з обох боків побудований туфоутворювальною бріобіотою, головню – амфібійними листяними мохами родини Amblystegiaceae (*Palustriella commutata* (Hedw.) Ochyra та *Cratoneuron filicinum* (Hedw.) Spruce). Крила водоспаду також вкриті рясним покривом туфотвірних мохоподібних, а тому збудовані головню бріолітами [1].

Роль судинних рослин у побудові жолоба є незначною та переважно пасивною. Відпад дрібних гілок, що потрапили у водотік, швидко вкривається кіркою. Листя дерев і кущів, що ростуть поблизу, не створює виразних сезонних шарів – вочевидь, воно змивається водою чи зносится вітром. У нижній частині гребеня в мохових подушках росте *Poa trivialis* L. – трав'яна рослина з короткими повзучими кореневищами, здатними проникати

в пористу породу й закріплюватись у ній. Так, стебла і листя цього злаку опиняються вбудованими в каркас відкладів [1].

Мальовничий каскад є безперечно цікавим та своєрідним геоатрактивним об'єктом та міг би бути «родзинкою» екскурсійних маршрутів північними околицями м. Львова. Проте будь-яке механічне навантаження, як-от ходіння по травертинах чи відламування їх фрагментів, заходи очистки та поглиблення русла має бути суворо обмежене.

Джерело «Змійка» є унікальним для території Львівської області морфологічним різновидом травертинових відкладів. Воно має не лише естетичну, а й високу науково-пізнавальну цінність як приклад сучасного мінералоутворення, який надає можливості для вивчення динамічних процесів туфоутворення в режимі реального часу.

2. Криницький хребет

Розташований у Коростятинському лісі біля с. Криниця (Бучацька МТГ Тернопільської області). Тут на стрімкому схилі сформувався мальовничий звивистий гребінь довжиною близько 30 м [4].

Криницький хребет є сучасним, доволі молодим утвором. Досліджуване джерело загосподарьоване із 70-х рр. XX ст., тобто близько 50 років. Вище по схилу над гребенем розміщено водозабір, з якого організоване водопостачання до садіб північної частини с. Криниця. Водотік, який формує гребінь, виливається з труби, через яку здійснюється розвантаження водозбору, що запобігає перевищенню допустимого тиску у водогоні. Слід зазначити, що каптаж на схилі здійснено роздільно з кількох окремих джерел, з подальшим збором води в загальну водозбірну камеру, з якої скидається залишкова вода. Так, сучасна форма відкладів спричинена втручанням людини в природне функціонування джерел. Установлення каптажу призвело до спрямування води, що вільно розтікалася схилом, в один потужний потік та, як наслідок, призвело до трансформації віялової форми водоспаду у вузький гребінь із центральними каналами.

Як й у випадку джерела «Змійка», до втручання людини на площині схилу сформувалися жовтуваті-сірі, дещо ущільнені травертинові відклади першої генерації. Каптування джерела призвело до інактивації травертиноутворення по площині схилу. У наш час ці відклади перекриті опалим листям, задерновані, їх межі згладжені, замулені, слабко зчитуються в рельєфі, а приповерхневі шари частково деградовані. Потужність відкладів у центральній частині – більш ніж 0,4 м. Очевидно, що ці відклади мали віялоподібну форму та в найширшій ділянці схилу досягали розмірів понад 20 м.

Від витoku потік спадає доволі похилим (до 5°) та злегка згладженим, ступінчастим завдяки давнім терасам тіла травертину, схилом формуючи русло з ініціальними формами травертиноутворення, а нижче за течією, на відстані ~7 м від витoku, на стрімкішій (до 10°) ділянці схилу, з'являються мікротераси та мікробасейни, з уже дещо піднятими бортами. Саме ця ділянка зараз є найбільш вразливою для механічних руйнувань, оскільки лісові мешканці – косулі та кабани – уподобали її для втамування спраги, при цьому ламаючи слабко сформовані, крихкі борти потоку, провокуючи численні бокові потічки, через що основний потік зневоднюється й не живить гребінь у повному обсязі. За сприятливих умов, на відтинку з крутизною схилу до 25° процес бортоутворення був найактивнішим. Тут сформувався суцільний жолоб, навколо якого щороку наростали бокові стінки. Менш ніж за пів століття на схилі утворився звивистий гребінь довжиною понад 30 м, із шириною в основі конуса від 0,5 до 1,5 м та висотою до 1,5 м. Ширина жолоба – 3–5 см, а сам жолоб заглиблюється в тіло гребеня від 2,5 до 5 см. У ньому формуються численні невеличкі водоспади, ерозійні котли, зумовлені спаданням води та 2 басейна, діаметром до 20 см. Крила гребеня мають різну висоту на окремих відтинках, що спричинено топографією схилу. У нижніх ділянках, на контакт з ґрунтом, текстура шарувата, фіксуються численні

сезонні шари, потужністю 0,7–2 см, інкрустовані листям та гілками дерев, головно – буків. Схожі текстури, лише ущільнені, характерні для тіла травертину першої генерації.

Провідну роль у складі сучасної туфотвірної біоти відіграють мохоподібні. Цікаво, що визначальне значення в оселенні бріобіоти тут мають особливості мікрорельєфу, що зумовлюють різницю екологічних умов на правому та лівому схилах хребта. Так, південний, освітлений борт гребеня, що добре прогрівається, формують подушкоподібні бріоліти за переважання *Didymodon tophaceus* (Brid.) Lisa, північний, більш затінений – складений таломними листуватими бріолітами за домінування *Marchantia quadrata* Scop. Такий розподіл зумовлює відмінності текстури у відкладах бортів водоспаду. Ложе потоку вистелено гладеньким килимковим строматолітом за участі нитчастих ціанобактерій, головно – *Phormidium incrustatum* Nägeli ex Gomont.

Зазначимо, що Криницький травертин, як унікальна пам'ятка природи [2], потребує посилення заходів охорони через періодичне механічне пошкодження стінок жолоба, що відводить потік води та, як наслідок, інактивує туфоутворення через відмирання едифікаторної біоти. Це загрожує пересиханню травертинового утвору з подальшими його руйнуванням через процеси ерозії (вивітрювання). Тому доцільним є встановлення горожі, що обмежить доступ диких тварин до травертинового гребеня.

3. Водоспад в урочищі Монастирок

Мальовничий водоспад розташований в урочищі Монастирок на правому березі р. Стрипи біля с. Жизномир. Водоспад відомий під назвою «Монаші Сльози» та формується потічком, що витікає з джерела вище по схилу, поряд із руїнами монастиря Преображення Господнього. Джерело є здавна загосподарьованим, щонайменше – від початку заснування обителі на початку XVII ст. Зараз вода витікає з металевої труби в кам'яній підпірній стінці, з установленою в ніші сакральною скульптурою, та одразу потрапляє в невеликий мурований басейн, з якого рухається далі по рукотворному жолобу, обкладеному каменем. Далі 30 м збігає пологим схилом до крутого урвища, перед яким розтікається на два потоки, що спадають зі скелі, утворюючи два рукави водоспаду, які нагадують «очі, що плачуть».

Однозначно можемо стверджувати, що сучасна форма водоспаду спричинена втручанням людини: каптування джерела, як і на попередніх об'єктах, зумовило зміни гідродинамічного режиму та перебудову в морфології відкладів.

Слід зазначити, що сучасний водоспад сформований на скелях, складених травертиновими відкладами (вапняковими туфами) першої генерації, утвореними джерелом у догосподарчий період. Крім того, монастир, який у різних джерелах датується XV–XVII століттями, був зведений, коли скеля уже існувала, оскільки травертини з неї використано в будівництві – тесані блоки із цього матеріалу можна бачити в мурованих стінах, що збереглися донині. Поверхня материнського утворення задернована, надто деградована, обриси читаються невиразно, але навіть за такого рівня деструкції первинного масиву можна стверджувати, що тіло травертину мало віялоподібну форму, а потужність відкладів у його центральній частині досягала більш як 2 м, а в нижній, найширшій частині – понад 20 м.

Під шапкою скелі сформована печера Жизномир, вхід до якої розташований в основі скелі під водоспадом [3]. На жаль, зараз травертиновий навіс опустився так низько, що внеможливив вхід до печери. Проте в стінках гроту при вході ще можна роздивитись основні характеристики травертинових відкладів: породи жовтувато-сірого забарвлення із шаруватою текстурою, пласти, що залягають субгоризонтально та мікродетритову, дещо ущільнену структуру.

Водоспад спадає стрімкою субвертикальною стінкою травертинового масиву двома потоками води, формуючи два окремі гребені. Для цих утворень характерною є невелика

ділянка (до 30 см) з ініціальними формами травертиноутворення, яка локалізується в місці спадання води зі скелі. На стрімкій ділянці схилу обабіч потоку нарастають підняті борти, сформовані туфоутворювальною бріобіотою: на відстані до 40 см вони мають переривчастий характер та не утворюють суцільної смуги, а далі борти формують суцільний жолоб. Топографія схилу зумовлює формування прямоспадних травертинових гребенів протяжністю 5 м із шириною крил від 0,5 м. у верхній частині до 2,5 м у нижній. Особливістю одного з описаних гребенів є змикання бортів та формування унікального закритого каналу (кам'яної труби) завдовжки близько 3 м та зовнішнім діаметром понад 0,5 м. Ця труба є формою еволюції травертинового гребеня та наразі відома лише з однієї локації [3; 4]. Щодо точного віку цього утвору, то він достеменно не відомий. Проте на деталізованій літографії польського художника М. Стечінського «Szczałki Monasteru w Buczaczu w obwodzie Stanisławowskim», опублікованій у путівнику по околицях Галичини [10], зображено Жизномирський водоспад станом на 1847 р. На ній можна бачити, що струмені спадають відкритими потоками, а грот у підніжжі водоспаду є досить високим та доступним для прогулянок відвідувачами. Отже, можна стверджувати, що закритий канал на Жизномирському водоспаді утворився менш ніж за 170 років та є сучасним утвором.

У побудові гребеня активну участь беруть живі організми, головню – туфогенні мохоподібні за участі крупних таломних маршантіофітів *Conocephalum conicum* (L.) Dumort. та *Marchantia quadrata* Scop., а також плетивних *Cratoneuron filicinum* (Hedw.) Spruce та подушкових *Didymodon tophaceus* (Brid.) Lisa бріофітів. Ложе каналів вистелено гладким ціанобактеріальним матом за участі діатомових та зелених мікрроводоростей. Також у травертинову товщу вбудовуються рештки судинних рослин, насамперед листя та гілочки, що потрапили до водотоку.

Зазначимо, що оригінальний за будовою водоспад не має природоохоронного статусу, тоді як руїни монастиря є пам'яткою архітектури національного значення –

«Жизномирський монастир Преображення Господнього». Уважаємо, що територія, на якій розташоване джерело з водоспадом, заслуговує на надання їй статусу заповідного урочища.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Установлено, що усі описані морфотипи (гребені та труби) мають антропогенне походження й зумовлені каптуванням джерел на витоках, а тому й переспрямування потоку води одним або кількома вузькими струменями.

Каптування джерел докорінно змінює природну гідродинаміку джерела, а тому й інактивує первинні материнські масиви віялоподібної форми та спричинює наростання вузького гребеня із центральними жолобом. На урвистих субвертикальних ділянках таких потоків може відбуватися змикання стінок гребеня, унаслідок чого формується унікальний травертиновий канал-труба.

Характер русла, морфологія та протяжність гребенів прямо залежать від мікротопографії схилу та опосередковано – від складу та фізіогноміки туфотвірної біоти, розподіл якої визначається здебільшого експозицією бортів і характером течії.

У формуванні гребенів активну участь бере туфотвірна біота, насамперед мохоподібні та ціанобактерії, які формують різноманітні за своєю текстурою бріоліти та строматоліти відповідно.

Серед досліджуваних водоспадів лише один належить до природно-заповідного фонду України – геологічна пам'ятка природи місцевого значення «Криницький травертин» (з 2022 р.). Два інші водоспади – «Змійка» (с. Малі Грибовичі) та «Монаші сльози» (с. Жизномир), зважаючи на свою морфологічну винятковість та специфіку біо- й абіотичного складників, є перспективним об'єктами природно-заповідного фонду України та мають якнайшвидше отримати природоохоронний статус.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Борняк У. І., Рагуліна М. Є., Орлов О. Л. Травертинове джерело «Змійка» – перспективна пам'ятка природи (Львівська область). *Наук. зап. Держ. природознавч. музею. Львів*, 2024. 40. С. 171–174.
2. Геологічна пам'ятка природи «Криницький травертин». URL: <https://dnistercanyon.pp.ua/index.php/uk/ob-iekty-dnistrovskoho-kanionu/flora/625-tsikava-pryroda31-01-23>
3. Площанський П.М. Печери у травертинових скелях басейну річки Стрипа. *Наукові засади природоохоронного менеджменту екосистем каньйонових Придністров'я: матеріали Першої міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої сторіччю ботанічних досліджень у регіоні (11-12 вересня 2014 р. м. Заліщики)*. Львів : Ліга-Прес, 2014. С. 163–169.
4. Площанський П. М. Травертинове утворення в урочищі “Криниця”, як потенційний об'єкт природно-заповідного фонду. *Прагматичні аспекти діяльності національних природних парків у контексті збалансованого розвитку: матер. міжнар. наук.-практ. конф. (17-19 верес. 2015 р., смт Берегомет, Чернів. обл., Україна)*. Чернівці : ТОВ «Друк Арт», 2015. С. 265–268.
5. Geotope und Geotopschutz. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). URL: www.lfu.bayern.de
6. Gernot A., Bissett A., Brinkmann N. et al. Tufa-forming biofilms of German karstwater streams: Microorganisms, exopolymers, hydrochemistry and calcification. *Geological Society, London, Special Publications*. 2010. V. 36. P. 83–118.
7. Golubić S., Violante C., Plenković-Moraj A. et al. Travertines and calcareous tufa deposits: An insight into diagenesis. *Geologia Croatica*. 2008. 61/2-3. P. 363–378.
8. Reichardt E. Die Diatomeenflora der «Steinernen Rinnen» in Mittelfranken. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft*. 1982. B. 53. S. 97–112.
9. Reichardt E. Die Kieselalgenflora (Bacillariophyceae) des Wachsenden Steins von Usterling. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft zur Erforschung der Flora*. 1995. B. 65. S. 87–92.
10. Stęczyński M.B. Okolice Galicyi. Lwów: wyd. K. Jabłoński, 1847. 172 s.
11. Voigtländer W. Eine «Steinerne Rinne» auf der Baun-Alm bei Bad Tölz. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Alpenpflanzen und -Tiere*. 1967. B. 32. S. 86–93.
12. Vogtländer, W. Der Wachsende Stein in Usterling. *Berichte Naturwissenschaftliche Verein Landshut*. 1968. B. 25. S. 9–26.

REFERENCES

1. Bornyak, U., Ragulina, M., Orlov, O. (2024). Travertynove dzherelo «Zmийka» – perspektyvna pam'yatka pryrody (L'viv's'ka oblast') [Travertine spring "Zmийka" – a promising natural monument (Lviv region)]. *nauk. zap. Derzh. pryrodознаvch. muzeyu*, 40. 171–174.
2. Heolohichna pam'yatka pryrody «Krynys's'kyi travertyn» [Geological natural monument "Krynys'sia travertine"]. Retrieved from: <https://dnistercanyon.pp.ua/index.php/uk/ob-iekty-dnistrovskoho-kanionu/flora/625-tsikava-pryroda31-01-23>
3. Ploshchans'kyi, P. (2014). Pechery u travertynovykh skelyakh baseynu richky Strypa [Caves in the travertine rocks of the Strypa River basin]. *Naukovi zasady pryrodookhoronnoho menedzhmentu ekosystem kan'onovoho Prydnistrov'ya: materialy Pershoi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi, prysvyachenoyi storichchyu botanichnykh doslidzhen' u rehioni*. L'viv Liha-Pres. 163–169.
4. Ploshchans'kyi, P. (2015). Travertynove utvorennia v urochys'khi "Krynys'sya", yak pokazovyy ob'yekt pryrodno-zapovidnoho fondu [Travertine formation in the "Krynys'sia" tract, as a potential object of the nature reserve fund]. *Prahmatychni aspekty diyal'nosti natsional'nykh pryrodnykh parkiv u konteksti zbalansovanoho rozvytku: mater. mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Chernivtsi TOV "Druk Art". 265–268.
5. Geotope und Geotopschutz. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Retrieved from: www.lfu.bayern.de
6. Gernot, A., Bissett, A., Brinkmann, N., Cousin, S., de Beer, D., Friedl, T., Mohr, K., Neu, T., Reimer, A., Shiraishi F., Stackebrandt, E., Zippel, B. (2010). Tufa-forming biofilms of German karstwater streams: Microorganisms, exopolymers, hydrochemistry and

- calcification. *Geological Society, London, Special Publications*, 36. 83–118. doi:10.1144/SP336.6
7. Golubić, S., Violante, C., Plenković-Moraj, A., Grgasović, T. (2008). Travertines and calcareous tufa deposits: An insight into diagenesis. *Geologia Croatica*, 61/2-3. 363–378. doi:10.4154/GC.2008.28
 8. Reichardt, E. (1982). Die Diatomeenflora der «Steinernen Rinnen» in Mittelfranken. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft*, 53. 97–112.
 9. Reichardt, E. (1995). Die Kieselalgenflora (Bacillariophyceae) des Wachsenden Steins von Usterling. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft zur Erforschung der Flora*, 65. 87–92.
 10. Stęczyński, M. (1847). *Okolice Galicyi*. Lwów: wyd. K. Jabłoński.
 11. Voigtländer, W. (1967). Eine «Steinerne Rinne» auf der Baun-Alm bei Bad Tölz. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Alpenpflanzen und -Tiere*, 32. 86–93.
 13. Vogtländer, W. (1968). Der Wachsende Stein in Usterling. *Berichte Naturwissenschaftliche Verein Landshut*, 25. 9–26.

CALCAREOUS TUFA CHANNELS OF WEST OF UKRAINE – VALUE OBJECTS OF LIVING AND INANIMATE NATURE

Ulyana Bornyak¹, Marina Ragulina^{1,2}, Oleg Orlov²

¹ Ivan Franko Lviv National University, Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005

e-mail: u.bornyak@ukr.net

² State Museum of Natural History of NAS of Ukraine, Teatralna Str., 18, Lviv, Ukraine, 79008

e-mail: funaria@ukr.net, orlov0632306454@gmail.com

The geographical distribution of calcareous tufa stone channels within the territory of western Ukraine has been investigated. It has been established that, until recently, only one such channel was officially known in Ukraine, located near the village of Krynytsia (Ternopil region) and one tufa tube situated within the “Monashi Sliozy” waterfall near the village of Zhyznomyr (Buchach STG, Ternopil region). The authors have identified and described another similar features: the “Zmijka” waterfall, situated on the southern outskirts of the village of Mali Hrybovychi (Lviv STG, Lviv region).

The modern morphology of the deposits is the result of human intervention in the natural functioning of the springs: spring tapping at their sources has altered their hydrodynamic regime and, consequently, the morphology of the deposits. It has been determined that, in the pre-anthropogenic period, consolidated tufa deposits of the first generation formed across the slope surfaces at all surveyed locations. The tapping of the springs has led to the inactivation of tufa formation across the slopes. However, this process also triggered the emergence of a new morphotype such the stone channel is resulting from the altered flow dynamics.

Photosynthetic organisms apparently facilitate the construction of the channel walls in the following way: bryophytes colonize the lateral, originally flat sections of the watercourse where the water is warmer and the current less turbulent. Over time, their fossilized remains form loose bryolithes, which gradually grow both upwards and outwards. In active bryolithes, the growth of living mosses consistently outpaces the rate of turf calcification, maintaining the continuity of tufa formation. After heavy rainfall, water flows may overflow the edges, promoting the development of lateral “wings” alongside the main channel, which can become quite wide. Additionally, water seeping through fissures and pores of the central channel further contributes to this growth.

Despite their anthropogenic origin, tufa stone channels are extremely fragile and highly sensitive to human activity. Damage to their conduits causes the redirection of water flows and disrupts the delicate natural balance of biotic and abiotic processes, potentially leading to the irreversible inactivation of tufa formation in certain areas.

These picturesque ridges represent unique geoattractive features and could serve as potential highlights of excursion routes. Considering their morphological distinctiveness and the specific interplay between biotic and abiotic factors, tufa stone channels should be regarded as highly promising candidates for inclusion in Ukraine’s natural reserve fund.

Key words: calcareous tufa, stone channel, natural monument, western Ukraine.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ЛАЗЕРНЕ СКАНУВАННЯ ПЕЧЕР: НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ПРОСТОРІВ НА ПРИКЛАДІ МЕДОВОЇ ПЕЧЕРИ ТА ПЕЧЕРИ МЛИНКИ

**Ігор Бубняк, Андрій Бубняк, Анатолій Віват, Тарас Марко,
Катерина Бойко**

*Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Карпінського, 6, Львів, Україна, 79013
e-mail: ihor.m.bubniak@lpnu.ua*

У статті розглянуто результати дослідження гіпсових карстових печер Млинка (Тернопільська область) та Медова (Львівська область), які належать до найцікавіших спелеологічних об'єктів Подільської височини. Мета роботи – створити високоточну цифрову 3D-модель внутрішнього простору печер з метою їх просторового аналізу, геологічної інтерпретації, оцінки морфологічних особливостей та можливості подальшого моніторингу геодинамічних процесів. Для досліджень застосовано комбінацію наземного лазерного сканування (TLS) з використанням сканера Leica ScanStation C10 та ручного мобільного лазерного сканера STONEX X120 GO, що забезпечило детальну зйомку як просторих залів, так і вузьких важкодоступних коридорів. Отримані хмари точок були оброблені в спеціалізованому програмному забезпеченні та інтегровані в геоінформаційні системи з використанням GNSS-референтних точок для точного розміщення моделей у глобальній координатній системі (UTM зона 35).

Особливу увагу приділено методиці збору, обробки та фільтрації даних, а також етапам побудови тривимірних моделей, виконаних із міліметровою деталізацією. На прикладі печери Млинка здійснено геологічну інтерпретацію структури гіпсового пласта баденського ярусу, встановлено роль інтрастратального карсту та визначено головні напрями розвитку тектонічних тріщин. У результаті обстеження Медової печери вперше виконано повне цифрове картографування об'єкта, ідентифіковано морфологічні особливості та створено точну просторову модель для подальшого аналізу.

Проведене дослідження демонструє ефективність використання сучасних технологій лазерного сканування для цілей геологічного картування підземних утворень, їх збереження, а також інтеграції в природоохоронні, наукові та туристично-освітні програми. Отримані результати можуть бути використані як основа для моніторингу стану печер, виявлення ризикових зон і створення віртуальних геотуристичних маршрутів.

Ключові слова: печери, лазерне сканування, гіпсовий карст, тривимірне моделювання, геоінформаційні системи, Поділля, печера Млинка, печера Медова, морфологічний аналіз, геоприв'язка.

Постановка проблеми. Печери – це природні підземні порожнини, що є досить великими для дослідження людиною [40; 28; 22].

Печери можуть формуватися внаслідок різних геологічних процесів. Тектонічні рухи спричиняють зміщення земної кори, що може створювати підземні порожнини. Диференціальна ерозія відбувається завдяки різним швидкостям розмивання гірських порід у різних ділянках, що також сприяє формуванню печер. Розчинення гірських порід під дією води, особливо в карстових ландшафтах, є одним із найпоширеніших механізмів утворення печер. Вулканічна активність може створювати печери через витікання

і подальше охолодження лави, утворюючи лавові трубки. Крім того, танення льодовиків спричиняє дренаж талих вод, що може утворювати льодовикові печери [40; 28].

Печери класифікують за процесами їх утворення та віком породи, у якій вони сформувалися. Первинні печери виникають одночасно з навколишньою породою, наприклад, лавові трубки, що формуються під час витікання лави.

Вторинні печери утворюються після формування породи, зазвичай унаслідок розчинення вапняку під дією води. Карстові печери є одними з найпоширеніших типів, оскільки вапнякові відклади легко піддаються розчиненню [40; 28].

Печери відіграють важливу роль у підтриманні екологічного балансу та є цінними геологічними об'єктами. Вони забезпечують середовище існування унікальних організмів та містять важливі мінеральні утворення, що дають змогу дослідникам вивчати геологічні процеси минулого.

Екологічні системи печер є унікальними, оскільки вони підтримують спеціалізовані організми, адаптовані до екстремальних умов, як-от низький рівень світла, стабільна температура та висока вологість. Деякі з цих організмів не трапляються більше ніде у світі. Ці екосистеми залежать від зовнішніх джерел органічної речовини, яка надходить із поверхні або виробляється хемосинтетичними бактеріями [31; 15; 29].

З геологічного боку, печери містять спелеотеми, як-от сталактити та сталагміти, що утворюються внаслідок осадження мінералів із води. Ці утворення є природними архівами змін клімату та геологічних процесів, оскільки містять інформацію про хімічний склад вод, які циркулювали через породи протягом тисячоліть [40; 31; 11].

Наукове та культурне значення. Печери мають значну наукову й культурну цінність, оскільки вони зберігають геологічну історію Землі, свідчення змін клімату та антропологічні сліди давніх цивілізацій. Унікальні характеристики роблять їх об'єктами як наукових досліджень, так і туристичного інтересу.

Геоспадщина печер є важливим складником природної та культурної спадщини. Вони мають естетичне, наукове та історичне значення і приваблюють туристів, що може створювати ризики для їх збереження. Тому важливим аспектом є баланс між дослідженням, популяризацією та охороною цих унікальних природних об'єктів [11; 21]. З історичного боку, печери використовували люди протягом багатьох століть як укриття, місця релігійних обрядів, поселення та археологічні об'єкти. Вони зберігають стародавні наскельні малюнки, артефакти та інші свідчення минулих епох, що дає змогу дослідникам отримувати нову інформацію про розвиток людства [21].

Середовище печер Печери є унікальним середовищем, яке характеризується специфічними умовами та мікробіологічними процесами. Вони містять різноманітні мікробні спільноти, що відіграють важливу роль у геологічних процесах, як-от мінералізація та вивітрювання порід. Ці організми адаптовані до екстремальних умов і можуть існувати навіть у повній темряві, використовуючи хемосинтез як джерело енергії [29; 15; 13].

Крім того, печери характеризуються стабільною температурою, високою вологістю та низьким рівнем освітлення. Такі умови створюють сприятливе середовище для розвитку спелеофауни, включно з бактеріями, грибами та безхребетними, які пристосувалися до життя в темряві. Завдяки цим стабільним параметрам печери можуть зберігати докази давніх кліматичних змін і слугувати природними архівами для наукових досліджень [22; 13].

У роботі [17] найбільш повно висвітлено питання, що стосуються вивчення печер.

Історія дослідження печер. Дослідження печер є важливим напрямом у природничих науках, що охоплює геологію, археологію, біологію та палеонтологію. Упродовж століть вчені з різних регіонів світу вивчали печери, розкриваючи їхню геологічну будову, екосистеми та сліди людської діяльності. У статті представлено ключові дослідження

історії печерних досліджень у різних частинах світу, що вплинули на розуміння цих природних утворень.

Іаломіцька печера, Румунія. Іаломіцька печера є одним із найважливіших карстових об'єктів у Румунії. Дослідження цієї печери дали змогу створити хронологічну послідовність основних етапів її вивчення, включно з документами, статтями та науковими працями [23].

Печера Білла Сургам, Індія. Цей печерний комплекс має найдовший запис археологічних та палеоекологічних досліджень в Індії, що сягає початку XIX століття. Результати розкопок значно розширили знання про палеолітичне заселення на субконтиненті [24].

Печери нагір'я Гватемали. Дослідження печер у центральній частині Гватемали були важливими для розуміння взаємодії між нагір'ям і низинами. Вони надали важливі дані про стародавні ритуали, владу еліт, виробництво кераміки та торгівлю між регіонами [41].

Печера Уршилор, Румунія. Систематичні розкопки цієї печери виявили значні фауністичні комплекси пізнього плейстоцену. Аналіз осадових відкладів та скам'янілостей дав змогу простежити еволюцію печери протягом останніх 300 000 років [12].

Печери Франції та Іспанії. Дослідження наскельних малюнків у декількох печерах Франції та Іспанії надали важливу інформацію про періоди людської присутності та мистецької активності. Радіовуглецевий аналіз показав, що ці зображення були створені в період від 33 000 до 14 000 років тому [37].

Печери Хайда-Гваї, Канада. Дослідження цих карстових печер розкрили палеонтологічний запис, що датується від 13 400 до 11 000 років тому, а також артефакти людської діяльності віком від 12 600 до 11 000 років. Це підкреслює екологічне та культурне значення печер у ранньому постльодовиковому періоді [16].

Печери Нахаль-Меарот, Ізраїль. Ці печери досліджуються з 1920-х років і містять довгий культурний шар, що охоплює принаймні 600 000 років. Вони важливі для вивчення як неандертальців, так і ранніх сучасних людей, а також культурних змін [18].

Печера Вайт-Скар, Велика Британія. Статті про цю печеру містять історію її відкриття, дослідження, геологічне значення та розвиток протягом двох століть [14].

Археологія печер у Словенії. Практика та дискурс археологічних досліджень печер у Словенії відображають ширші європейські традиції. Вони формувалися під впливом регіональної історії, національних дослідницьких програм і видатних учених протягом останніх 120 років [32] демонструючи важливість цих природних об'єктів для розуміння минулого людства, палеоекології та розвитку карстових систем.

Печери України та Тернопільського регіону. В Україні, особливо в західних регіонах, розташовані численні карстові печери, які мають велике наукове та туристичне значення.

Західна Україна славиться своїми гіпсовими карстовими печерами, одними з найдовших у світі [2]. Вони є прикладами гіпогенезного артізіанського спелеогенезу та еволюції інтрастратального карсту [26].

Печера «Попелюшка», що розташована в Буковинському регіоні, є однією з найбільших гіпсових печер. Вона сформувалася в міоценовій серії порід і містить унікальні геологічні утворення, як-от палеокарстові форми та карстові тріщини, заповнені алохтонним матеріалом [7].

Геологічні умови формування печер є складними, оскільки вони залежать від взаємодії між гіпсовими породами та вищерозташованими карбонатними шарами. Це впливає на морфологію печер і спричиняє унікальні особливості їх внутрішньої структури [3; 4; 7].

Печера «Буковинка», що розташована в Чернівецькій області, стала об'єктом палеонтологічних, ромагнітних і палеомагнітних досліджень. Ці дослідження допомогли встановити кліматичні умови пізнього плейстоцену та варіації геомагнітного поля впродовж голоцену [1; 9].

Україна має багату історію підземних культових споруд, зокрема православних печерних храмів та монастирів. Вони мають значну архітектурну й історичну цінність та демонструють антропогенні фактори, що вплинули на їх формування [8].

Один із найвідоміших печерних монастирських комплексів, Києво-Печерська лавра, внесений до списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО. Його печери перебувають у критичному стані та потребують реставрації. Нині проводять роботи зі створення 3D-моделей, що допомагають у процесах їх збереження [6; 33].

Печери України є не лише геологічними чудесами, а й важливими об'єктами наукових досліджень. Вони містять інформацію про палеоекологічні умови, фауну кайнозою та кліматичні зміни, що відбувалися упродовж плейстоцену [36].

Печери України, включно з Тернопільським регіоном, мають велике геологічне, історичне та культурне значення. Вони надають цінні дані для дослідження еволюції Землі, збереження біорізноманіття та розвитку туристичної галузі. Майбутні дослідження мають бути спрямовані на збереження цих унікальних природних об'єктів і їх інтеграцію у світову наукову спільноту.

Методи знімання печер. Знімання печер є важливим процесом для наукових, туристичних та інженерних цілей. З розвитком технологій методи картографування підземних порожнин значно вдосконалилися, що дає змогу отримувати високоточні цифрові моделі печер. Розглянемо традиційні та сучасні методи знімання печер, їх переваги і недоліки.

Вимірювання за допомогою рулеток, компасів і кутомірів. Один із найдавніших методів картографування печер полягає у вимірюванні відстаней за допомогою рулеток, напрямків за допомогою компасів і нахилу поверхні за допомогою кутомірів. Отримані дані використовують для побудови плану печери шляхом ручного креслення [39].

Тахеометричні методи використовують для отримання загальної форми печери, але вони менш ефективні для швидкісного й високоточного картографування складних поверхонь [19].

Наземне лазерне сканування (TLS). Один із найточніших методів, що дає змогу отримувати мільйони точок у 3D-координатах, створюючи детальні моделі внутрішньої будови печер. Цей метод забезпечує швидке отримання високоточної інформації про геометрію печер [25; 42].

Мобільне лазерне картографування (Mobile LiDAR Mapping). У цьому методі оператор переносить легкий лазерний сканер, збираючи дані в режимі реального часу. Це значно швидший підхід, порівняно з традиційними статичними вимірами, і допомагає отримувати детальні тривимірні моделі [43].

Цифрова фотограмметрія. Використання сферичних камер для швидкого збору даних, що обробляють у 3D-моделі печер. Цей метод є альтернативним варіантом для швидкого отримання цифрових даних.

Метод «Structure-from-Motion» (SfM). Дає змогу створювати тривимірні моделі шляхом об'єднання знімків із різних точок. Часто використовують разом із лазерним скануванням для деталізації карт печер [38].

Автономні літальні апарати (UAVs). Безпілотники, оснащені камерами глибини та LiDAR-сенсорами, можуть виконувати знімання печер у повній темряві, зменшуючи ризики для дослідників. Вони забезпечують зворотний зв'язок у режимі реального часу та працюють у складних умовах [35].

Знімання затоплених печер. Знімання підводних печер здійснюється за допомогою ручних ехолотів та сигнальних шнурів, що допомагають картографувати занурені проходи [34].

Тривимірне картографування морських печер. Цей метод використовує портативні ехолоти для отримання детальних моделей морських печер [20].

Георадар (GPR) у дослідженні печер. Георадар (Ground Penetrating Radar, GPR) є важливим інструментом у дослідженні печер, оскільки він дає змогу отримати детальну інформацію про приховані структури та осадові відкладення без необхідності фізичного буріння або розкопок. Поєднання GPR із лазерним скануванням дає змогу створювати високоточні тривимірні моделі печерних систем, включно з детальним аналізом геологічних шарів і можливими порожнинами. Завдяки цьому методу можна також виявляти структурні особливості печер, які не помітні при звичайному огляді, що робить його цінним інструментом для археологічних, геологічних і спелеологічних досліджень.

Інтеграція з ГІС. Сучасні методи знімання печер активно використовують геоінформаційні системи (далі – ГІС) для аналізу та візуалізації отриманих даних. Інтеграція лазерного сканування з ГІС дає змогу геоприв'язати отримані моделі та поєднати їх з іншими картографічними даними. Це дає змогу проводити просторовий аналіз взаємодії поверхневих і підземних структур, що важливо для розуміння карстових процесів, моніторингу змін у печерах та управління природними ресурсами [30].

Використання ГІС у спелеологічних дослідженнях також полегшує доступ до геоданих, оскільки дає змогу ефективно зберігати, аналізувати та візуалізувати інформацію про печерні системи. Це відкриває нові можливості для створення інтерактивних карт, що можуть бути корисними як для науковців, так і для туристичних або охоронних організацій.

Загалом, майбутнє картографування печер є перспективним, впровадження новітніх технологій сприятиме не лише підвищенню точності досліджень, а й безпечному та ефективному вивченню підземних систем.

Переваги сучасних методів знімання печер. Сучасні технології картографування печер мають низку переваг, що значно покращує якість отриманих даних і безпеку дослідників. Однією з основних переваг є висока точність та деталізація цифрових моделей, що забезпечує точне відтворення підземних структур. Завдяки цьому можна детально аналізувати морфологію печер, процеси карстоутворення й динаміку підземних вод.

Ще одним важливим фактором є швидке отримання просторової інформації. Лазерне сканування та фотограмметрія дають змогу значно скоротити час, необхідний для створення картографічних матеріалів, порівняно з традиційними методами. Це особливо важливо для досліджень у складних умовах, де доступ до печер може бути обмеженим.

Можливість картографування складних геометричних структур є ще однією перевагою сучасних технологій. Використання 3D-сканування дає змогу отримати точні цифрові моделі печер із різноманітними формами, вузькими проходами та вертикальними шахтами, що важко піддаються традиційним методам вимірювання.

Крім того, сучасні методи зменшують ризики для дослідників під час знімання. Автономні дрони та мобільні сканери допомагають виконувати картографування без необхідності перебування людини у важкодоступних або небезпечних зонах печер. Це суттєво підвищує безпеку експедицій та мінімізує вплив людини на природне середовище печер.

Виклики сучасних методів знімання печер. Попри значні переваги, сучасні методи картографування печер мають низку викликів, які обмежують їх широке застосування. Одним із головних факторів є висока вартість обладнання. Лазерні сканери, високоточні дрони та програмне забезпечення для обробки даних потребують значних фінансових вкладень, що може бути проблемою для малих дослідницьких груп і наукових установ.

Ще одним викликом є технічна складність обробки даних. Отримані лазерним скануванням або фотограмметрією великі обсяги інформації потребують потужних

комп'ютерних систем і складного програмного забезпечення для їх обробки та аналізу. Це ускладнює оперативне отримання результатів і потребує значних ресурсів [42].

Крім того, необхідність спеціалізованих навичок ускладнює впровадження новітніх технологій у широкомасштабні дослідження. Для ефективного застосування лазерного сканування або геоінформаційних систем необхідно залучати фахівців із високою кваліфікацією, що також впливає на загальну вартість досліджень.

Незважаючи на ці виклики, розвиток технологій у сфері картографування печер продовжується і перспективи їх застосування розширюються завдяки автоматизації процесів та здешевленню обладнання.

Перспективи розвитку. Розвиток технологій знімання печер не стоїть на місці, і найближчими роками можна очікувати впровадження нових інновацій, які покращать ефективність та доступність цих методів. Однією з ключових тенденцій є мініатюризація обладнання. Сучасні технології дають змогу створювати компактніші та мобільніші лазерні сканери, дрони й сенсори, що робить картографування печер більш доступним і менш затратним [42]. Це особливо важливо для дослідження важкодоступних або вузьких печерних проходів, де великі прилади не можуть бути використані.

Ще однією перспективною тенденцією є комбінування UAV і фотограмметрії. Поєднання повітряної фотограмметрії з наземним лазерним скануванням дає змогу отримати комплексну картину як поверхневих, так і підземних об'єктів. Це надає нові можливості для більш детального аналізу печерних систем, їх морфології та екологічних умов [42]. Завдяки таким технологічним інтеграціям можна покращити точність геоприв'язки печер, що особливо важливо для великих і складних систем печерних лабіринтів.

Окрім цього, подальший розвиток технологій штучного інтелекту та машинного навчання дасть змогу автоматизувати обробку отриманих даних. Використання алгоритмів аналізу тривимірних моделей може значно скоротити час, необхідний для обробки великих обсягів даних, та спростити інтерпретацію результатів.

Загалом, майбутнє картографування печер є перспективним, впровадження новітніх технологій сприятиме не лише підвищенню точності досліджень, а й безпечному та ефективному вивченню підземних систем.

Загалом, використання сучасних методів картографування печер дає змогу значно покращити якість і точність отриманих даних, що важливо для наукових, екологічних і культурних досліджень.

Лазерне сканування стало важливим інструментом для вивчення природних підземних утворень, зокрема печер. Традиційні методи картографування, як-от геодезичні вимірювання та фотограмметрія, не завжди забезпечують достатню точність й ефективність при дослідженні складних підземних середовищ. Використання сучасних технологій, таких як наземне лазерне сканування (TLS) та ручні сканери, дає змогу отримувати високоточні 3D-моделі печер, що є корисними для геологічних досліджень, моніторингу змін і збереження унікальних природних об'єктів.

У роботі розглядають приклади застосування лазерного сканування для дослідження Медової печери (Львів) та печери Млиники (Тернопільська область). В обох випадках використано комбінацію наземного лазерного сканування та ручного сканера Stonex X120 GO, що дало змогу отримати високоточні тривимірні моделі.

Методологія дослідження. Дослідження печери Млиники проводилося з використанням сучасних технологій лазерного сканування, що дало змогу створити високоточну тривимірну модель її внутрішньої структури. Основна мета методики – отримати детальні просторові характеристики печери, оцінити її геологічні особливості, а також виявити потенційні зміни й деформації. Для цього використовували комбінацію

стаціонарного та мобільного лазерного сканування, що забезпечило комплексний підхід до збору даних.

Процес дослідження передбачав попередню підготовку, визначення ключових точок сканування, проведення вимірювань та подальшу обробку даних за допомогою геоінформаційних систем. Завдяки інтеграції отриманих даних у ГІС стало можливим здійснення просторового аналізу та візуалізації внутрішньої структури печери, що значно підвищило ефективність дослідження.

Обладнання та технології. У дослідженні печери Млинки застосовували сучасні високоточні інструменти та програмні засоби, що забезпечили детальне картографування її структури.

Лазерні сканери. Для збору геометричних характеристик печери використовували такі лазерні сканери: Leica ScanStation C10 – стаціонарний сканер із високою точністю вимірювань, який дає змогу отримувати хмару точок із міліметровою роздільною здатністю STONEX X120 GO – мобільний лазерний сканер, який забезпечував швидке сканування вузьких проходів та важкодоступних зон печери (рис. 1).

Для створення цифрових моделей використовували такі технології: наземне лазерне сканування (TLS) – застосоване для загального картографування печер. Ця технологія дає змогу отримати високу точність вимірювань та побудову тривимірної моделі з високою деталізацією.

Інтеграція даних у ГІС – отримані хмари точок обробляли та аналізували в геоінформаційних системах для подальшого просторового аналізу та візуалізації печерних утворень. GNSS-референтні точки – використовували для геоприв'язки моделей у загальній координатній системі (UTM 35).



Рис. 1. Використані прилади для досліджень а)сканер Leica ScanStation C10 та б) ручний лазерний сканер STONEX X120 GO

Процес збору та опрацювання даних. Процес збору та обробки даних під час дослідження печери Млинки передбачав кількох ключових етапів, які дали змогу отримати детальну тривимірну модель її внутрішньої структури (див. рис. 2).

На першому етапі здійснювалася підготовка до сканування, яка передбачала визначення ключових точок для розміщення сканерів, встановлення міток і контрольних точок (GCPs), а також налаштування обладнання відповідно до особливостей підземного середовища. Важливим аспектом цього етапу було планування маршруту для забезпечення оптимального покриття всієї печерної системи.



Рис. 2. Блок-схема методики створення віртуальної геологічної моделі

Далі відбувалося сканування печер, яке проводилося за допомогою різних типів обладнання. Стационарні лазерні сканери (наприклад, Leica ScanStation C10) використовували для детального сканування великих порожнин, тоді як мобільні лазерні сканери (STONEX X120 GO) дали змогу отримати точні дані у вузьких проходах і важкодоступних ділянках. Дані збирали з різних положень, що забезпечувало мінімізацію тінювих зон в отриманій хмарі точок (рис. 3).

Після збору даних розпочинався етап обробки, який містив формування хмари точок, фільтрацію шумів, корекцію можливих спотворень та об'єднання даних із різних точок для створення цілісної моделі печери. Фільтрація виконувалася для видалення зайвих відбиттів лазера або неточностей, спричинених умовами сканування.

Наступним важливим етапом була геоприв'язка, яка здійснювалася з використанням GNSS-приймачів. Координати контрольних точок визначалися з високою точністю, що допомагало прив'язати отриману хмару точок до глобальної системи координат.

Це давало змогу інтегрувати дані в ГІС для подальшого аналізу.

Останнім етапом була побудова 3D-моделей, яка здійснювалася у спеціалізованому програмному забезпеченні, як-от Leica Cyclone 3DReshaper та Move. Ці програми давали змогу не лише створити цифрову репрезентацію печери, а й провести структурний аналіз. Інтеграція отриманих моделей у ГІС-системи давала змогу виконувати просторовий аналіз та розробляти інтерактивні карти печерної системи.

Усі отримані дані стали основою для детальних досліджень морфологічних особливостей печери, а також її довготривалого моніторингу та візуалізації для наукових, освітніх і туристичних цілей.

Результати досліджень. Печера Млинки (рис. 4) розташована в межах Подільської височини, що є частиною західної околиці Східноєвропейської платформи. Вона сформована в гіпсових відкладах середнього міоцену (баденський ярус), які поширені вздовж південно-західного краю платформи. Ці відклади входять до складу тираської формації і містять гіпс та карбонатні породи [27].



Рис. 3. Сканування на кількох рівнях у різних частинах печери для отримання максимально точних даних про її геометрію

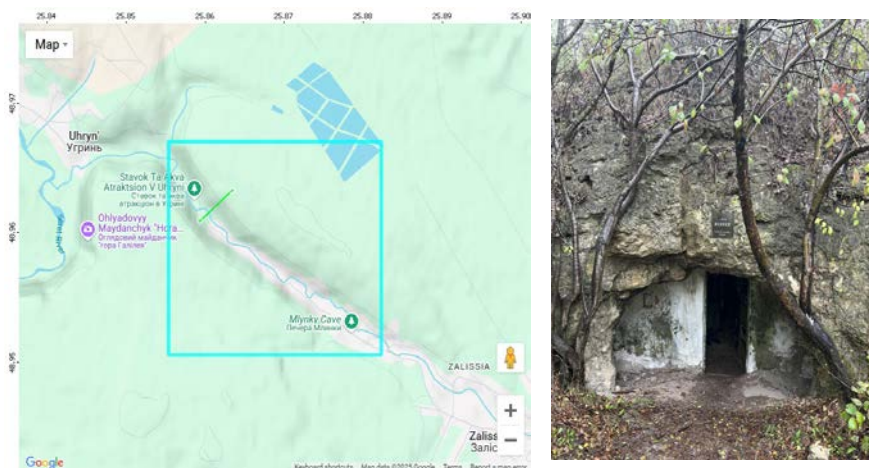


Рис. 4. Положення печери Млинки

Гіпсові пласти печери Млинки (рис. 5) належать до інтрастратального карсту, який формувався в умовах багатоярусної артезіанської системи. Гіпсовий пласт має потужність від 10 до 25 м і містить численні текстурні та структурні неоднорідності. Важливу роль у його формуванні відіграли тектонічні рухи, які сприяли утворенню багатоярусних тріщинних систем, що визначили морфологію печери [27].

Формування печери відбувалося внаслідок розвитку артезіанського карсту, де висхідні підземні потоки розчиняли гіпс у сприятливих гідродинамічних умовах. Спелеогенез у регіоні зумовлений існуванням багатоярусної мережі тектонічних тріщин, які контролюють морфологію підземних ходів. Основні тріщини простягаються в північно-західному та північно-східному напрямках, що відповідає регіональним структурним тенденціям [27].

Печера Млиники розташована в межах Волино-Подільського артезіанського басейну, де міоценові глини відіграють роль водотривкого покриву. Гіпсовий пласт спочатку виконував роль водопору, але внаслідок карстових процесів перетворився на водоносний горизонт з добре розвинутою системою тріщинної проникності. Підземні води формують висхідні потоки, які сприяють подальшому розчиненню гіпсу та розширенню печерних порожнин [27].

Печера Млиники є типовим прикладом гіпсового карсту Подільської височини. Вона сформувалася внаслідок розчинення гіпсу висхідними підземними потоками, що циркулювали через тектонічні тріщини в умовах артезіанської системи. Геологічна будова регіону, структурні особливості гіпсового пласта та гідрогеологічні умови визначили морфологію печери, її багатоярусну структуру й розвиток підземних ходів.

Під час дослідження печери Млиники створено високоточну 3D-модель з деталізацією до кількох міліметрів (рис. 6, 7). Це дало змогу отримати вичерпну інформацію про внутрішню морфологію печери, її структуру та можливі зміни в майбутньому.

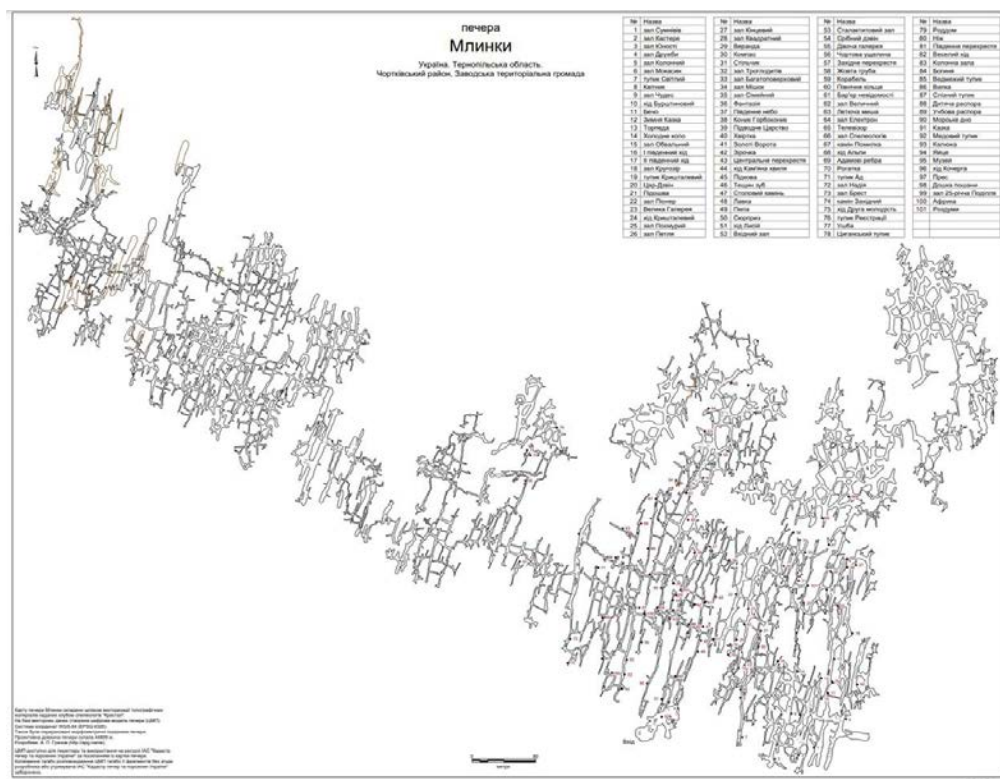


Рис. 5. Карта ходів печери Млиники

Під час аналізу виявлено ключові морфологічні особливості, серед яких складна система коридорів, різноманітні спелеотеми (зокрема, сталактити) та розвинена мережа тріщин.

Наші результати з вивчення тріщин, насамперед їх орієнтація, дуже добре узгоджуються з такими отриманими традиційними методами. На рисунку 8 порівняно

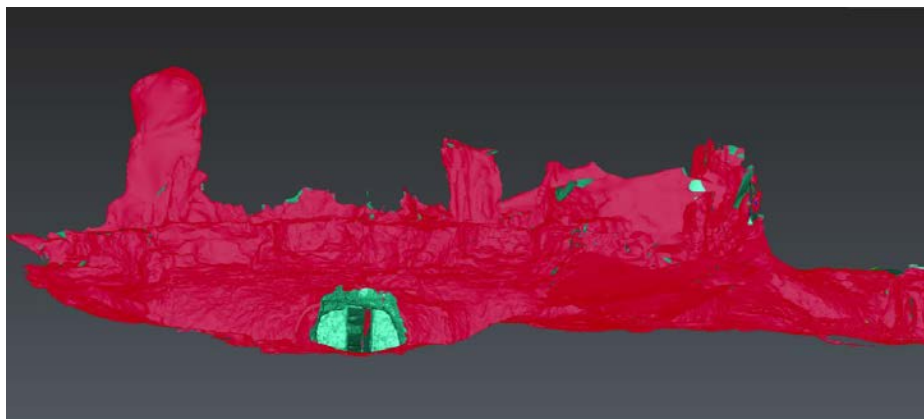


Рис. 6. Хмара точок, отримана в результаті ручного лазерного сканування частини ходів печери Млинки

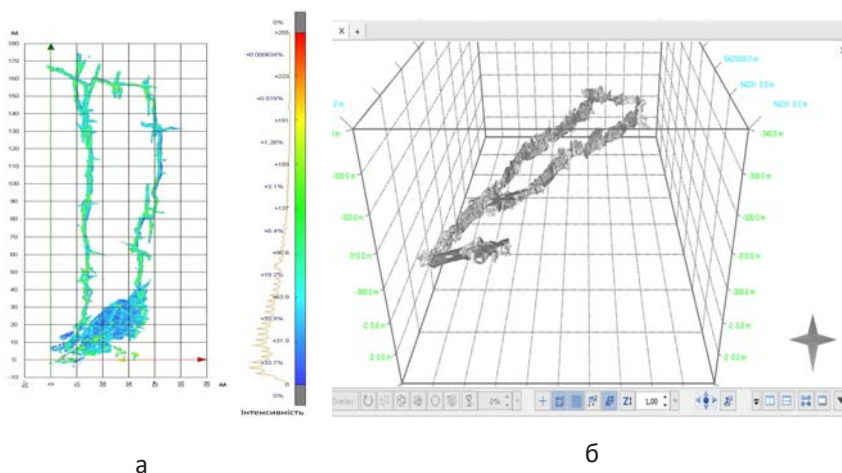


Рис. 7. а – 3D-Модель ділянки печери Млинки, відображена в інтенсивності (вигляд зверху);
б – 3D-модель частини ходів печери Млинки завантажена в програму Move

розо-діаграми тріщин однієї з ділянок печери Млинки. Тут показано результати опрацювання тріщин із використанням 3D-моделі, одержаної в цьому дослідженні, та класичні розо-діаграми, побудовані за результатами вимірів аналоговим геологічним компасом [5].

Дослідження структури печери дало змогу виконати аналіз геологічної стабільності, що містить визначення напрямків розвитку тріщин й оцінку ризиків можливих зсувів.

Уперше в процесі картографування застосовано ручний лазерний сканер, що дало змогу отримати дані навіть у найвужчих і найважкодоступніших ділянках печери. Це значно покращило якість і повноту отриманої 3D-моделі, забезпечивши можливість детально вивчення підземного простору.

Отримані результати сприяють подальшому моніторингу печери, її збереженню та використанню в наукових і туристичних цілях.

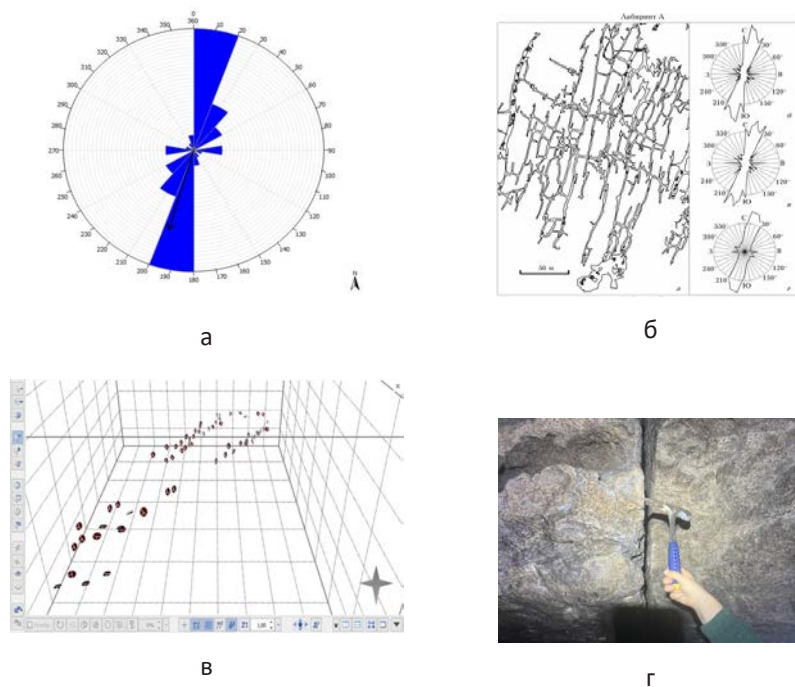


Рис. 8. а – розо-діаграма тріщин, побудована з використанням 3D-моделі; б – розо-діаграми тріщин цієї ж ділянки з роботи [5]; в – елементи залягання тріщин у програмі Move; г – типові тріщини печери Млинки

Медова печера: результати дослідження. Це ще один об'єкт, де група дослідників з Інституту геодезії національного університету Львівська політехніка проводила пілотні дослідження з використання новітніх технологій для вивчення печер [10].

Медова печера розташована в околицях міста Львова в межах Подільської височини (рис. 9).



Рис. 9. Положення печери Медова у Львові

Під час дослідження Медової печери застосовано метод наземного лазерного сканування (TLS), який дав змогу отримати детальні дані про внутрішню структуру печери. Високошвидкісне сканування забезпечило визначення просторових координат точок та створення тривимірної візуалізації печери в режимі реального часу.

Основні результати дослідження. Отримана хмара точок, що описує внутрішню структуру Медової печери, з високою точністю (рис. 9).

Виконано побудову розрізів печери, які допомагають аналізувати її морфологічні особливості та оцінювати просторові характеристики (рис. 10).

Проведено ідентифікацію «мертвих зон» ще на етапі польових робіт, що дало змогу скоригувати процес сканування для отримання повного охоплення.

Також уперше побудовано план Медової печери (рис. 11).

Використання TLS забезпечило неdestructивний метод збору просторової інформації без необхідності багатократного сканування з різних точок, як це часто необхідно у фотограмметричних методах.

Отримані результати дають змогу створити високоточну цифрову 3D-модель печери, яка може бути використана для подальшого аналізу геологічних характеристик, оцінки стабільності порід та моніторингу змін у підземному просторі.

Висновки. Лазерне сканування виявилось ефективним інструментом для детального аналізу печер. У дослідженні печери Млинки та Медової печери вдалося отримати високоточні цифрові моделі, що відкривають нові можливості для наукових і прикладних досліджень. Подальший розвиток технологій сканування дасть змогу ще точніше оцінювати морфологію печер та їхні зміни в часі.



Рис. 10. Модель хмари точок Медової печери та розташування маркерів [10]

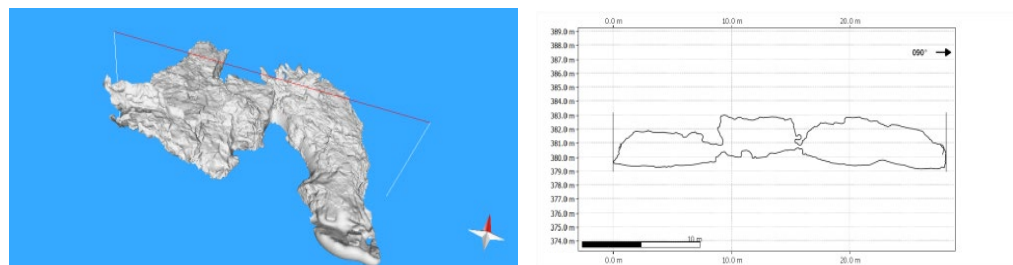


Рис. 11. Перетин Медової печери та розташування маркерів [10]

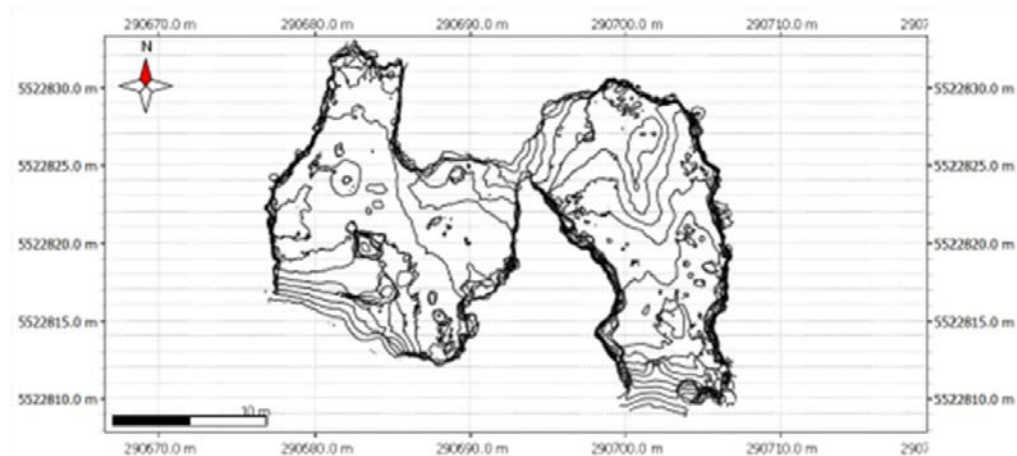


Рис. 12. План Медової печери [10]

Перспективи подальших досліджень:

- використання мобільних лазерних сканерів для швидкого картографування великих печерних систем;
- інтеграція даних з дронів для створення комплексних моделей поверхні та підземних структур;
- розробка методик автоматичного аналізу геологічних змін на основі багаточасових сканувань.

Так, сучасні методи лазерного сканування відкривають нові горизонти для геологічних, туристичних і природоохоронних досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондар К. М., Ридуш Б. Т., Гордієнко Т. Р. Петромагнітні та палеомагнітні дослідження пухких відкладів печери Буковинка (Чернівецька обл., Україна). 10-та Міжнародна конференція EAGE з геоінформатики: теоретичні та прикладні аспекти: тези доп. Київ, 2011. С. СР-240. European Association of Geoscientists & Engineers.
2. Зімелєс Ю. З., Снігур В. А. Печера Млинки. Печера Угринська. Тернопіль : ФОП Шабала Н.Є., 2012. 88 с.
3. Климчук О. Б. Гідрогеологічні умови розвитку і генезис карстових порожнин в неогенових сульфатних відкладах Волино-Подільського артезіанського басейну : автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ, 1999. 25 с.
4. Климчук О. Б. Розвиток теорії гіпогенного карстогенезу: наукові та практичні застосування (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 27 вересня 2017 р.). *Вісник Національної академії наук України*. 2017. № 11. С. 9–29.
5. Покалюк В. В., Аронський А. А., Шафранська Н. В., Матошко А. А. Тріщинуватість печер Поділля в аспекті ротаційних і тектонічних причин утворення. *Геофізичний журнал*. 2012. Т. 34. С. 101–112.
6. Шульц Р. В., Білоус М. В., Гончарюк О. М. Моніторинг пам'яток архітектури за допомогою даних наземного лазерного сканування. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2016. № 46. С. 202–207.
7. Andreychouk V., Worobiec E., Gedl P., Worobiec G. Origin of the palaeokarst in Miocene evaporites on the SW periphery of the Eastern European Platform in the light of palynological studies: a case study of the Zoloushka Cave, Bukovina, Western Ukraine. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*. 2014. Vol. 84. P. 30–41.
8. Bertash A., Keypen-Warditz D., Levoshko S. Orthodox cave churches and monasteries of the V–XX centuries in Russia and Ukraine: architectural traditions and technologies. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 1829–1835.

9. Bondar K., Ridush B. Rockmagnetic and palaeomagnetic studies of unconsolidated sediments of Bukovynka Cave (Chernivtsi region, Ukraine). *Quaternary International*. 2015. Vol. 357. P. 125–135.
10. Bubniak I., Oliinyk M., Tsikhon S., Golubinka Yu., Marko T. 3D model of Medova Cave, Lviv. Geodesy, *Cartography and Aerial Photography*. 2023. Issue 98. P. 31–41.
11. Columbu A., Calabrò L., Chiarini V., De Waele J. Stalagmites: from science application to museumization. *Geoheritage*. 2021. Vol. 13. P. 1–11.
12. Constantin S., Robu M., Munteanu C. M., Petculescu A., Vlaicu M., Mirea I., та ін. Reconstructing the evolution of cave systems as a key to understanding the taphonomy of fossil accumulations: The case of Urşilor Cave (Western Carpathians, Romania). *Quaternary International*. 2014. Vol. 339. P. 25–40.
13. Coombes M.A., La Marca E.C., Naylor L.A., Piccini L., De Waele J., Sauro F. The influence of light attenuation on the biogeomorphology of a marine karst cave: a case study of Puerto Princesa Underground River, Palawan, the Philippines. *Geomorphology*. 2015. Vol. 229. P. 125–133.
14. Craven S.A. White Scar Cave, Chapel-le-Dale, North Yorkshire, England. *Cave and Karst Science*. 2006. Vol. 33, No. 2. P. 79.
15. Engel A.S. Microbes. In: *Encyclopedia of Caves* / eds. W. B. White, D. C. Culver. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press, 2019. P. 691–698.
16. Fedje D., Mackie Q., McLaren D., Wigen B., Southon J. Karst caves in Haida Gwaii: Archaeology and paleontology at the Pleistocene–Holocene transition. *Quaternary Science Reviews*. 2021. Vol. 272. Article 107221.
17. Ford D., Williams P.D. Karst hydrogeology and geomorphology. Chichester: John Wiley & Sons, 2007. 562 p.
18. Frumkin A., Weinstein-Evron M. Nahal Me'arot caves: archive of human evolution against the background of prolonged karstic processes. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement*. 2021. Vol. 62. P. 283–300.
19. Gallay M., Kaňuk J., Hochmuth Z., Meneely J.D., Hofierka J., Sedlák V. Large-scale and high-resolution 3-D cave mapping by terrestrial laser scanning: a case study of the Domica Cave, Slovakia. *International Journal of Speleology*. 2015. Vol. 44, No. 3. P. 277–291.
20. Gerovasileiou V., Trygonis V., Sini M., Koutsoubas D., Voultsiadou E. Three-dimensional mapping of marine caves using a handheld echosounder. *Marine Ecology Progress Series*. 2013. Vol. 486. P. 13–22.
21. Goldberg P., Sherwood S.C. Deciphering human prehistory through the geoarchaeological study of cave sediments. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*. 2006. Vol. 15, No. 1. P. 20–36.
22. Goltenboth F., Timotius K.H., Milan P.P., Margraf J. (eds.). Ecology of insular Southeast Asia: the Indonesian archipelago. Amsterdam : Elsevier, 2006. 739 p.
23. Grigore S. A brief history of Ialomița Cave (Dâmbovița County, Romania). *Annales d'Université "Valahia" Târgoviște. Section d'Archéologie et d'Histoire*. 2020. Vol. 22, No. 1. P. 113–120.
24. Haslam M., Korisettar R., Petraglia M., Smith T., Shipton C., Ditchfield P. In Foote's steps: the history, significance and recent archaeological investigation of the Billa Surgam caves in southern India. *South Asian Studies*. 2010. Vol. 26, No. 1. P. 1–19.
25. Hofierka J., Hochmuth Z., Kaňuk J., Gallay M., Gessert A. Mapovanie jaskyne Domica pomocou terestrického laserového skenovania. *Geografický časopis*. 2016. Vol. 68, No. 1. P. 3–24.
26. Klimchouk A. Ukraine giant gypsum caves. In: *Encyclopedia of Caves* / eds. W. B. White, D. C. Culver. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press, 2019. P. 827–833.
27. Klimchouk A.V., Andreychouk V.N., Turchinov I.I. The structural prerequisites of speleogenesis in gypsum in the Western Ukraine. 2nd ed., revised. Sosnowiec–Simferopol : University of Silesia, Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, 2009. 96 p.

28. Kempe S. Morphology of speleothems in primary (lava-) and secondary caves. In: Treatise on geomorphology / ed. J. F. Shroder. Vol. 6. Amsterdam: Elsevier, 2013. P. 251–264.
29. Koning K., McFarlane R., Gosse J.T., Lawrence S., Carr L., Horne D., та ін. Biomineralization in cave bacteria—popcorn and soda straw crystal formations, morphologies, and potential metabolic pathways. *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. Article 933388.
30. Liu X., Shan Y., Ai G., Du Z., Shen A., Lei N. A scientific investigation of the Shangfang Mountain Yunshui Cave in Beijing based on LiDAR technology. *Land*. 2024. Vol. 13, No. 6.
31. Moseley M. Size matters: scalar phenomena and a proposal for an ecological definition of ‘cave’. *Cave and Karst Science*. 2009. Vol. 35, No. 3. P. 89–94.
32. Prijatelj A. History of cave archaeology in Slovenia: Politics, institutions, individuals, methods and theories. *Cave and Karst Science*. 2011. Vol. 38, No. 3. P. 137–143.
33. Shults R., Bilous M., Kovtun V. Monitoring and preservation of the Kyiv Pechersk Lavra Caves. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. Vol. 42. P. 1053–1058.
34. Straub R. Introduction to underwater cave surveying. *Mitteilungen des Verbandes der Deutschen Höhlen- und Karstforscher*. 2015.
35. Tabib W., Goel K., Yao J., Boirum C., Michael N. Autonomous cave surveying with an aerial robot. *IEEE Transactions on Robotics*. 2021. Vol. 38, No. 2. P. 1016–1032.
36. Urban J. Caves and karst sites of Poland as a contribution to geological heritage of Central Europe. *Polish Geological Institute Special Papers*. 2004. Vol. 13. P. 89–96.
37. Valladas H., Kaltnecker E., Quiles A., Tisnérat-Laborde N., Genty D., Arnold M., та ін. Dating French and Spanish prehistoric decorated caves in their archaeological contexts. *Radiocarbon*. 2013. Vol. 55, No. 3. P. 1422–1431.
38. Vassilakis E., Konsolaki A. Quantification of cave geomorphological characteristics based on multi source point cloud data interoperability. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 2022. Vol. 63. P. 265–277.
39. White W.B. Surveying caves. In: *Encyclopedia of Caves* / eds. W. B. White, D. C. Culver. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press, 2019. P. 1013–1022.
40. White W.B., Culver D.C. Cave, definition of. In: *Encyclopedia of Caves* / eds. W. B. White, D. C. Culver. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press, 2019. P. 255–259.
41. Woodfill B.K., Guenter S., Monterroso M. Changing patterns of ritual activity in an unlooted cave in central Guatemala. *Latin American Antiquity*. 2012. Vol. 23, No. 1. P. 93–119.
42. Zhou W., Gao Z., Li H., Xiong K. Research on karst cave mapping based on terrestrial laser scanning. *Carsologica Sinica*. 2022.
43. Zlot R., Bosse M. Three-dimensional mobile mapping of caves. *Journal of Cave & Karst Studies*. 2014. Vol. 76, No. 3. P. 191–202.

REFERENCES

1. Bondar, K.M., Rydush, B.T., & Hordiienko, T.R. (2011). Petromahnitni ta paleomahnitni doslidzhennia pukhkykh vidkladiv pechery Bukovynka (Chernivetska obl., Ukraina) [Petromagnetic and paleomagnetic investigations of unconsolidated deposits in the Bukovynka Cave (Chernivtsi Region, Ukraine)]. In 10-ta Mizhnarodna konferentsiia EAGE z heoinformatyky: teoretychni ta praktychni aspekty: tezy dop. (p. CP-240). Kyiv: European Association of Geoscientists & Engineers [in Ukrainian].
2. Zimels, Yu.Z., Snihur, V.A. (2012). Pechera Mlynky. Pechera Uhrynska. Ternopil: FOP Shabala N. Ye. [in Ukrainian].
3. Klymchuk, O.B. (1999). Hidrogeolohichni umovy rozvytku i henezys karstovykh porozhnyh v neohenovykh sulfatnykh vidkladakh Volyno-Podilskoho artezianskoho baseinu: avtoref. dys. d-ra heol. nauk. Kyiv, [in Ukrainian].
4. Klymchuk, O.B. (2017). Rozvytok teorii hipohennoho karstohenezu: naukovy ta praktychni zastosuvannia (za materialamy naukovoi dopovidy na zasidanni Prezidii NAN Ukrainy

- 27 veresnia 2017 r.) [Development of the theory of hypogene karstogenesis: scientific and practical applications (based on the scientific report at the meeting of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine, September 27, 2017)]. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*. No. 11. P. 9–29. [in Ukrainian].
5. Pokaliuk V.V., Aronskyi A.A., Shafranska N.V., Matoshko A.A. (2012). Trishchynuvatist pecher Podillia v aspekti rotatsiinykh i tektonichnykh prychyn utvorennia [Fracturing of the Podillia caves in the context of rotational and tectonic causes of formation]. *Geofizychnyi zhurnal*. Vol. 34. P. 101–112.
 6. Shults, R.V., Bilous, M.V., Honcheriuk, O.M. (2016). Monitorynh pamiatok arkhitektury za dopomohoiu danykh nazemnoho lazernoho skanuvannia. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia [Monitoring of architectural monuments using terrestrial laser scanning data]. No. 46. P. 202–207.
 7. Andreychouk, V., Worobiec, E., Gedl, P., & Worobiec, G. (2014). Origin of the palaeokarst in Miocene evaporites on the SW periphery of the Eastern European Platform in the light of palynological studies: a case study of the Zoloushka Cave, Bukovina, Western Ukraine. In *Annales Societatis Geologorum Poloniae* (Vol. 84).
 8. Bertash, A., Keypen-Warditz, D., & Levoshko, S. (2016). Orthodox cave churches and monasteries of the V-XX centuries in Russia and Ukraine: architectural traditions and technologies. *Procedia engineering*, 165, 1829–1835.
 9. Bondar, K., & Ridush, B. (2015). Rockmagnetic and palaeomagnetic studies of unconsolidated sediments of Bukovynka Cave (Chernivtsi region, Ukraine). *Quaternary International*, 357, 125–135.
 10. Bubniak I., Oliinyk M., Tsikhon S., Golubinka Yu., Marko T. (2023). 3d model of Medova cave, Iviv, Geodesy, cartography and aerial photography. Issue 98, 2023, p. 31–41.
 11. Columbu, A., Calabrò, L., Chiarini, V., & De Waele, J. (2021). Stalagmites: from science application to museumization. *Geoheritage*, 13, 1–11.
 12. Constantin S., Robu M., Munteanu C. M., Petculescu A., Vlaicu M., Mirea I. et al. Reconstructing the evolution of cave systems as a key to understanding the taphonomy of fossil accumulations: The case of Urșilor Cave (Western Carpathians, Romania). *Quaternary International*. 2014. Vol. 339. P. 25–40.
 13. Coombes, M.A., La Marca, E.C., Naylor, L.A., Piccini, L., De Waele, J., & Sauro, F. (2015). The influence of light attenuation on the biogeomorphology of a marine karst cave: a case study of Puerto Princesa Underground River, Palawan, the Philippines. *Geomorphology*, 229, 125–133.
 14. Craven, S.A. (2006). White Scar Cave, Chapel-le-Dale, North Yorkshire, England. *Cave and karst science*, 33(2), 79.
 15. Engel, A. S. (2019). Microbes. In *Encyclopedia of Caves* (pp. 691–698). Academic Press.
 16. Fedje, D., Mackie, Q., McLaren, D., Wigen, B., & Southon, J. (2021). Karst caves in Haida Gwaii: Archaeology and paleontology at the Pleistocene-Holocene transition. *Quaternary Science Reviews*, 272, 107221..
 17. Ford, D., & Williams, P.D. (2007). Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons.
 18. Frumkin, A., & Weinstein-Evron, M. (2021). Nahal Me ‘arot caves: archive of human evolution against the background of prolonged karstic processes. *Z Geomorphol Supp*, 62, 283–300.
 19. Gallay, M., Kaňuk, J., Hochmuth, Z., Meneely, J. D., Hofierka, J., & Sedlák, V. (2015). Large-scale and high-resolution 3-D cave mapping by terrestrial laser scanning: a case study of the Domica Cave, Slovakia. *International Journal of Speleology*, 44(3), 277–291.
 20. Gerovasileiou, V., Trygonis, V., Sini, M., Koutsoubas, D., & Voultsiadou, E. (2013). Three-dimensional mapping of marine caves using a handheld echosounder. *Marine Ecology Progress Series*, 486, 13–22..
 21. Goldberg, P., & Sherwood, S.C. (2006). Deciphering human prehistory through the geoarcheological study of cave sediments. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 15(1), 20–36.

22. Goltenboth, F., Timotius, K.H., Milan, P.P., & Margraf, J. (Eds.). (2006). Ecology of insular Southeast Asia: the Indonesian archipelago. Elsevier.
23. Grigore, S. (2020). A brief history of Ialomița Cave (Dâmbovița County, Romania). *Annales d'Université "Valahia" Târgoviște. Section d'Archéologie et d'Histoire*, 22(1), 113–120.
24. Haslam, M., Korisettar, R., Petraglia, M., Smith, T., Shipton, C., & Ditchfield, P. (2010). In Foote's steps: the history, significance and recent archaeological investigation of the Billa Surgam caves in southern India. *South Asian Studies*, 26(1), 1–19.
25. Hofierka, J., Hochmuth, Z., Kaňuk, J., Gallay, M., & Gessert, A. (2016). Mapovanie jaskyne Domica pomocou terestrického laserového skenovania. *Geografický časopis*, 68(1), 3–24.
26. Klimchouk, A. (2019). Ukraine giant gypsum caves. In *Encyclopedia of Caves*, Third Edition.
27. Klimchouk, A.V., Andreychouk, V.N., & Turchinov, I.I. (2009). The structural prerequisites of speleogenesis in gypsum in the Western Ukraine (2nd ed., revised). Sosnowiec–Simferopol: University of Silesia & Ukrainian Institute of Speleology and Karstology.
28. Kempe, S. (2013). Morphology of speleothems in primary (lava-) and secondary caves. In J. F. Shroder (Ed.), *Treatise on geomorphology* (Vol. 6, pp. 251–264). Elsevier.
29. Koning, K., McFarlane, R., Gosse, J. T., Lawrence, S., Carr, L., Horne, D., ... & Cheeptham, N. (2022). Biomineralization in cave bacteria—popcorn and soda straw crystal formations, morphologies, and potential metabolic pathways. *Frontiers in Microbiology*, 13, 933388.
30. Liu, X., Shan, Y., Ai, G., Du, Z., Shen, A., & Lei, N. (2024). A Scientific Investigation of the Shangfang Mountain Yunshui Cave in Beijing Based on LiDAR Technology. *Land*, 13(6), 895.
31. Moseley, M. (2009). Size matters: scalar phenomena and a proposal for an ecological definition of 'cave'. *Cave and Karst Science*, 35(3), 89–94.
32. Prijatelj, A. (2011). History of cave archaeology in Slovenia: Politics, institutions, individuals, methods and theories. *Cave and Karst Science*, 38(3), 137–143.
33. Shults, R., Bilous, M., & Kovtun, V. (2019). Monitoring and preservation of the Kyiv Pechersk Lavra Caves. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 1053–1058.
34. Straub, R. (2015). Introduction to underwater cave surveying. *Mitteilungen des Verbandes der Deutschen Höhlen- und Karstforscher*.
35. Tabib, W., Goel, K., Yao, J., Boirum, C., & Michael, N. (2021). Autonomous cave surveying with an aerial robot. *IEEE Transactions on Robotics*, 38(2), 1016–1032.
36. Urban, J. (2004). Caves and karst sites of Poland as a contribution to geological heritage of Central Europe. *Polish Geological Institute Special Papers*, 13, 89–96.
37. Valladas, H., Kaltnecker, E., Quiles, A., Tisnérat-Laborde, N., Genty, D., Arnold, M., ... & Simonnet, R. (2013). Dating French and Spanish prehistoric decorated caves in their archaeological contexts. *Radiocarbon*, 55(3), 1422–1431.
38. Vassilakis, E., & Konsolaki, A. (2022). Quantification of cave geomorphological characteristics based on multi source point cloud data interoperability. *Z. Fur Geomorphol*, 63, 265–277.
39. White, W. B. (2019). Surveying caves. In *Encyclopedia of Caves*, Third Edition.
40. White, W. B., & Culver, D. C. (2019). Cave, definition of. In *Encyclopedia of Caves* (pp. 255–259). Academic Press.
41. Woodfill, B. K., Guenter, S., & Monterroso, M. (2012). Changing patterns of ritual activity in an unlooted cave in central Guatemala. *Latin American Antiquity*, 23(1), 93–119.
42. Zhou, W., Gao, Z., Li, H., & Xiong, K. (2022). Research on karst cave mapping based on terrestrial laser scanning. *Carsologica Sinica*.
43. Zlot, R., & Bosse, M. (2014). Three-dimensional mobile mapping of caves. *Journal of Cave & Karst Studies*, 76(3), 191–202.

LASER SCANNING OF CAVES: ADVANCED TECHNOLOGIES FOR EXPLORING UNDERGROUND SPACES BASED ON THE EXAMPLES OF MEDOVA CAVE AND MLYNKY CAVE

**Ihor Bubniak, Andrii Bubniak, Anatolii Vivat, Taras Marko,
Kateryna Boiko**

*Lviv Polytechnic National University, Karpinskyi Str., 6, Lviv, Ukraine, 79013
e-mail: ihor.m.bubniak@lpnu.ua*

This article presents the results of a study of two gypsum karst caves—Mlynky Cave (Ternopil region) and Medova Cave (Lviv region)—which are among the most remarkable speleological sites of the Podillia Upland. The primary goal of the study was to develop accurate 3D digital models of the internal cave structures for spatial analysis, geological interpretation, morphological characterization, and long-term geodynamic monitoring. A combination of terrestrial laser scanning (TLS) using a Leica ScanStation C10 and a handheld mobile laser scanner STONEX X120 GO was employed. This approach enabled detailed data acquisition from both large chambers and narrow, hard-to-access passages. The resulting point clouds were processed using specialized software and integrated into Geographic Information Systems (GIS) with precise global georeferencing via GNSS ground control points (UTM Zone 35).

Special attention is given to the methodology of data acquisition, filtering, and point cloud processing, as well as to the construction of high-resolution 3D models. In the case of Mlynky Cave, geological interpretation focused on the Badenian gypsum strata, the role of interstratal karst, and the dominant orientations of tectonic fractures that shape the cave system. The survey of Medova Cave led to its first complete digital mapping, identification of morphological features, and generation of a detailed spatial model for future studies.

The research confirms the effectiveness of modern laser scanning technologies for geological mapping of underground voids, their documentation and preservation, and their integration into conservation, scientific, and geotouristic frameworks. The obtained models and analyses provide a foundation for monitoring cave stability, identifying risk-prone areas, and developing virtual geotourism experiences.

Key words: caves, laser scanning, gypsum karst, 3D modelling, geographic information systems, Podillia, Mlynky Cave, Medova Cave, morphological analysis, georeferencing.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ПРИРОДНІ УМОВИ, ТЕХНОГЕННЕ ПОРУШЕННЯ ТА ГЕОХІМІЧНІ ЗМІНИ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ШЕПТИЦЬКОГО (ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО) ГІРНИЧО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

Ганна Буцацька¹, Василь Дяків¹, Віталій Саднік²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: hanna.buchatska@lnu.edu.ua; dyakivw@yahoo.com

²Національний університет «Львівська політехніка»,
пл. Св. Юра 9, Львів, Україна, 79013, e-mail: vitalii.y.stadnik@lpnu.ua

Проведено аналіз стану природних умов найбільшого вуглевидобувного комплексу на Заході України до початку гірничих робіт, зміни геологічного середовища внаслідок понад півстолітнього видобування кам'яного вугілля, просідання поверхні над видобувними полями, накопичення відходів вуглевидобутку та вуглезбагачення, із їхніми екзогенними й пірометаморфічними змінами, а також природно-техногенної трансформації Червоноградського (Шептицького) гірничо-промислового району (далі – ЧГПР). На основі рентгенофлуоресцентного аналізу відходів вуглевидобутку, оцінки хімічного складу вод у верхньокрейдовому горизонті тріщинуватих мергелів, аналізу надходження фтору в підземні води водозаборів ЧГПР встановлено підвищені вмісти геохімічно-рухомих важких металів, як-от Манган Сторнцій, Нікель, Рубідій, Хром, Мідь, Цинк, Ітрій та, імовірно, інші рідкісноземельні елементи ітрієвої групи, Плюмбум та Арсен, а також такі елементи, як Літій, Ванадій, Бісмут, Кобальт, Молибден, Кадмій, Ртуть, Барій, Уран виявлені іншими дослідниками.

Кислі сульфатні води з териконів та відвалу збагачувальної фабрики, які утворюються внаслідок екзогенного окислення піриту, сприяють підвищенню геохімічної рухливості більшості мікроелементів. Крім того, кислі інфільтрати потрапляють у геофільтраційне поле, рухаються від техногенних об'єктів до річок Західний Буг, Рата та Солокія, а також до водозаборів підземних вод у верхньокрейдовому горизонті тріщинуватих мергелів. Кислі сульфатні води активно взаємодіють з тріщинуватими мергелями верхньої крейди, нейтралізуються та спричиняють екстракцію Фтору з карбонатної і глинистої складової водоносною товщі з його концентруванням у підземних водах, що вилучаються водозаборами. Найбільш несприятливі умови притаманні для Соснівського водозабору, вода якого в середині 90-х років спричинила гіпоплазію та флюороз у дітей.

Ключові слова: Червоноградський (Шептицький) гірничо-промисловий район, відходи видобутку вугілля, рентгенофлуоресцентний аналіз, геохімічна рухливість, кислі інфільтрати, важкі метали, вилуговування Фтору, підземні води, забруднення.

Вступ. Природні гідрогеологічні умови території в околицях міст Шептицький (Червоноград), Соснівка, селища Гірник, сіл Сілець, Межиріччя, Острів, Ванів, Глухів та деяких інших визначаються особливостями геологічної будови. У природних умовах, поверхневі та підземні води незабруднені й порушені лише окремими меліоративними каналами як гідротехнічними способами осушення перезволожених земель. До 1953 р. населення цієї території головно використовувало ґрунтові води четвертинних відкладів

через індивідуальні колодязі та річкову воду напряму для поливу чи використання як технічної та навіть питної води.

У період інтенсивного індустріального розвитку в другій половині XX століття (від початку 1950-х років і до нашого часу) геологічне середовище досліджуваної території зазнає суттєвих техногенних змін як частина Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Тут були розвідані промислові поклади кам'яного вугілля на площі близько 10 тис. кв. км, із розвіданими балансовими запасами біля 970 млн т. У межах Шептицького (Червоноградського) гірничо-промислового району кам'яне вугілля видобувать понад 60 років. У різний час тут працювало 12 шахт, функціонує збагачувальна фабрика, для промислових потреб та водопостачання населення відбиралась вода з 5 водозаборів сумарним об'ємом до 100 тис. м³/добу. Тривале в часі функціонування гірничо-видобувного та збагачувального комплексу з порушенням цілісності геологічного середовища й накопиченням відходів зумовило техногенні порушення та геохімічні зміни гідрогеологічної системи.

Постановка проблеми. Територія Шептицького (Червоноградського) гірничо-промислового району разом з населеними пунктами, копальнями з видобутку вугілля та їх інфраструктурою вважають одним з найбільш забруднених у Львівській області. Тут є проблеми з геологічним середовищем (просіданням поверхні над виробленим простором), якістю атмосферного повітря від горіння вугільних відходів та хімічним складом підземних вод, які призвели до епідемічно значущої захворюваності дітей на флюороз зубів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цій проблемі присвячена низка публікацій, авторами яких є С. І. Бик, В. І. Узіюк, Г. М. Бучацька, В. О. Дяків, Г. І. Рудько, Ю. П. Скятинський, В. П. Федосєєв, О. О. Мацієвська [1–4; 6; 7; 10–13]. У цих роботах розглянуті екологічні та геохімічні наслідки експлуатації копалин ЧГПР. У роботі Н. О. Крюченко детально розглянуто геохімічну поведінку Фтору [8].

У працях Ф. А. Руденко, R. C. Doble, C. T. Simmons, G. R. Walker, G. Nilson, T. Franz [9; 14; 16] розглянуто теоретичні та прикладні аспекти гідрогеології, гідрогеологічного й геофільтраційного моделювання.

Водночас ми не натрапили на публікації, де висвітлено комплексні підходи до аналізу природних умов, техногенних порушень та геохімічних змін гідрогеологічної системи Шептицького (Червоноградського) гірничо-промислового району.

Мета статті – оцінити природні умови, рівня техногенного порушення та геохімічних змін гідрогеологічної системи Шептицького (Червоноградського) гірничо-промислового району від видобування кам'яного вугілля, обґрунтування впливу цих змін на геодинамічні, гідродинамічні умови району досліджень та простежування їх впливу на екологічну ситуацію досліджуваного району через видобування кам'яного вугілля, складування вуглевмісних порід на поверхні у вигляді териконів та відвалів, просідання поверхні над виробленим простором, формування мульд осідання, забруднення поверхневих і підземних вод, зміна їх хімічного складу та появу шкідливих для людського організму компонентів.

Методика досліджень – вивчення фондових матеріалів, польові моніторингові спостереження у зоні впливу вугільних копалин ЧГПР, аналіз гідрогеологічних умов, рентгенофлюоресцентний аналіз вугільних відвалів, аналіз хімічного складу поверхневих та підземних вод.

Виклад основного матеріалу. Природні умови гідрогеологічної системи території в околицях міст Шептицький (Червоноград), Соснівка, селища Гірник, сіл Сілець, Межиріччя, Острів, Ванів, Глухів та деяких інших визначаються особливостями геологічної будови, природною захищеністю зони активного водообміну від токсикантів. Насамперед це рівнинний рельєф, що нівелює чи мінімізує ерозійні процеси, відсутність чи слабкий

прояв геодинамічних процесів, як-от карбонатний карст, виражена гідрогеологічна стратифікація, мінімальне використання підземних вод переважно із четвертинного водоносного горизонту, що майже не порушує систему та відсутність потужних техногенних джерел забруднення. Підземні води розвантажувалися в річкову мережу басейну Балтійського моря, у річку Західний Буг та його притоки Солокія та Рата з допливом Болотня і вагомих геоекологічних проблем не фіксували (рис. 1).

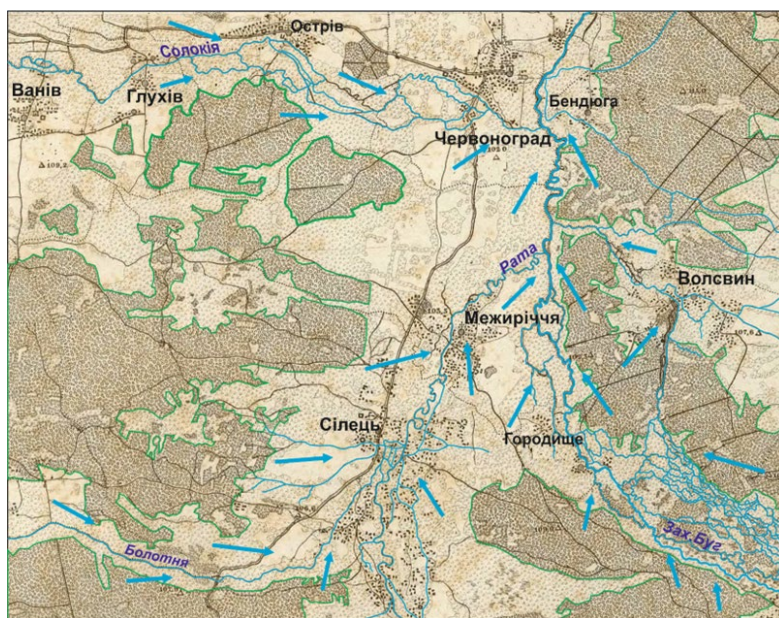


Рис. 1. Природний ландшафт території м. Червоноград (нині Шептицький) та прилеглих до нього населених пунктів до початку гірничих робіт

Шептицький гірничо-промисловий район, площею 180 км², розташований на території однойменного району в північній частині Львівської області. Геологічно належить до Львівсько-Волинського кам'яновугільного суббасейну, який є продовженням Люблінського басейну в Республіці Польща (рис. 2).

Тут у вугленосній товщі кам'яновугільного періоду, виявлено пласти й пропластки вугілля із сумарною потужністю вугільних пластів більше 12 метрів [1; 2; 10]. З робочою потужністю (понад 60 см) виділяють 30 пластів, з них лише від одного до трьох найпотужніших пластів, на глибинах 450–550 м з потужністю до 1,5 м експлуатували шахти.

Досліджувану територію відносять до Західноукраїнської лісостепової фізико-географічної провінції. Північна частина району належить до Волинської височини, а південна – до Верхньо-Бузької котловини (Малого Полісся), межу між якими проводять біля м. Червоноград, по північних межах долин річок Солокія та Білосток.

Волинська височина геоморфологічно має характер плато з рівною поверхнею, глибокими і вузькими долинами з крутими схилами й широко розгалуженою системою ярово-балкової мережі. Мале Полісся є рівниною поліського типу, яка складена головню флювіогляціальними та алювіальними відкладами.

Клімат ЧГПР помірно-континентальний, його характеризують м'якістю та високою вологістю. На його формування впливає морське атлантичне повітря, яке влітку зумовлює

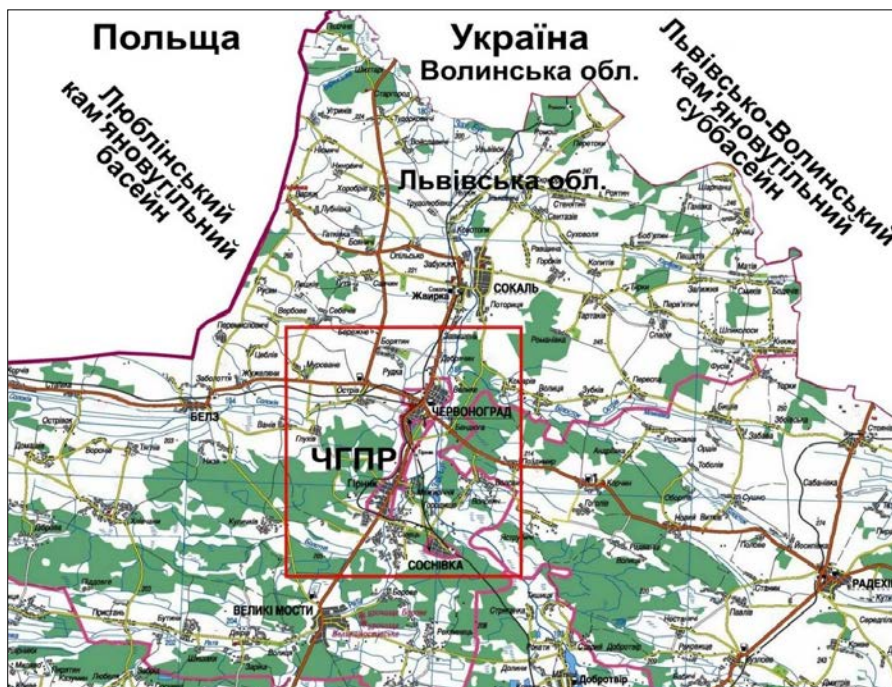


Рис. 2. Адміністративне розташування ЧГПР – складової частини Львівсько-Волинського суббасейну, який є продовженням Люблінського кам'яновугільного басейну

похолодання, а взимку – потепління. Тут спостерігають часті відлиги взимку, значну хмарність і затяжні дощі. Континентальність клімату пом'якшується переміщенням повітряних мас із заходу та особливостями рельєфу. Кількість опадів становить у середньому 642 мм на рік. Найбільше опадів випадає в теплу пору року. Середньорічні величини відносної вологості повітря становлять 80–85 %, середня випаровуваність з поверхні ґрунту становить 550–600 мм, з водної поверхні не перевищує 550 мм (рис. 3, 4) [2].

На температурний режим, кількість атмосферних опадів в останні десятиріччя впливає забруднення атмосферного повітря від горіння териконів та відвалу збагачувальної фабрики.

Головними річками є Західний Буг з лівими притоками Рата та Солокія, типово рівнинними з повільною течією. Широкі долини річок виповнені флювіогляціальними та алювіальними відкладами з глибокими врізами в корінні верхньокрейдові відклади. Заплави річок з плоскою поверхнею і нахилом у сторону русел, часто заболочені й заторфовані, з мережею меліоративних каналів. Надзаплавні тераси є тільки в долинах рік Західний Буг, Солокія та деяких їхніх приток [2].

Значно впливає на трансформацію річкової мережі та формування гідроекологічної ситуації в басейні Західного Бугу осушувальна меліорація. Інтенсивно меліорували територію в 60-ті роки минулого століття і полягала вона в русловипрямленні та русло поглиблюванні [7]. До 50 років змін зазнали лише незначні ділянки русел рік Рата, Полтва та Солокія. Сучасний стан малих річок басейну Західного Бугу характеризують переважанням антропогенно змінених типів русел. Майже 40 % території басейнової системи осушено, 80–90 % річок-водоприймачів дренажних вод спрямлено [5].

З позицій регіональної гідрогеології досліджувана територія належить до Волинсько-Подільського артезіанського басейну, зоною живлення якого є західний мегасхил Українського кристалічного щита. Тут підземні води виявлені в усіх осадових формаціях, проте промислово використовують лише води верхньокрейдового водоносного горизонту.

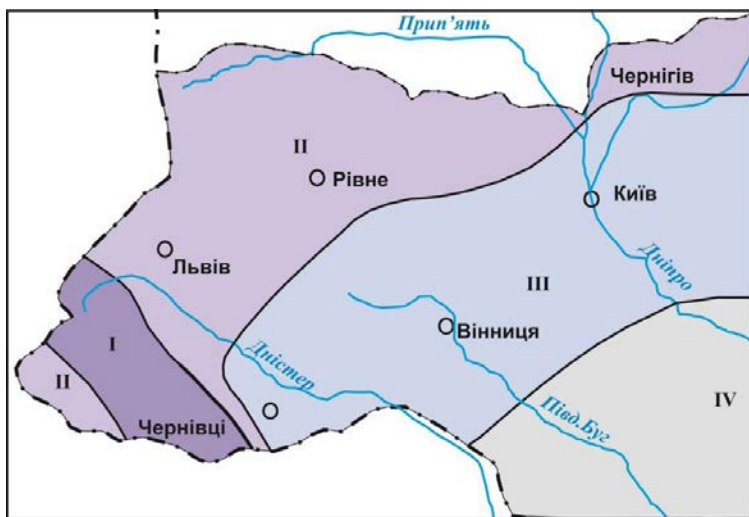


Рис. 3. Зони зволоження території України (за І. С. Бучинським): I – зони зволоження (I – зона надлишкового зволоження з $K_{зв} > 1,2$; II – зона достатнього зволоження з $K_{зв} = 1,0-1,2$; III – зона нестійкого зволоження з $K_{зв} = 0,76-1,0$; IV – зона недостатнього зволоження з $K_{зв} = 0,5-0,75$)

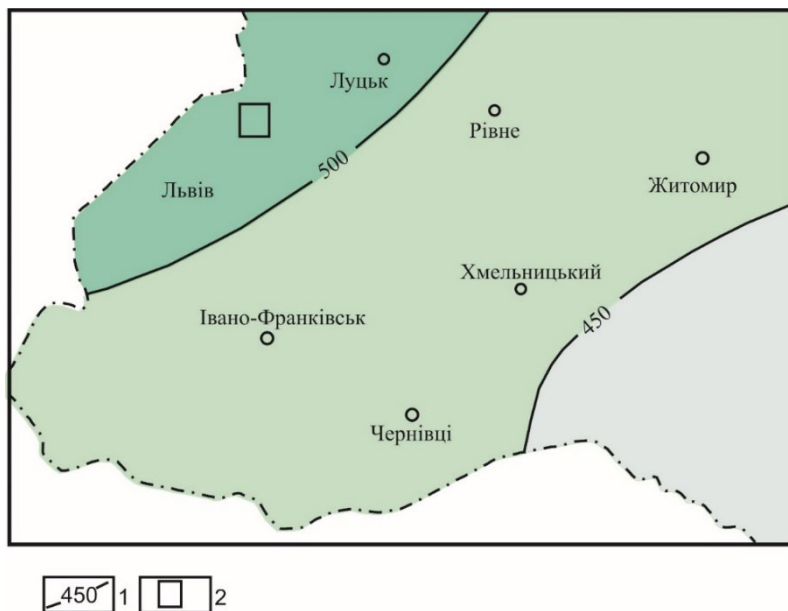


Рис. 4. Випаровування з поверхні суші як різниця між кількістю опадів та стоком (за В. М. Бабиченком): 1 – ізолінії кількості випаровування (мм/рік); 2 – район досліджень

Цей водоносний горизонт зазвичай називають сеноманським через те, що розпо-всюджений у зоні вилуговування мергелів однойменного над'ярусу, має значну потужність, широке територіальне поширення і є напірним. Безнапірний режим цього водоносного горизонту виявляється на вододілах. Напірний режим створюється на Подільській та Волинській височинах, а розвантажується водоносний горизонт у долини рік та балок численними джерелами, що зумовлює напрямок течії підземного потоку від вододілів до долини р. Західний Буг і його допливів.

Геолого-геоморфологічні умови формування водного стоку та хімічного складу природних вод басейну істотно змінені. Характерною особливістю геологічної будови водозбору Західного Бугу є залягання вище від місцевих базисів ерозії карбонатних порід верхньої крейди, які представлені сильно тріщинуватими й закарстованими вапняками та мергелями, які й зумовлюють формування сольового складу води річки [12].

Населені пункти здебільшого зосереджені в долинах річок, головню в долині Західного Бугу та пригірлових частинах Рати та Солокії. Тут розташовані два найбільші міста Червоноград та Соснівка, селище міського типу Гірник, сільські населені пункти Межиріччя, Сілець, Вільшина, Городище фактично створюють суцільну промислово-сільську агломерацію в техногенно найбільш перевантаженій ділянці району – межиріччі рр. Рати та Солокії (нижня частина) і Західного Бугу. Інші населені пункти розташовані в північно-західній частині ЧГПР (Ванів, Глухів, Муроване, Острів, Рудка, Борятин, Добрячин) та на правому березі р. Західний Буг (Бендюга та Волсвин).

Геологічна будова. До глибини 2 км ШГПР складений відкладами четвертинної, крейдової, юрської, кам'яновугільної та девонської систем. Комплекси порід силурійської, ордовіцької та кембрійської систем, а також докембрійського кристалічного фундаменту поширені на більших глибинах та виходять на поверхню на суміжних територіях на відстані близько 10–150 км.

Геологічна карта домезозойських відкладів і геологічні розрізи ЧГПР та прилеглих територій показані на рис. 5.

Девонські відклади розвинені на глибинах 1000–1400 м і представлені трьома відділами. Нижній відділ складений товщею червоно-палевих пісковиків, алевролітів, алевритистих аргілітів і глин, потужністю 750–1200 м.

Середній відділ складений чергуванням темних кавернозних доломітів з вапняками й аргілітами, рідше алевролітами, пісковиками, глинами і гіпсами, потужністю 150–200 м. Верхній відділ складений доломітовими відмінами порід (доломіти, доломітизовані вапняки, глини) і товщею вапняків з прошарками доломітів, потужністю 750–1000 м.

Кам'яновугільні відклади поширені по всій площі ШГПР і представлені нижнім та середнім відділом. Породи, що містять вугільні пласти – це аргіліти, алевроліти, пісковики. Промисловий видобуток вугілля ведуть із відкладів бужанської світи серпухівського та нижньої частини башкирського ярусів нижнього карбону. Розріз кам'яновугільної продуктивної товщі (частина, яку відробляють) добре витриманий по площі для всього району.

На розмитій поверхні кам'яновугільної системи залягають юрські відклади, що у вигляді розрізнених ділянок розташовані в пониженнях рельєфу, які збереглися від розмивання. Юрські відклади представлені гіпсами, ангідритами, пісковиками, конгломератами, зрідка глинами та аргілітами. Їхня потужність у районі не перевищує 10 м, головню 1–3 м.

Відклади крейдової системи представлені сеноманським, туронським, коньякським, кампанським і маастрихтським ярусами. У нижній частині це пісковики, мергелі і вапняки. Вище за розрізом залягають мергельно-крейдяні породи, які в південно-західному напрямі заміщені крейдяноподібними вапняками, далі – мергелями й пісковиками. На



За природними гідрогеологічними умовами досліджуваний район належить до Волинсько-Подільського артезіанського басейну. Підземні води поширені в усіх стратиграфічних відкладах, проте промислово використовують лише води верхньокрейдового водоносного горизонту. Сеноманський водоносний горизонт розповсюджений у зоні вилугування мергелів сенонського над'ярусу, має значну потужність, широке територіальне поширення і є напірним. Безнапірний характер простежується на вододілах,

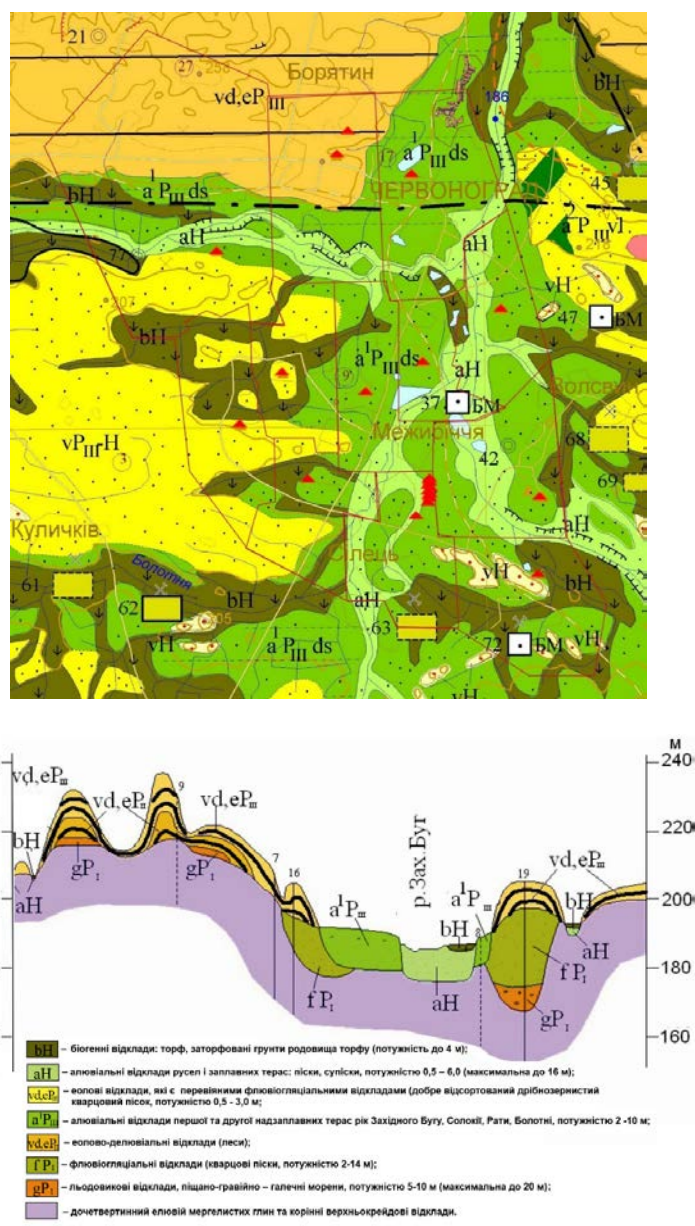


Рис. 6. Карта четвертинних та техногенних відкладів ЧГПР та прилеглих територій і геологічний розріз через північну частину території (за Богуцьким А. Б. та доповненнями автора)

а напір менший від водоносної потужності відкладів. Напори формуються на Подільській та Волинській височинах, а розвантажується водоносний горизонт у долини рік та балок численними джерелами, що зумовлює напрямок течії підземного потоку від вододілів до долини р. Західний Буг і його допливів.

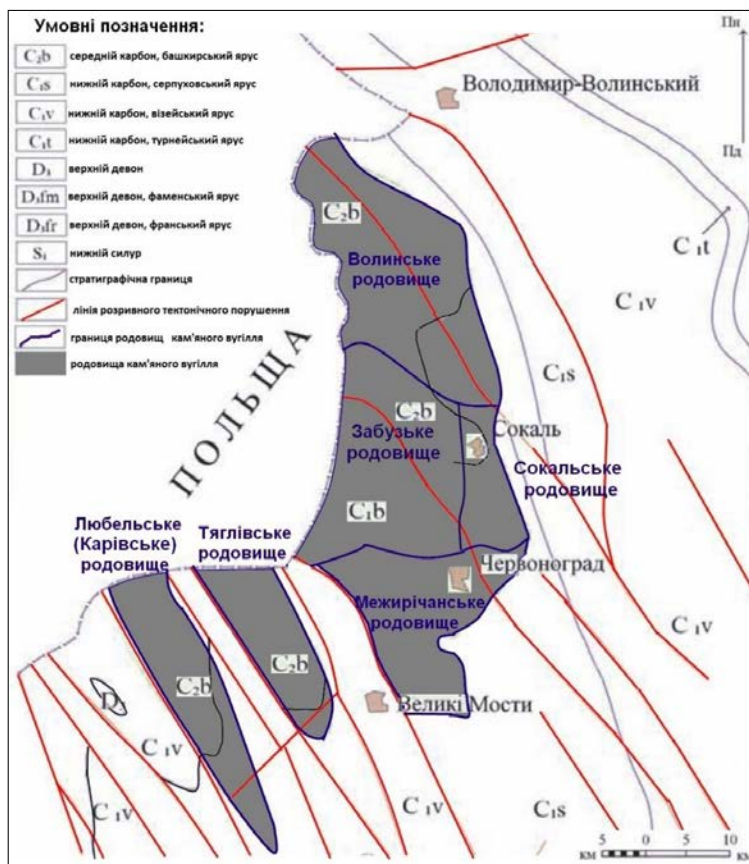


Рис. 7. Контури найбільших за запасами розвіданих родовищ кам'яного вугілля у межах Львівсько-Волинського суббасейну

На цьому етапі можна говорити про непорушений стан геофільтраційного поля та гідрогеохімічних умов.

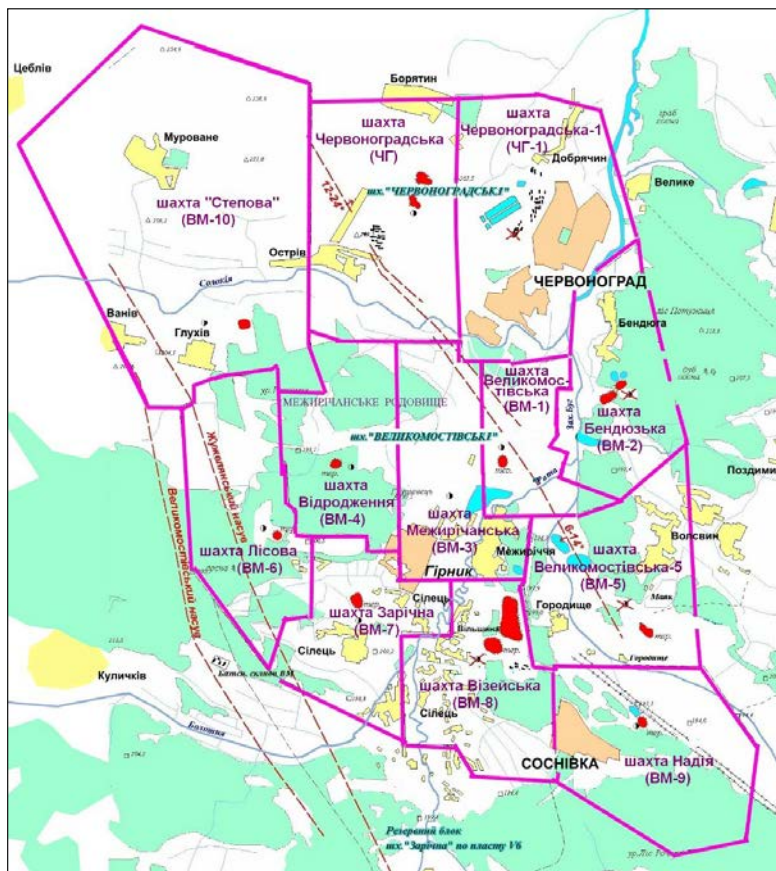
Техногенне порушення гідрогеологічної системи Шептицького гірничо-промислового району почалися із середини 1950 років, коли було розвідано родовища кам'яного вугілля (див. рис. 7). ШГПР повністю розташований у межах Межирічанського та частково Забузького родовищ (див. рис. 8).

Біля кожної із шахт розташовані один або декілька териконів (рис. 9), де складують відходи вуглевидобутку. Понад половина териконів вугільних шахт перегоріла.

Проведений рентгенофлуоресцентний аналіз відходів вуглевидобутку, виявив 11 мікроелементів (табл. 1).

Найбільші концентрації притаманні для Мангану, Стронцію та Цирконію (від 0,045 до 0,1 %). Вміст Нікелю, Рубідію, Хрому та Міді біля 0,02 %. У слідових кількостях виявлені Цинк, Ітрій, Плюмбум та Арсен.

Крім цих мікроелементів, рентгенофлуоресцентний аналіз у значних концентраціях виявив хімічні елементи, що входять до складу породотвірних та широкопоширених акцесорних мінералів: Кремній, Алюміні, Ферум, Сірку, Калій, Титан, Магній, Кальцій (рис. 10 та 11).



Таблиця 1

Результати рентгенофлуоресцентний аналіз відходів вуглевидобутку Червоноградського (Шептицького) гірничо-промислового району (ЧГПР)

Номер елемента	Хімічний елемент	Серія	Інтенсивність флюорисценції	Концентрація хімічного елемента
25	Mn	K	9001	$0.096936 \pm 0.004687\%$
38	Sr	K	76512	$0.061753 \pm 0.000674\%$
40	Zr	K	73698	$0.045117 \pm 0.000545\%$
28	Ni	K	2799	$0.029876 \pm 0.004107\%$
37	Rb	K	30298	$0.024942 \pm 0.000589\%$
24	Cr	K	2323	$0.023653 \pm 0.003817\%$
29	Cu	K	1360	$0.023440 \pm 0.007046\%$
30	Zn	K	577	$0.016523 \pm 0.010606\%$
39	Y	K	13541	$0.008242 \pm 0.000441\%$
82	Pb	L	3056	$0.005272 \pm 0.000546\%$
33	As	K	2418	$0.003953 \pm 0.000408\%$

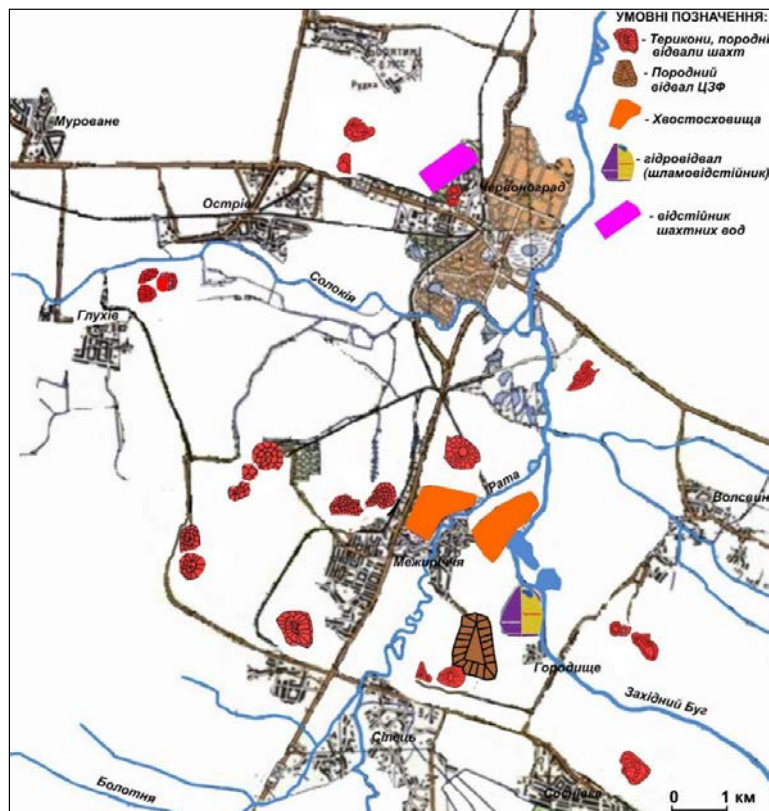
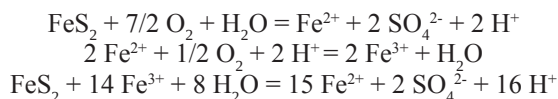


Рис. 9. Головні техногенні об'єкти негативного впливу на природні води в межах Червоноградського ГПР

Важливою особливістю отриманих результатів рентгенофлуоресцентного аналізу, є відсутність Фтору у відходах вугледобутку, але його наявність у токсичних концентраціях у підземних водах.

Водночас аналітичними дослідженнями підтверджуються високі концентрації Феруму та Сірки, що вказують на високі вмісти піриту, а тому і на його потенційну трансформацію в екзогенних умовах териконів та відвалів. Геохімічна трансформація є головним чинником формування кислих інфільтратів, окиснення Сірки та горіння вуглевмісних порід:



За таких умов у поверхневі та підземні води стікають кислі сульфатні води, які разом із токсичними мікроелементами є головними чинниками погіршення геоecологічного стану території, зокрема є чинниками викугування фтору із карбонатних порід.

Кислі інфільтрати мігрують у четвертинний горизонт, де їх агресивність зменшується у лесових товщах (північна територія Червоноградського ГПР, район шахти Червоноградська) завдяки реліктам карбонатів і майже не змінюється на решті території, де переважають алювіальні відклади заплав та надзаплавних терас.

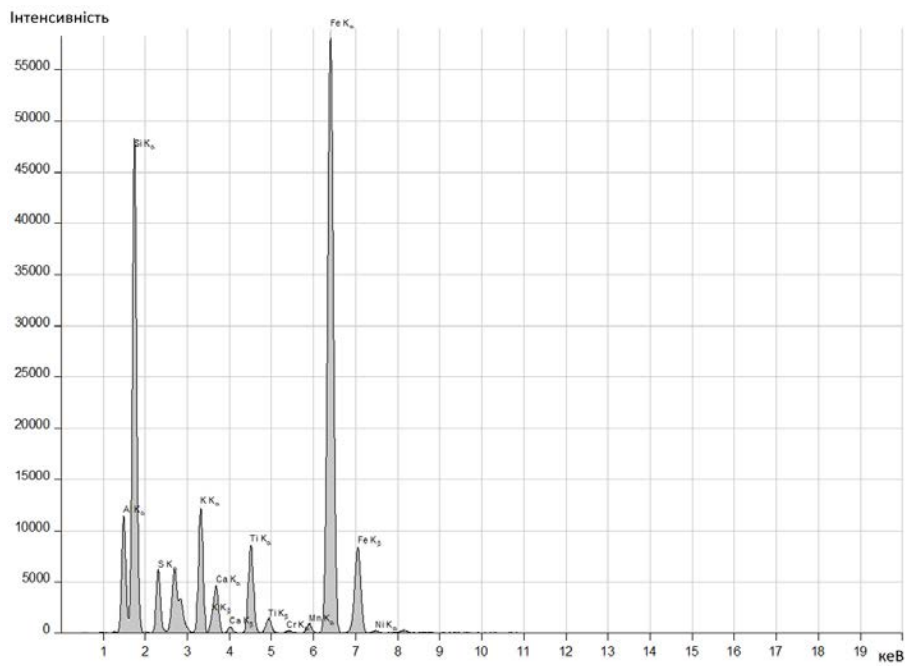


Рис. 10. Характеристичні спектри рентгенофлуорисценції легких елементів

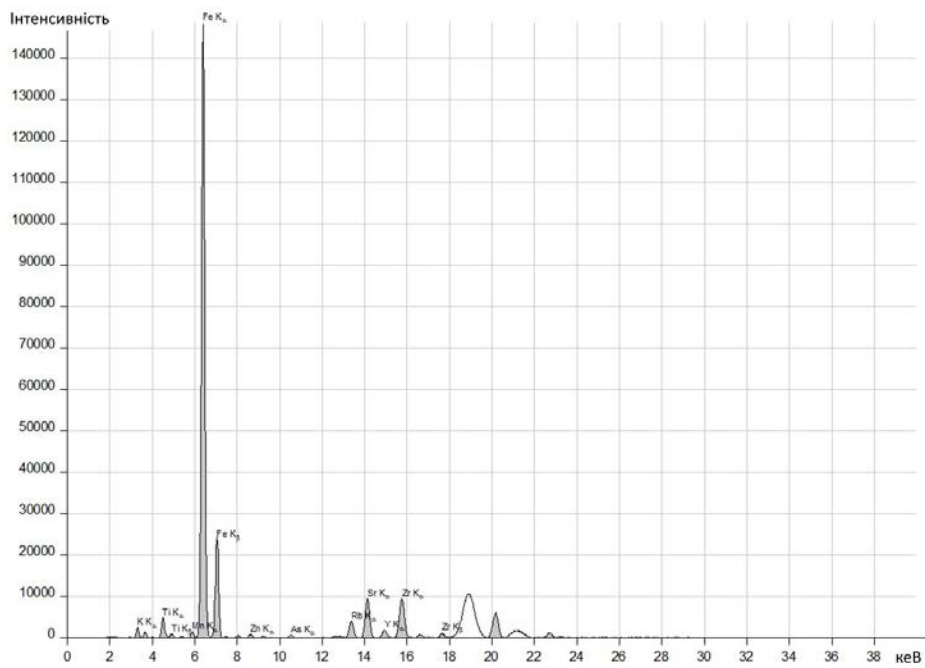


Рис. 11. Характеристичні спектри рентгенофлуорисценції важких елементів

Потрапляючи у водоносний горизонт у верхньокрейдових відкладах, інфільтрати з териконів спричиняють сірчаноокислотне вилугування тріщинуватих мергелів. Це призводить, з одного боку, до нейтралізації кислих вод карбонатом кальцію, а з іншого – до екстрагування фтору з карбонатного та глинистого складників мергелів. Причому лімітуювальним чинником цих процесів є вміст сульфатної кислоти в інфільтраті до її повної нейтралізації.

Гірничодобувна діяльність сприяє в межах гірничих відводів дійсних та ліквідованих копалин принципів (найчастіше незворотні) зміни природного стану геологічного середовища, гідрогеологічних і гідрогеохімічних умов: формується техногенний ландшафт у вигляді териконів, гідровідвалів, хвостосховищ, відстійників, які є джерелом надходження у поверхневі й підземні води забруднювальних речовин, активізуються небезпечні екзогенні процеси, знижується природна захищеність гідросфери, збільшується глибина зони активного водообміну.

Геологічне середовище Червоноградського ГПР зазнає первинного порушення: формуються мульди осідання над виробленим простором, просідає русло р. Західний Буг та лівий борт р. Рата, змінюються напрями геофільтраційних потоків до ділянок осідань. Разом з будівництвом перших шахт і гірничих селищ почали розвідувати водозабори підземних вод у сенонських відкладах верхньої крейди та експлуатувати їх. Так, запрацювали Бендюзький (1962 р.) та Борятинський (1963 р.) водозабори. У результаті їх функціонування утворилися депресії, які стягують забруднені води від шахтних териконів.

За останні 60 років через просідання земної поверхні на виробленим простором вугільних копалин тільки в межах Малополюських ландшафтів широко розвинені процеси затоплення, підтоплення та заболочування.

Кліматичні чинники просідання й підтоплення територій вуглевидобутку слід розглядати на двох рівнях: власне кліматичному, у розумінні багаторічного режиму атмосферних умов, та на рівні конкретних метеорологічних умов за стислий період часу. Власне кліматичні чинники є не такими визначальними, коли йдеться про просідання, але вони часто є визначальними в разі активізації процесів підтоплення. Особливо велике значення мають температурний режим і режим зволоження [6].

За відсутності будь-яких техногенних впливів породи перебувають у рівноважному напруженому стані. Видобування вугілля зумовлює зміни напруженого стану гірських порід з вертикальними (нахили, скручування, тріщини) та горизонтальними (розтягнення, стиснення, зсуви) деформаціями через обвалення масиву та зсуванням перекриваючих порід з формуванням мульд осідання на земній поверхні. Максимальне порушення природної структури вуглевмісних відкладів спостерігають безпосередньо над відробленим простором, де формується зона дезінтеграції породного масиву [16]. Висота зони дезінтеграції масиву головню залежить від потужності вугільного пласта, який видобули, і становить 3–5 м. Над зоною обвалення в пісковиках, аргілітах та алевролітах (кам'яновугільних відкладах), а також верхньокрейдових глинистих мергелях по краях зміщення виникають тріщини, які збільшують водопроникність порід над відпрацьованим простором, змінюють режим поверхневих та підземних вод. Зсування проходить швидко, протягом перших місяців після відробки видобувних блоків. Далі поверхня зазнає повільних деформацій, які затухають протягом 1–2 років. Фактично просідання поверхні землі досягає 2–4 метрів станом на 2015 р (рис. 12).

Для крайової частини мульди осідання характерні деформації розшарування. На земній поверхні горизонтальні деформації направлені до центру мульди, на краях – розтягнення, а в центрі – стиснення. Осідання земної поверхні призводить до формування ослаблених зон, крайової техногенної тріщинуватості, які зумовлюють формування

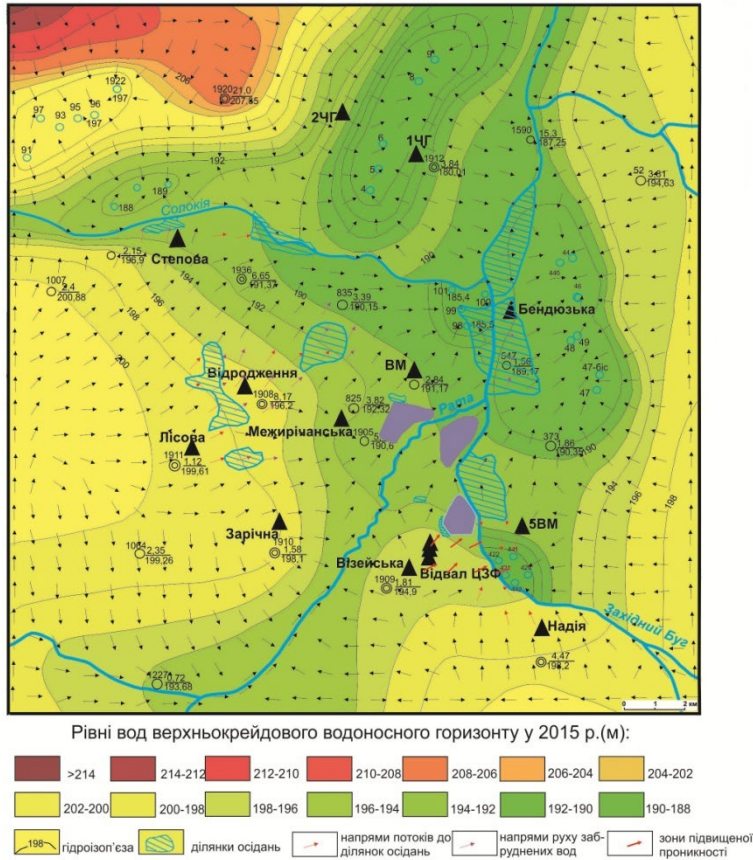


Рис. 12. Геофільтраційні умови Червоноградського ГПР станом на 2015 р.

фільтраційної зональності, зростання проникності, збільшення тріщинної пористості, площинного живлення та підземного акумулювання вод зміненого гідрохімічного складу.

Над зоною зміщення на поверхні формуються мульди осідання з озерами та зонами акумулювання важких інфільтратів у четвертинному та верхньокрейдовому водоносних горизонтах.

Над зоною зміщення в карбових відкладах на поверхні шахтних полів формуються мульди осідання, які заболочуються та перетворюються на техногенні озера. Такі території стають непридатні для сільськогосподарського користування. Максимальні осідання, деформації та швидкості зсування прямо залежать від потужності пласта, який видобувають. За невеликих кутів падіння пластів (до 5°) мульда осідання симетрична відносно площини, що проходить через точку максимального осідання паралельно до простягання пластів. Глибина залягання пластів теж впливає на деформації земної поверхні. Зі зростанням глибини видобутку всі деформації на земній поверхні зменшуються [4].

Ці зміни вплинули і на водоносні горизонти досліджуваного району. Так, на тих ділянках, де утворилися мульди осідання, у водоносних горизонтах у четвертинних та верхньокрейдових відкладах з'явилися аналогічні заглиблення, які стають зонами акумулювання забруднених стоків з териконів.

Терикони і відвали, меншою мірою хвостосховища та відстійники, є об'єктами деформаційного впливу на водоносні горизонти, насамперед четвертинний та меншою мірою крейдовий. Техногенні форми рельєфу, у яких закумульовано великий об'єм пустих порід, містять Li, V, B, P, Zn, Pb, Bi, Co.

Внаслідок вимивання і видування цих елементів із крихкої породи відбувається отруєння не лише прилеглих екосистем, а й жителів довколишніх міст і сіл. Найнебезпечнішими негативними наслідками накопичення відходів за таких умов є забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод важкими металами, фтором, їх закислення та невідповідність санітарно-гігієнічним нормативам. Зокрема, на території Шептицького району Львівської обл. досліджено вплив підвищеного вмісту хімічних речовин у природному середовищі на стан здоров'я дітей. Так, серед дітей та підлітків м. Соснівка в 90-ті роки зафіксоване зростання захворюваності на флюороз зубів.

Геохімічні зміни проходять через формування кислих інфільтратів шляхом біохімічного окиснення та горіння. За таких умов у поверхневій та підземній воді стікають кислі сульфатні води, які разом із токсичними мікроелементами є головними чинниками погіршення геоecологічного стану території.

Кислі інфільтрати мігрують у четвертинний горизонт, де їх агресивність зменшується в лесових товщах (північна територія Червоноградського ГПР, район шахти Червоноградська) завдяки реліктам карбонатів і майже не змінюється на решті території, де переважають алювіальні відклади заплав та надзаплавних терас. Потрапляючи у водоносний горизонт у верхньокрейдових відкладах, інфільтрати з териконів спричиняють сірчанокислотне вилуговування тріщинуватих мергелів. Це призводить, з одного боку, до нейтралізації кислих вод карбонатом кальцію, а з іншого – екстрагування фтору з карбонатного та глинистого складників мергелів. Причому лімітувальним чинником цих процесів є вміст сульфатної кислоти в інфільтраті до її повної нейтралізації.

Так, геологічне середовище Червоноградського ГПР натеper є природно-техногенною системою, де в процесі видобутку вугілля первинні радикальні зміни геологічного середовища (утворення шахтних пустот та відвалів на поверхні) зумовили всю сукупність геоecологічних проблем, зокрема пов'язану зі здоров'ям людей.

Висновки. На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Природна гідрогеологічна система території в околицях міст Шептицький (Червоноград), Соснівка, селища Гірник, сіл Солець, Міжріччя, Острів, Ванів, Глухів та деяких інших у техногенно-непорушеному стані є частиною Волино-Подільського артезіанського басейну. Її функціонування в непорушених умовах визначалось особливостями геологічної будови, природною захищеністю зони активного водообміну від токсикантів, насамперед рівнинним рельєфом, що мінімізує ерозійні процеси, відсутністю чи слабкою проявленістю геодинамічних процесів, як-от карбонатний карст, вираженою гідрогеологічною стратифікацією з мінімальними відборами підземних вод переважно із четвертинного водоносного горизонту, що її майже не порушує, та відсутністю потужних техногенних джерел забруднення.

2. У природних умовах поверхневі та підземні води незабруднені й порушені лише окремими меліоративними каналами як гідротехнічними способами осушення перезволожених земель з метою пришвидшення стоку до річкових русел. До 1953 р. населення цієї території головню використовувало ґрунтові води четвертинних відкладів за допомогою індивідуальних колодязів та річкову воду напряду для поливу чи використання як технічної і навіть питної води.

3. З позицій регіональної гідрогеології досліджувана територія належить до Волинсько-Подільського артезіанського басейну, зоною живлення якого є західний меґасхил

Українського кристалічного щита. Тут підземні води виявлені в усіх осадових формаціях, проте промислово використовують лише води верхньокрейдового водоносного горизонту. Цей водоносний горизонт зазвичай називають Сеноманським через те, що поширений у зоні вилуговування мергелів однойменного над'ярусу, має значну потужність, широке територіальне поширення і є напірним. Безнапірний режим цього водоносного горизонту виявляється на вододілах. Напірний режим формується на Подільській та Волинській височинах, а розвантажується водоносний горизонт у долини рік та балок численними джерелами, що зумовлює напрямок течії підземного потоку від вододілів до долини р. Західний Буг і його допливів.

4. Для вугільних відходів притаманні високі вмісти геохімічно-рухомих важких металів, таких як Манган, Стронцій, Нікель, Рубідій, Хром, Мідь, Цинк, Ітрій та, імовірно, інші рідкісноземельні елементи ітрієвої групи, Плюмбум та Арсен, виявлені нами методом рентгенофлуоресцентного аналізу, а також такі елементи, як Літій, Ванадій, Бісмут, Кобальт, Молібден, Кадмій, Ртуть, Барій, Уран, виявлені іншими дослідниками.

5. Геохімічну рухливість більшості мікроелементів, виявлених у вугільних відвалах, спричиняють підтверджені високі концентрації піриту при його екзогенному окисленні та пірометаморфізмі з утворенням кислих інфільтратів. За таких умов у поверхневій гідрологічній об'єкти та водоносні горизонти потрапляють забруднені від локацій зберігання вугільних відходів поверхневі та підземні води підвищеної мінералізації, які разом із токсичними мікроелементами є головними чинниками погіршення геоекологічного стану території.

6. Важливою особливістю отриманих результатів рентгенофлуоресцентного аналізу є відсутність Фтору у відходах вуглевидобутку, але його наявність у токсичних концентраціях у підземних водах. Це, на наш погляд, є додатковим підтвердженням раніше висунутої гіпотези про те, що встановлені підвищені вмісти Фтору в підземних водах Соснівського та інших водозаборів, пов'язані з вилуговуванням цього хімічного елемента з карбонатними породами. Потрапляючи у водоносний горизонт у верхньокрейдових відкладах, інфільтрати з териконів спричиняють сірчаноокислотне вилуговування тріщинуватих мергелів. Це призводить, з одного боку, до нейтралізації кислих вод карбонатом кальцію, а з іншого – екстрагування фтору з карбонатного та глинистого складників мергелів. Причому лімітувальним чинником цих процесів є вміст сульфатної кислоти в інфільтраті до її повної нейтралізації. Найбільш несприятливі умови притаманні для Соснівського водозабору, вода якого в середині 90-х років спричинила гіпоплазію та флюороз у дітей.

7. Гірничодобувна діяльність сприяє в межах гірничих відводів дійсних та ліквідованих копалин значним (найчастіше незворотним) змінам природного стану геологічного середовища, гідрогеологічних і гідрогеохімічних умов: формується техногенний ландшафт у вигляді мульд просідання, териконів, гідровідвалів, хвостосховищ, відстійників, які, з одного боку, змінюють геофільтраційне поле, а з іншого – є джерелом надходження в поверхневі й підземні води забруднювальних речовин, активізуються небезпечні екзогенні процеси, знижується природна захищеність гідросфери, збільшується глибина зони активного водообміну, що призвело до техногенних порушень і геохімічних змін гідрогеологічної системи.

Подяки. Частина результатів отримана з використанням обладнання Центру колективного користування науковим обладнанням «Лабораторія перспективних технологій створення та фізико-хімічного аналізу нових речовин і функціональних матеріалів» (<https://lpnu.ua/ckkno>).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бик С. І., Узіюк В. І. Еколого-геохімічні особливості відходів вугілля Львівсько-Волинського басейну. *Уголь Украины*. 2000. №7. С. 22–23.

2. Бобровник Д. П., Болдирєва Т. О., Іщенко А. М. Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн. Київ, 1962. 145 с.
3. Бучацька Г. М., Дяків В. О. Причинно-наслідкові зв'язки забрудненості фтором підземних вод Червоноградського гірничо-промислового району за результатами гідро-геологічного моделювання. Конструктивна географія і картографія: стан, проблеми, перспективи: матеріали Всеукраїнської наукової конференції. Львів, 14–15 травня 2015, Львів, 2015. С. 65–70.
4. Бучацька Г. М., Дяків В. О. Сірчано-кислотна обробка тріщинуватих мергелів інфільтраціями вугільних відвалів Червоноградського гірничо-промислового району як головний чинник збагачення підземних вод фтором (за результатами експериментального та геофільтраційного моделювання). Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування ків: матеріали другої наук.-практ. конференції, Трускавець, 5–8 жовтня 2015. Київ, 2015. С. 419–424.
5. Забокрицька М. Р., Хільчевський В. К., Манченко А. П. Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу на території України. Київ : Ніка Центр, 2006. 184 с.
6. Карабин В. В. Чинники просідання та підтоплення територій вуглевидобутку Червоноградського гірничо-промислового району. *Мінеральні ресурси України*. 2018. № 3. С. 32–36.
7. Ковальчук І. П., Хільчевський В. К. Гідроекологічні проблеми Поліського регіону. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2003. Т. 5. С. 179–195.
8. Крюченко Н. О. Геохімія фтору питних вод України : автореф. дис... канд. геол. наук: 04.00.02 « геохімія». Київ, 2002. 17 с.
9. Руденко Ф. А. Гідрогеологія Української РСР. Київ, 1972. 174 с.
10. Рудько Г. І. Скатинський Ю. П., Федосєєв В. П. Екологічний стан геологічного середовища як фактор масового захворювання дітей флюорозом у ЧГПР. *Мінеральні ресурси України*. 1997. № 4. С. 34–42; 1998. № 5. С. 17–23.
11. Рудько Г. І., Мацієвська О. О. Розподіл фтору в природних водах. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 664. С. 171–178.
12. Янишин С. Природні умови як один з основних чинників формування гідрологічного і гідрохімічного режиму річок басейну Західного Бугу. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер : Агрономія*. 2013, Вип. 17. С. 93–100.
13. Buchatska H., Diakiv V., Kovalchuk M. Geochemistry of fluorine in the hydrogeological system of Chervonograd mining and industrial region (Western Ukraine) according to the data of experimental and geofiltration modeling. *Modern Science. Moderní věda*. 2015. № 4. P. 150–166.
14. Doble R. C., Simmons C. T., Walker, G. R., Using MODFLOW 2000 to model ET and recharge for shallow ground water problems. *Ground Water*. 47 (1), 2009. P. 129–135.
15. Marschalko M., Yilmaz I., Lamich D., Drusa M., Kubekova D., Penaz T., Burkotova T., Slivka V., Bednarik M., Krcmar D., Duraj M., Sochorkova A. Unique documentation, analysis of origin and development of an undrained depression in a subsidence basin caused by underground coal mining (Kozinec, Czech Republic). *Environ Earth Sci*. 2014. N. 72 (1). P. 11–20.
16. Nilson Guiguer, Thomas Franz. Visual MODFLOW version 2.00: guidebook. Toronto: Waterloo Hydrogeologic Software, 1996. 231 p.

REFERENCES

1. Byk, S.I., Uziiuk, V.I. (2000). Ekoloheo-geokhimichni osoblyvosti vidkhodiv vuhillia Lvivsko-Volynskoho basynu [Ecological and geochemical features of coal waste in the Lviv-Volyn basin]. *Uhol Ukrainy*. №7. p. 22–23 [in Ukrainian].
2. Bobrovnyk, D.P., Boldyrieva, T.O., Ishchenko, A.M. Lvivsko-Volynskiy kamianovuhilnyi basin. Kyiv, 1962. 145 s. [in Ukrainian].

3. Buchatska, H.M., Diakiv, V. O. (2015). Prychynno-naslidkovy zviazky zabrudnenosti ftorom pidzemnykh vod Chervonohradskoho hirnycho-promysloвого району za rezultatamy hidrogeolohichnoho modeliuvannia. Konstruktyvna heohrafiia i kartohrafiia: stan, problemy, perspektyvy: materialy Vseukrainskoi naukovoї konferentsii., Lviv, 14–15 travnia 2015, Lviv, 2015. S. 65–70. [in Ukrainian].
4. Buchatska, H.M., Diakiv, V.O. (2015). Sirchanokyslotna obrobka trishchynuvatykh merheliv infiltratamy vuhilnykh vidvaliv Chervonohradskoho hirnychopromysloвого району yak holovnyi chynnyk zbahachennia pidzemnykh vod ftorom (za rezultatamy eksperymentalnoho ta heofiltratsiinoho modeliuvannia) [Sulfuric acid treatment of fractured marls with infiltrates from coal dumps of the Chervonohrad mining district as the main factor in the enrichment of groundwater with fluorine (according to the results of experimental and geofiltration modeling)]. Nadrokorystuvannia v Ukraini. Perspektyvy investuvannia kiv: materialy druhoi nauk.-prakt. konferentsii, Truskavets, 5-8 zhovtnia 2015. Kyiv, 2015. S. 419–424. [in Ukrainian].
5. Zabokrytska, M.R., Khilchevskiy, V.K., Manchenko, A.P. (2006). Hidroekolohichniy stan baseinu Zakhidnoho Buhu na terytorii Ukrainy [Hydroecological state of the Western Bug basin in Ukraine]. Kyiv : Nika Tsent, 184 s. [in Ukrainian].
6. Karaby, V.V. (2018). Chynnyky prosidannia ta pidtoplennia terytorii vuhlevydobutku Chervonohradskoho hirnychopromysloвого району [Factors of subsidence and flooding of coal mining areas of the Chervonohrad mining district]. *Mineralni resursy Ukrainy*. №3. S.32–36 [in Ukrainian].
7. Kovalchuk, I.P., Khilchevskiy, V.K. (2003). Hidroekolohichni problemy Poliskoho rehionu [Hydroecological problems of the Polesie region]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. T. 5. S. 179–195 [in Ukrainian].
8. Kriuchenko, N.O.(2002). Heokhimiia ftoru pytnykh vod Ukrainy [Fluoride geochemistry of drinking water in Ukraine]: avtoref. dys... kand. heol. nauk: 04.00.02 « heokhimiia»; Kyiv, 17 s. [in Ukrainian].
9. Rudenko, F.A. (1972). Hidroheolohiia Ukrainskoi RSR [Hydrogeology of the Ukrainian SSR]. Kyiv, 174 s. [in Ukrainian].
10. Rudko, H.I., Skatynskiy, Yu.P., Fedosieiev, V.P. (1997,1998). Ekolohichniy stan heolohichnoho seredovyshcha yak faktor masovoho zakhvoriuvannia ditei fluorozom u ChHPR [Ecological state of the geological environment as a factor in the mass disease of children with fluorosis in the ChGPR]. *Mineralni resursy Ukrainy*. № 4. C. 34–42; № 5. S. 17–23 [in Ukrainian].
11. Rudko, H.I., Matsiievska, O.O. (2010). Rozpodil ftoru v pryrodnykh vodakh/ H.I.Rudko [Distribution of fluorine in natural waters]. *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. № 664. S.171–178 [in Ukrainian].
12. Yanyshyn, S. (2013). Pryrodni umovy yak ody, z osnovnykh chynnykiv formuvannia hidrolohiichnoho i hidrokhimichnoho rezhymu richok baseinu Zakhidnoho Buhu [Natural conditions as one of the main factors in the formation of the hydrological and hydrochemical regime of the rivers of the Western Bug basin]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ser : Ahronomiia*. Vyp. 17. S.93–100 [in Ukrainian].
13. Buchatska, H., Diakiv, V., Kovalchuk, M. (2015). Geochemistry of fluorine in the hydrogeological system of Chervonograd mining and industrial region (Western Ukraine) according to the data of experimental and geofiltration modeling *Modern Science. Moderni věda*. № 4. P. 150–166 [in English].
14. Doble, R.C., Simmons, C.T., Walker, G.R. (2009). Using MODFLOW 2000 to model ET and recharge for shallow ground water problems. *Ground Water*. 47 (1), pp.129–135 [in English].
15. Marschalko, M., Yilmaz, I., Lamich, D., Drusa, M., Kubeikova, D., Penaz, T., Burkotova, T., Slivka, V., Bednarik, M., Kremer, D., Duraj, M., Sochorkova, A. (2014). Unique

documentation, analysis of origin and development of an undrained depression in a subsidence basin caused by underground coal mining (Kozinec, Czech Republic). *Environ Earth Sci.* N. 72 (1). P. 11–20. [in English].

16. Nilson Guiguer, Thomas Franz (1996). Visual MODFLOW version 2.00: guidebook Toronto: Waterloo Hydrogeologic Software. 231 p [in English].

NATURAL CONDITIONS, TECHNOLOGICAL DISTURBANCE AND GEOCHEMICAL CHANGES OF THE HYDROGEOLOGICAL SYSTEM OF THE SHEPTYTSKY (CHERVONOGRAД) MINING AND INDUSTRIAL DISTRICT

Hanna Buchatska¹, Vasyl Dyakiv¹, Vitaliy Sadnik²

¹*Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005 e-mail: hanna.buchatska@lnu.edu.ua; dyakivw@yahoo.com*

²*Lviv Polytechnic National University, Yura square Str., 9, Lviv, Ukraine, 79013, e-mail: vitalii.y.stadnik@pnu.ua*

An analysis of the state of natural conditions of the largest coal mining complex in Western Ukraine before the start of mining operations, changes in the geological environment as a result of more than half a century of coal mining, subsidence of the surface above the mined fields, accumulation of coal mining waste and coal enrichment, with their exogenous and pyrometamorphic changes, as well as natural and technogenic transformation of the Chervonohrad (Sheptytsky) mining and industrial region (CHGPR) was carried out. Based on X-ray fluorescence analysis of coal mining waste, assessment of the chemical composition of waters in the Upper Cretaceous horizon of fractured marls, analysis of fluorine inflow into groundwater of ChGPR water intakes, it was established that there are increased contents of geochemically mobile heavy metals such as Manganese, Strontium, Nickel, Rubidium, Chromium, Copper, Zinc, Yttrium and probably other rare earth elements of the yttrium group, Lead and Arsenic, as well as elements such as Lithium, Vanadium, Bismuth, Cobalt, Molybdenum, Cadmium, Mercury, Barium, Uranium, discovered by other researchers.

Acidic sulfate waters from the waste heaps and the enrichment factory dump, which are formed as a result of exogenous oxidation of pyrite, contribute to an increase in the geochemical mobility of trace elements. In addition, acidic infiltrates, entering the geofiltration field, move from man-made objects to the Zakhidnyi Bug, Rata and Solokiya rivers, as well as to groundwater intakes in the Upper Cretaceous horizon of fractured marls. Acidic sulfate waters actively interact with fractured marls of the Upper Cretaceous, are neutralized and cause the extraction of fluoride from the carbonate and clay components of the aquifer with its concentration in groundwater extracted by water intakes. The most unfavorable conditions are inherent in the Sosnivskyi water intake, the water of which in the mid-90s caused hypoplasia and fluorosis in children.

Key words: Chervonohrad (Sheptytsky) mining and industrial district, coal mining waste, X-ray fluorescence analysis, geochemical mobility, acidic infiltrates, heavy metals, Fluoride leaching, groundwater, pollution.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ПРИРОДНИЙ (ГЕОЛОГІЧНИЙ) ВОДЕНЬ ЯК НОВА КОРИСНА КОПАЛИНА: СТАН, ПЕРСПЕКТИВИ, ВИКЛИКИ ТА РИЗИКИ

Юрій Віхоть^{1,2}, Соломія Кріль^{2,1}

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: yuvik@ukr.net

²УкрНДІгаз, АТ «Укргазвидобування», вул. Стрийська, 144, Львів, Україна, 79000

e-mail: solia_kr@ukr.net

Водень дедалі частіше згадується як один з головних елементів енергетичної безпеки розвинутих країн. Глобальний попит на водень за даними IEA (International Energy Agency) досягнув 100 млн т у 2024 році й продовжує зростати. Він набуває ключового значення в енергетичних стратегіях зеленого переходу для забезпечення зменшення викидів CO₂. Безвуглецеве виробництво водню є одним із визначальних елементів глобального енергетичного переходу, проте воно потребує дорогих технологічних рішень.

Промисловий видобуток природного водню різного генезису (напр., білий, золотий водень) сприятиме зменшенню використання викопного палива (газ, вугілля), що виділяє багато CO₂. Такий водень зможе забезпечити швидкий, економічно менш затратний, порівняно з виробництвом зеленого водню, перехід до декарбонізації економіки зі зменшенням викидів вуглецю, або досягти нейтрального балансу.

Особливо важливим є геологічний, або так званий білий, водень природного походження, що має значний потенціал для забезпечення країни недорогою безвуглецевою енергією. Природний водень H₂, як нова корисна копалина та відновлювальне джерело енергії, зможе стати потенційною дешевою альтернативою для майбутніх напрямів розвитку безвуглецевої економіки в Європі та інших країнах світу в разі виявлення його покладів і промислової експлуатації.

У статті проаналізовано сучасний стан, тенденції, перспективи пошуку та розвідки природного – геологічного, або білого водню – у європейських та інших країнах світу на основі опублікованих результатів досліджень у статтях та інших доступних джерелах даних. Продemonстровано його важливість як корисної копалини, а також місце та значення серед інших видів водню з так званої водневої веселки.

Великим досягненням і значним прогресом України є те, що вона стала країною, де «водень природний» офіційно у 2025 р. внесли в перелік корисних копалин загальнодержавного значення. Саме тому вирішення проблем із критеріями пошуку, розвідки геологічного водню, дослідження ймовірних природних резервуарів, перспектив, ризики видобутку, зберігання та транспортування набуло актуальності.

Стаття висвітлює можливості пошуку геологічного водню як альтернативної корисної копалини, демонструє актуальні досягнення, можливі подальші перспективи пошуку та розвідки, а також ризики на основі водневої тенденції та досягнень у європейських країнах й інших регіонів світу.

Природний (геологічний) водень у майбутньому посяде важливе місце як відновлювальне джерело енергії без викидів або з нейтральним CO₂. Білий водень зможе стати альтернативою дорожчого виробництва водню із застосуванням різноманітних відновлювальних джерел або там, де немає можливості розвинути інфраструктуру під зелений водень. Успішний промисловий видобуток геологічного водню зможе замінити частину його потреб, зменшити потреби в природному газі в багатьох сферах енергетики, промисловості, транспорту.

Ключові слова: природний водень, геологічний водень, білий водень, золотий водень, H₂, зелений водень, безвуглецева економіка, водневі тенденції.

Постановка проблеми. У багатьох країнах світу пошуки природного, геологічного водню перетворилися в «золоту лихоманку» після появи інформації про перший комерційний видобуток водню зі свердловини в Малі [11]. Геологічний водень, як потенційно нове джерело низьковуглецевої енергії, став об'єктом зацікавлення для значної кількості провідних нафтогазовидобувних приватних та державних компаній, стартапів, що шукають швидкого успіху в можливості знахідок скупчень акумульованого водню. Природний водень є потенційно новим джерелом енергії для низьковуглецевої економіки, тому став об'єктом для активних пошуків аномального вмісту в усіх частинах світу з оцінкою можливостей його промислового освоєння.

Недостатня кількість або відсутність архівних даних про вміст водню тільки підтверджує, що розвідці природного (геологічного) водню в багатьох країнах та регіонах світу нафтогазовидобувні компанії не приділяли значної уваги. Причинами була низка факторів, серед них: відсутність попиту та значних потреб у водні, можливість нехтування високими викидами вуглецю, недостатнє розуміння природи й поведінки водню, складність визначення вмісту водню через його високу реакційну здатність, дифузію, складність відбору та транспортування проб.

Молекулярний водень є одним із найпоширеніших елементів у земній корі. Він фіксується у вигляді викидів на поверхню в суміші з іншими газами (азотом, метаном, гелієм). Наприклад, відомими в Туреччині є викиди газу, що містять водень (приблизно 10 %), метан, азот, гелій, які постійно горять і не припиняються – так звана Хімера (Chimaera), або гора Янарташ (турецькою Yanartaş), поблизу села Чиралі (Анталійська затока) [5]. Підтверджено, що водень мігрує з надр землі у вільному газоподібному стані, який можна фіксувати аналізаторами, а не тільки як елемент у складі органічних сполук, сумішей газів або розчиненого у воді [3; 13].

Поява інформації про ймовірні пошуки та розвідку природного (геологічного) водню серед публікацій приватних та державних нафтогазовидобувних світових компаній, багатьох стартапів, міжнародних пілотних проєктів, що фінансуються ЄС та іншими організаціями, звітів міжнародних компаній викликає зацікавлення новим видом корисної копалини і в Україні.

Не так давно перелік корисних копалин загальнодержавного значення доповнено актуальними корисними копалинами різного походження, враховуючи тенденції сучасності та потреб. До переліку горючих, газоподібних додано корисну копалину «водень природний» відповідно до змін, внесених до постанови Кабінету міністрів України від 12.12.1994 № 827 «Про затвердження переліків корисних копалин загальнодержавного та місцевого значення» (у редакції постанови Кабінету Міністрів України від 23 травня 2025 р. № 600) [2].

Зважаючи на складний воєнний час, пов'язаний з агресією росії та частим руйнуванням газової інфраструктури, така корисна копалина стає об'єктом зацікавлення у державних та приватних нафтогазовидобувних компаніях, наукових установ й університетів. Питання пошуку та розвідки водню для нафтогазопромислових й інших регіонів західної частини України стало особливо актуальним, а збір та узагальнення даних і будь-якої інформації про генерацію, міграцію і ймовірне накопичення стало першочерговим.

Аналіз попередніх даних. Інформація про комерційний видобуток канадською компанією Hydroma Inc. (колишня Petroma) природного водню на першому та поки єдиному родовищі водню в Малі, де витоки невідомого газу (водню) випадково виявлені під час буріння свердловини на воду, а згодом після 2012 р. використані для місцевого енергопостачання селища Буракебуг [11], привернуло особливу увагу до водню як нової та дешевшої корисної копалини. Відтоді свердловина постійно видобуває чистий водень (98–99 %, без домішок CO₂ та метану) [11].

Численні дослідження в Омані, Філіппінах, Туреччині, Малі, США (Південна Кароліна, Канзас), Бразилії, Австралії, Канаді та деяких регіонах Європи (Франція, Іспанія) також виявили значні прояви природного водню [10; 11; 23]. Проте видобуток геологічного водню, як виявилось, є технічною проблемою, але малійський випадок є першим успішним шляхом до промислової експлуатації і підтверджує існування покладів [10; 11].

Актуальні питання, які викликають зацікавлення останніми роками в дослідників різних країн та працівників нафтогазовидобувних компаній, є пошук інформації і вирішення проблем генерації, міграції, можливості формування підземних покладів геологічного водню, економічно рентабельних для видобутку, розуміння водневих систем, критерії пошуку потенційних водневих покладів, значення польових досліджень з визначення вмісту водню в ґрунтовому газі для картування водневих аномалій, визначення основних джерел водню, та багато ін. [4; 10; 11; 16–20; 23].

Мета статті – дати загальний аналіз сучасному стану та проблемі природного водню у світі та в Україні. Основні питання та завдання, що розглядаються та вирішуються в статті:

- 1) поняття геологічного водню, його місце серед інших способів генерації та значення для безвуглецевої економіки та енергетики;
- 2) узагальнення сучасних уявлень про генерацію, міграцію та виявлені ознаки наявності природного геологічного водню;
- 3) визначення ймовірних перспектив природного водню як нової корисної копалини, на основі світових тенденцій та досягнень;
- 4) встановлення основних викликів та ризиків, що пов'язані з видобутком, а також перспективи подальших досліджень.

Виклад основного матеріалу. До цього часу природний геологічний водень, або «білий», як прийнято його зараз називати, переважно ігнорувався, оскільки вважався рідкісним – найменша молекула газу, легка, швидко реагує з утворенням сполук, та таким, який нечасто самостійно накопичується у вигляді вільного газу.

Якщо загалом оцінити інтерес до водню, до перших десятиліть XXI ст., зі сторони нафтогазовидобувних компаній під час буріння нафтових та газових свердловин, то він не викликав особливого зацікавлення й часто ігнорувався. Так, у межах нафтогазових провінцій в Україні, під час опробування складу газу із дійсних свердловин або під час буріння, уміст водню в складі газу взагалі не визначався або трапляються поодинокі результати аналізів з лабораторії або польових хроматографів станцій ГТД, що часто сумнівні й потребують перевірки їх достовірності (що часто неможливо зробити). Визначення вмісту водню в лабораторіях часто було технічно неможливим (вимагало спеціального переналаштування хроматографа) або непотрібним (першочергово досліджувалися вуглеводні), оскільки стаціонарний хроматограф був обладнаний та налаштований виключно на визначення вуглеводнів. Водночас навіть відбір проб свердловинного газу в пробовідбірники для дослідження вмісту водню вимагає особливого підходу через високу міграційну здатність водню. Наприклад, стандартні металеві пробовідбірники не здатні тривалий час забезпечувати достатній рівень герметичності для транспортування та зберігання проб з воднем.

Крім того, основна увага в минулому столітті була приділена штучно виробленому водню з доступних традиційних джерел (природний газ, вугілля), якого було достатньо для задоволення потреб ринку у водні, але не так зосереджували увагу на високих викидах вуглецю.

Завдяки збільшенню попиту на водень в останні десятиліття і забезпеченню виконанню міжнародних програм зі зменшення викидів CO₂, нарощується виробництво

зеленого водню шляхом електролізу води з використанням сучасних джерел відновлювальної енергії (вітрових, сонячних, геотермальних або гідроелектростанцій), що суттєво сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу. Частка виробництва водню таким способом незначна (хоча суттєво збільшується з кожним роком) і не може повністю покрити потреби. Більша частина водню, що виробляється сьогодні, все-таки походить від викопного палива, хоча є прогрес у частковій заміні водню з інших безвуглецевих джерел.

Завдяки різноманіттю джерел походження та способів виробництва водню з'явилася ціла воднева «веселка» (рис. 1, табл. 1), що наочно ілюструє можливості генерації водню [8; 9; 22]. Необхідність класифікації водню стала неминучою. Вона почалася з присвоєння зеленого та сірого кольорів водню, щоб відрізнити екологічно чисте виробництво водню від виробництва, що пов'язано з викидами вуглекислого газу.

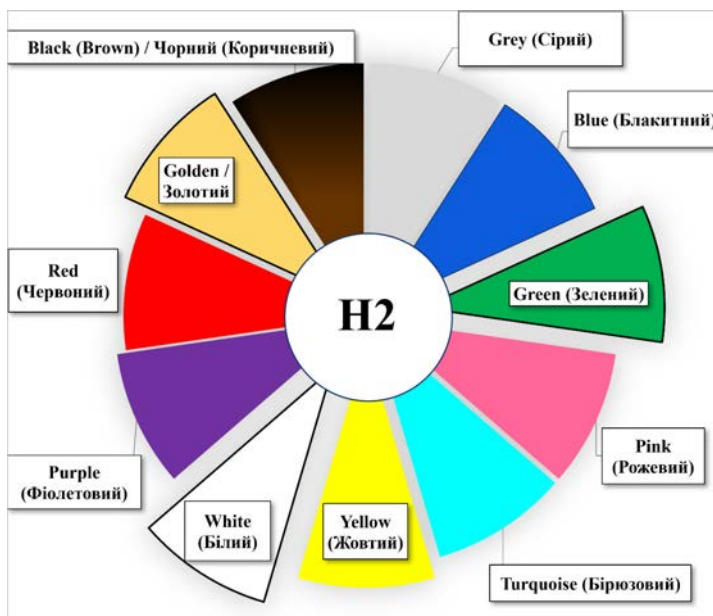


Рис. 1. Воднева «веселка» різного за джерелами виробництва та походженням водню за даними [8; 9; 22]

Так, система кольорового кодування використовується для опису механізмів виробництва або видобутку водню. Символічно кольори застосовують для позначення різного за походженням водню: кожен колір відповідає певному джерелу енергії або процесу, що був використаний для отримання водню (див. рис. 1 та табл. 1). Розглянемо кілька типів водню та місце природного, або білого, водню. Зауважимо, що немає єдиної затвердженої кольорової «веселки» водню.

Сірий водень – високозатратний продукт електролізу, отриманий на основі вуглеводневої викопної сировини – метану. З виробництвом сірого водню генерується надзвичайно велика кількість шкідливих забрудників довкілля – викидів CO_2 .

Зелений водень, який характеризується найменшим вуглецевим слідом, виробляється переважно шляхом електролізу води з використанням відновлюваної електроенергії вітрових, геотермальних, сонячних або гідроелектростанцій. На цьому етапі технологічного розвитку виробництва для електролізерів тенденція полягає в досягненні гігаватного масштабу виробництва чистої енергії та відповідного зростання виробництва водню.

Таблиця 1

Символічний колір водню, або так звана воднева веселка, механізми виробництва або видобутку водню, екологічний вплив

Колір Водню (англ. / укр.)	Основний спосіб виробництва	Схема (спрощено)	Екологічний Вплив / Особливості
Grey / Сірий	Паровий риформінг метану (SMR) з природного газу	Природний газ + Пара → Водень + CO ₂ (викиди)	Високий вуглецевий слід
Blue / Блакитний	Паровий риформінг метану (SMR) з уловлюванням вуглецю (CCUS)	Природний газ + Пара → Водень + CO ₂ (уловлювання та зберігання)	Значно нижчий вуглецевий слід порівняно із сірим воднем
Green / Зелений	Електроліз води з використанням відновлюваної енергії	Вода + Електрика (з ВДЕ) → Водень + Кисень	Нульовий вуглецевий слід
Pink / Рожевий	Електроліз води з використанням ядерної енергії	Вода + Електрика (з АЕС) → Водень + Кисень	Нульові викиди CO ₂ , але питання щодо ядерних відходів
Turquoise / Бірюзовий	Піроліз метану	Метан → Водень + Твердий вуглець	Потенційно низький вуглецевий слід (залежить від джерела енергії та утилізації вуглецю)
Yellow / Жовтий	Електроліз води з використанням сонячної енергії	Вода + Електрика (переважно сонячна) → Водень + Кисень	Залежить від частки сонячної енергії в загальному балансі
White / Білий	Природний видобуток з підземних родовищ	Природні підземні родовища → Видобуток водню	Дуже низький вуглецевий слід при видобутку, обмежена поширеність
Purple / Фіолетовий	Електроліз / термічні процеси з використанням ядерної енергії	Вода + Електрика (з АЕС) → Водень + Кисень	Синонім рожевого водню
Red / Червоний	Газифікація біомаси	Біомаса → Водень + Супутні продукти	Потенційно низький вуглецевий слід, залежить від управління біомасою
Golden / Золотий	Газифікація відходів / змішані технології	Газифікація або піроліз різних відходів (наприклад, муніципальних, промислових) для отримання водню (на виснажених родовищах)	Низький вуглецевий слід, сприяє циклічній економіці
Black (Brown) / Чорний (Коричневий)	Газифікація кам'яного або бурого вугілля	Кам'яне вугілля перетворюється на газ при високих температурах, з якого потім виділяється водень	Високий вуглецевий слід, через високі викиди CO ₂ від вугілля

Виробництво водню з більш екологічно чистих джерел є напрямом інтенсивних досліджень протягом останніх років. Тому зелений водень на сьогодні залишається найбільш затребуваним штучним паливом. Обладнання для його виробництва надзвичайно вартісне, потребує великої кількості енергії, відведення значних площ земель, водних

ресурсів, надійних сховищ, транспортних шляхів доставки кінцевого продукту до внутрішніх та зовнішніх ринків збуту. Очікується (згідно зі стратегією зеленого переходу у світі), що до 2050 року зелений водень стане найпопулярнішим методом виробництва та економічно конкурентоспроможним із цінами на природний газ.

Інший, золотий водень має особливо унікальний метод виробництва. Цей вид водню може видобуватися з виснажених нафтових родовищ. Такі свердловини містять залишкові запаси нафти, які наразі нерентабельно видобувати. Для отримання золотого водню у виснажені свердловини закачують фірмові суміші поживних речовин і бактерій. Потім бактерії розщеплюють залишки нафт на H_2 і CO_2 . Цей процес може дати нове життя свердловинам, а однією з переваг може бути наявна інфраструктура. Однак забезпечення того, щоб CO_2 можна було вловлювати зі свердловин, є пріоритетним завданням для забезпечення вуглецевої нейтральності цього типу водню.

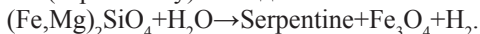
Найбільший інтерес для геологів має білий, природний або геологічний водень, що безперервно утворюється в надрах Землі і на якому надалі зосередимось у цій статті.

Геологічний водень – небіогенний або абіотичного походження, безперервно генерується завдяки різним природним фізико-хімічним механізмам, відповідно до процесів, які досі погано вивчені. Встановлення основних механізмів його формування передбачає проведення комплексних досліджень, що поєднують геологічні дані, ізотопні аналізи, аналізи тиску та складу газів і т. д. для з'ясування ймовірного походження, міграції, накопичення водню.

Проаналізувавши публікації щодо утворення, поширення, накопичення водню [4; 10–12; 16; 22; 23], а також результати власних польових досліджень і спостережень [13; 14], стає зрозуміло, що водневу систему в геологічному середовищі потрібно описувати подібно до вуглеводневих систем осадових басейнів із виділенням етапів генерації, міграції та акумуляції, але чи аналогічні процеси з вуглеводнями – питання є не вирішеним до кінця й залишається актуальним для подальших досліджень.

Генерація геологічного водню. Утворення водню пов'язане з різними геохімічними процесами [21], основними з яких є такі:

1) серпентинізація – ключовий механізм генерації водню, що відбувається при взаємодії води з залізовмісними мінералами ультраосновних порід (наприклад, олівіном та піроксенами) за високих температур і тиску. Результатом є утворення гідроксильних мінералів (серпентину) та виділення вільного водню:



Цей процес активно відбувається в офіолітових комплексах, що є фрагментами давньої океанічної кори, а також у зонах серединно-океанічних хребтів;

2) радіоліз води – розпад молекул води під впливом радіоактивного випромінювання від природних радіоактивних елементів (U, Th, K). Цей процес може відбуватися в кристалічних щитах та древніх кратонах, де зосереджені граніти та інші магматичні породи з підвищеним вмістом радіоактивних елементів;

3) термогенні процеси – розкладання органічної речовини (наприклад, керогену) за високих температур;

4) тектонічні процеси – деякі дослідження вказують на те, що водень може утворюватися під час інтенсивних тектонічних рухів у зонах розломів, де відбувається взаємодія між водою та SiO_2 порід.

Міграція та акумуляція водню. Розуміння особливостей міграції, ролі водню в геохімічних процесах, підтвердження акумуляції водню є основою для пошуку його потенційних покладів. Міграція водню з надр Землі та його акумуляція є складною та важливою проблемою, вирішення якої потребує фундаментальних досліджень з урахуванням усіх процесів та умов формування в комплексі. Вирішення таких проблем у світі перебуває

на початковому етапі, оскільки залежно від джерел набір умов формування покладів відрізнятиметься.

Водень може мігрувати по розломах і тріщинах у гірських породах, що забезпечують швидке переміщення до поверхні. Він відіграє важливу роль у геохімічних процесах на глибинах та під час руху на поверхню.

Збільшення кількості публікацій у світі по різних регіонах свідчать про те, що активно досліджують процеси міграції в різних тектонічних регіонах, оцінюються можливі місця акумуляції водню для кращого розуміння його ролі у геохімічних процесах.

Водень, наприклад, утворюється внаслідок процесів серпентинізації в глибоких водоносних горизонтах, що контактують з фундаментом, багатих на залізо. Згодом газ мігрує на поверхню через мережу розломів, тріщин або ділянок, що за своїми властивостями не утримують його. Молекулярний водень можна фіксувати в ґрунтовому газі спеціалізованими портативними газоаналізаторами з водневими сенсорами [13]. Геохімічні дослідження ґрунту показують, що водень переважно просочується по всьому профілю ґрунту [13]. Витоки водню можуть бути пов'язані із зонами розломів, які, найімовірніше, діють як канал для висхідної його міграції.

Проте є одне підтверджене водневе родовище, яке свідчить про своєрідні умови накопичення водню. Водень родовища Буракебугу (Малі) накопичений у протерозойських пісковиках, що перекриті непроникними шарами (глинами та долеритами). Імовірне джерело водню – серпентинізація або реакції «вода – порода» в ультраосновних породах, які виділяють водень. Газ утримується під тиском у куполоподібній структурі [11].

За матеріалами [11], на основі даних з нових свердловин у межах родовища Буракебугу підтверджена наявність водневого покладу. Поклад формується щонайменше з п'яти складених інтервалів, що містять значну кількість водню, які охоплюють площу, що перевищує 8 км у діаметрі. Воднева система представлена генерацією у фундаменті, а резервуари водню містять сліди метану, азоту і гелію. Стратиграфічно накопичення водню пов'язане з наявністю багат шарових долеритових силів і наявністю водоносних горизонтів, які, найімовірніше, відіграють вагомую роль у запобіганні міграції та витоків водню до поверхні [11].

Стік або природні витoki водню на поверхні. Початком зовсім нових досліджень, пов'язаних із пошуком водню або картування аномальних зон із підвищеним вмістом водню, на відміну від опробування свердловини, можуть бути ділянки з поверхневими природними витокami водню. Такі витoki можна зафіксувати портативними газовими аналізаторами в ґрунтовому газі [13] або під час складнішого відбору та аналізу з води. Імовірні витoki водню регулярно створюють на поверхні легко помітні сліди, які часто називають магiчними колами (fairy circles), або круглими чи напівкруглими заглибленнями (circular depression) (рис. 2) [6; 12; 15; 16; 21].

Такі «магічні кола», або напівкруглі заглиблення, часто заповнені водою без рослинності, яка є тільки по краях. «Магічні кола» знайдені по всьому світу, зокрема в Малі, Бразилії, Сполучених Штатах, Австралії та ін. [21; 6; 12; 15]. Проте не так давно (2023 р.) компанією Natural Hydrogen Energy LLC у співпраці з HyTerra Ltd [7] пробурена перша wild cat-свердловина для розвідки природного геологічного (білого) водню – Hoarty NE3 у штаті Небраска США (проект Женева) у центрі такого – fairy circle.

Свердловина Hoarty NE3 поки не дала комерційного видобутку водню, але виявила підвищену концентрацію водню та гелію і підтвердила потенціал природного водню в цьому регіоні США. Для оцінки комерційного потенціалу ресурсу потрібні подальші випробування, включно з розширеним випробуванням свердловини. За отриманими результатами з'явилось ще одне невирішене запитання – як водень та гелій поведуть себе під час формування водневих покладів і яка роль гелію.

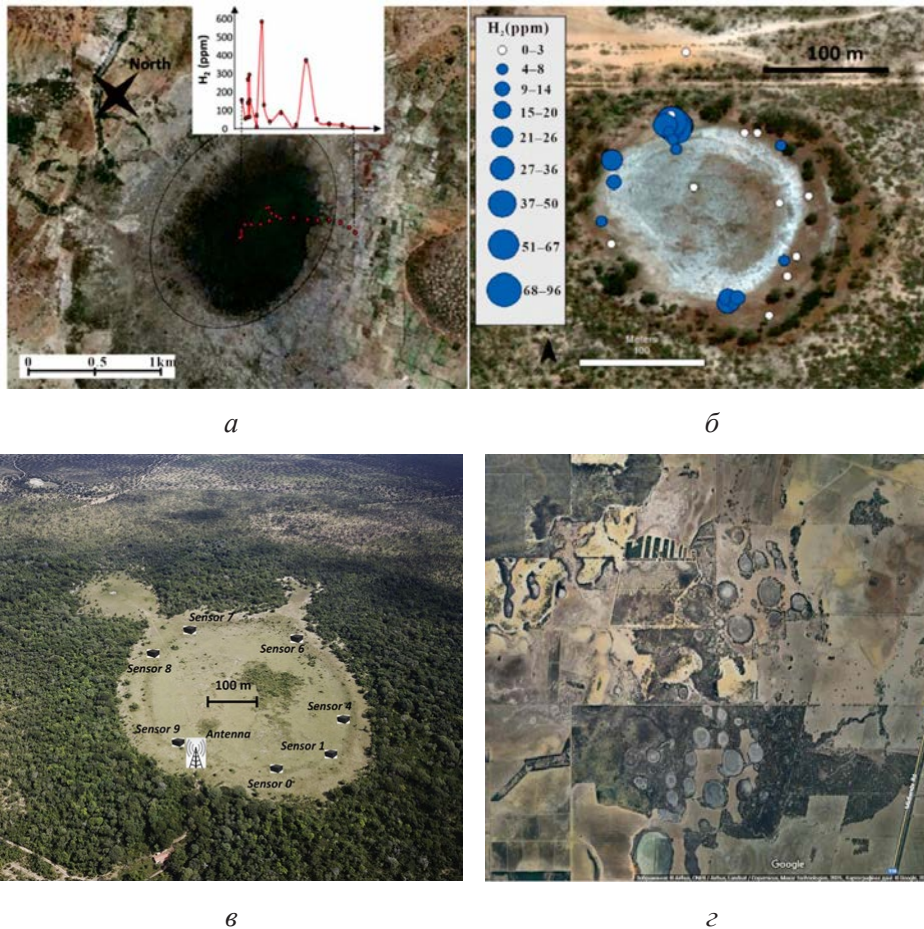


Рис. 2. Імовірні так звані магічні кола (fairy circles), або круглі / напівкруглі заглиблення (circular depression), у Малі, Австралії, Бразилії [21, 6, 12, 15]: *а* – велике скупчення витоків природного водню в Буракебугу (Малі) із замірами його вмісту; *б* – природні витoki водню, виявлені в басейні Північного Перту, Західна Австралія [6]; *в* – фото та розташування станцій моніторингу водню в circular depression (басейн Сан-Франциско, Бразилія) [12]; *г* – фрагмент з карти Google з кулеподібними утвореннями (на північний захід від Мура, Західна Австралія), які пов'язують з природними витокami водню [15]

Водночас ці компанії останніми роками розширюють свої водневі проекти (у комплексі з гелієм), наприклад, у рифтовій структурі в межах штату Канзас (США) – проект Nemaha (Немаха) (рис. 3) [7].

Імовірні перспективи, розташування та потенціал водню. Молекулярний водень трапляється у вигляді розчиненого газу, у включеннях та у вигляді вільного газу (рис. 4) за даними [10; 23]. Найбільше значення для промислової оцінки має водень у вільному газі. Знаходження підвищеного вмісту водню може мати комерційне зацікавлення.

В Україні з її геологічною будовою є теж сприятливі умови для накопичення й можливого виявлення природного геологічного білого водню. Проте пошук та перевірка достовірності інформації, аналіз даних, проведення поверхневих геохімічних досліджень

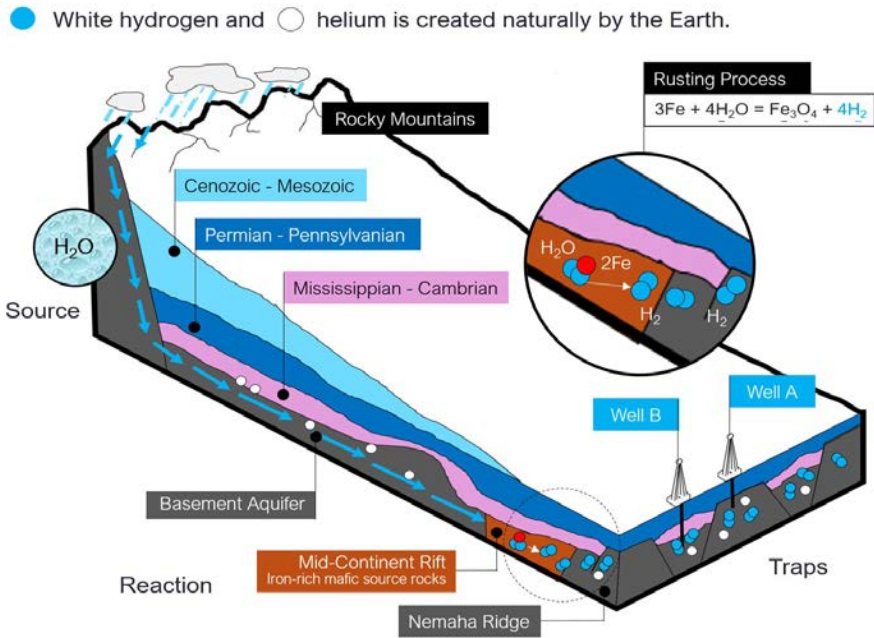


Рис. 3. Схематична геологічна модель формування покладів, що є основою проєкту компанії HyTerra Ltd – водневого (у комплексі з гелієм) проєкту Nemaha (Немаха, штат Канзас, США) згідно з даними [7] (блакитні кружечка вказують на водень та ймовірну його міграцію та накопичення, а білі – гелію)



Рис. 4. Природний водень (як розчинений газ, як газ у включеннях або як вільний газ) на карті світу, станом на 2020 р. [10] за даними [23]

та ін. перебуває на початковому етапі й викликає зацікавлення в державних та деяких приватних нафтогазовидобувних компаніях.

Основні невирішені питання та проблеми: розуміння геологічних умов накопичення – ідентифікація водневих пасток, добір комплексу геохімічних та геофізичних методів розвідки або розробка нових підходів для виявлення «водневих» родовищ у кожному перспективному регіоні.

Низка публікацій про водень, гучні заявки з повідомлень в інтернеті про підвищений вміст водню у світі (в Україні) потребує ретельної перевірки достовірності отриманих даних та перегляду інформації.

За попередніми результатами власних польових геохімічних досліджень та аналізом публікацій [1; 13; 14] перспективними для пошуку водню в межах України (або, насамперед, для проведення поверхневих геохімічних робіт, аналізу складу газу свердловин чи в подальшому можливого буріння нових) можуть бути осадові басейни Волино-Подільської плити, Дніпровсько-Донецької западини, Передкарпатського та Закарпатського прогинів.

Завдяки тому як дедалі більше компаній запускають водневі пілотні проекти, розмови про роль водню в енергетичному балансі та можливість його знаходження лише при скорюються. Компанії, що займаються розвідкою природного водню у світі, паралельно, вивчають архівні дані із «сухих» вуглеводневих та інших свердловин, щоб з'ясувати, чи випадково не знайшли водень. Одним із першочергових напрямів може бути опробування на вміст водню старих та інших (експлуатаційних, не експлуатуються, нерентабельних, виснажених) свердловин, у яких зафіксовано низький уміст метану, але наявні інші гази (азот, гелій). Такі свердловини можуть бути об'єктами дослідження для ймовірного виявлення підвищеного вмісту водню хоча б у деяких із них.

Що стосується виявлення поверхневих витоків водню в межах нафто- та газоперспективних регіонах, то такі знахідки теж не автоматично відкривають шлях до оголошення комерційної знахідки. Навпаки, сам факт витoku може свідчити про те, що газ неефективно утримується під поверхнею. Тому потрібні додаткові дослідження, щоб підтвердити та виявити ймовірні поклади, якщо такі умови для їх формування є. Знайти водневий резервуар можна в місцях, де менше розломів, і якщо переважають сприятливі умови накопичення, близько розташоване джерело генерації, то, відповідно, можуть формуватися пастки.

Геологічний водень утворюється завдяки процесам, що відрізняються від вуглеводнів, а отже, місця, які ніколи не були об'єктом зацікавлення для розвідки газу та нафти, цілком можуть бути перспективними на водень [16], що стосується й території України.

Відмінність між водневою та вуглеводневою системою існує, викликає низку питань і нез'ясована до кінця [16]. Оскільки H_2 є найменшою та найлегшою молекулою, то в усіх випадках, коли водень вивільняється на великій глибині, він може повільно просочуватися майже будь-де в земній корі та повільно безперервно дифундувати до поверхні певними шляхами, але чи ті шляхи є постійними чи змінюються залежно від впливу інших факторів. До кінця не з'ясованим є ці шляхи міграції та в яких геологічних резервуарах, а головне – за яких умов, може безперервно накопичуватися геологічний водень, утворювати повноцінні промислові поклади і скільки потрібно на це часу.

Оцінка перспектив та проведення подальших досліджень. Для оцінки перспектив та проведення подальших дослідження на виявлення покладів водню потрібне детальне картування потенційних «водневих» провінцій в Україні (у світі), розробка та апробація нових геохімічних і добір комплексу геофізичних методів, спеціально адаптованих для пошуку водню, оцінка можливість інтеграції водню в наявні енергетичні системи, вивчення

екологічних наслідків видобутку водню, створення міжнародної правової та регуляторної бази для його освоєння – наявність у переліку корисних копалин може пришвидшити цей процес.

Серед вирішення найважливіших питань для оцінки перспектив природного геологічного водню – розкрити його потенціал, імовірне промислове освоєння, зосередившись на такому: геохімії природного утворення водню, генерації, накопиченні та міграції водню; доборі геофізичних методів для дослідження та пошуку природного водню; ідентифікації природних джерел водню; виявлення природних резервуарів водню; можливості в технологіях, інфраструктурі, впливу на навколишнє середовище, а також кінцеву вартість та рентабельність видобутку.

Виклики та ризики, що пов'язані з освоєнням геологічного водню як корисної копалини. Незважаючи на значні перспективи, освоєння природного геологічного водню стикається з низкою викликів та ризиків:

1) наукова невизначеність: бракує всеосяжного розуміння геохімічних процесів формування водню та механізмів його накопичення у великих обсягах;

2) технологічна незрілість: технології розвідки, буріння та видобутку водню все ще перебувають на початковій стадії розробки;

3) безпека: водень – вибухонебезпечний газ, що вимагає відповідних заходів безпеки при його можливому видобуванні, зберіганні та транспортуванні;

4) інфраструктура: відсутність широкомасштабної інфраструктури для транспортування та розподілу білого водню є значною перешкодою, але розвиток зеленого водню тільки сприятиме;

5) регуляторна база: відсутність чітких законодавчих норм та стандартів для видобутку геологічного водню може стримувати інвестиції.

6) екологічні ризики: незважаючи на «чистоту» кінцевого продукту, сам процес видобутку може мати певні екологічні наслідки, які потребують ретельного вивчення.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Природний геологічний водень є перспективною новою корисною копалиною, яка може відіграти ключову роль у декарбонізації світової економіки та забезпеченні енергетичної безпеки. Його унікальні характеристики – відновлюваність та ймовірна потенційно низька собівартість видобутку – роблять його привабливою альтернативою традиційним вуглеводням.

Проте станом на сьогодні вирішення низки нез'ясованих питань вимагає значних інвестицій у фундаментальні та прикладні наукові дослідження. Розуміння геохімічних процесів, що призводять до генерації та накопичення водню в різних регіонах світу з урахуванням усіх чинників, розроблення більш ефективних методів розвідки та видобутку, створення безпечної та надійної інфраструктури для його транспортування й зберігання є одними із найактуальніших завдань.

Пошук і розвідка природного геологічного, білого водню, як нового виду корисної копалини з нульовим або нейтральним викидом вуглекислого газу, є досить складним і часто неоднозначним із багатьма нез'ясованими питаннями, що пов'язані зі складною поведінкою, накопиченням, міграцією та особливостями водню в надрах Землі. Не такими однозначними є і критерії пошуку та комплекс геолого-розвідувальних робіт, необхідний для виявлення покладів водню, що значно відрізняється від пошуку та розвідки на вуглеводні. Зважаючи на те, що є різні джерела водню, то комплекс методів виявлення покладів, безсумнівно, може відрізнитися або мати свої особливості чи специфіку.

Незважаючи на прогрес у пошуку водню в різних країнах світу та навіть наявність одного активного родовища в Малі, обсяг даних все ще недостатній для створення всеосяжної картини потенційних світових ресурсів, механізмів формування та накопичення покладів.

Більшість досліджень перебуває на початковій стадії, фокусуючись на фундаментальних процесах і локальних аномаліях, пошуку джерел безперервної генерації водню. Виявлення потенційних покладів, придатних для комерційної експлуатації, є питанням часу, що пропорційне кількості та якості досліджень із застосуванням комплексним інструментів дослідження.

Перед працівниками нафтогазовидобувних компаній, що займаються пілотними проєктами, пов'язаними з пошуком та розвідкою природного водню або науковців, що працюють над фундаментальними роботами щодо водню, виникає низка нез'ясованих запитань і неможливість швидкого вирішення певних технологічних проблем.

Природний (геологічний) водень, як альтернативне джерело енергії, на фоні щорічного збільшення використання та популярності міг би забезпечити потреби в різних галузях енергетики, промисловості та зробити значний внесок в економіку України з нульовими викидами вуглецю або з меншими витратами. Білий водень – невід'ємна частина на шляху переходу до безвуглецевої економіки й багатообіцяльна за умови виявлення значних покладів та успішної експлуатації.

Пошук та розвідка природного водню для такої сприятливої в геологічному й тектонічному відношенні країни як України, може дати позитивні результати при оцінці його, насамперед, перспективності. Але лише з урахуванням світових водневих тенденції та сучасних досягнень, що націлені на розробку та вдосконалення унікальних для цієї корисної копалини, методики і критеріїв пошуку та розвідки, що відмінні від традиційних при пошуку та розвідці вуглеводнів у нафтогазовій промисловості, може бути отриманий позитивний результат та ймовірна промислова експлуатація в майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мельничук В. Г. Обґрунтування перспектив на водень неопротерозойських формацій Поліської сідловини і північної частині Волино-Подільської монокліналі. *Проблеми геології України: збірник наукових праць*. Львів, 2024. С. 85–97.
2. Про затвердження переліків корисних копалин загальнодержавного та місцевого значення : Постанова Кабінету Міністрів України, 23. 05. 2025р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-94-%D0%BF#Text>. Дата звернення 23.08.2025 р.
3. AGA. Natural hydrogen has been underestimated [Online]. 2023. URL: <https://www.aga.org/natural-hydrogen-has-been-underestimated/>
4. Ballentine C.J., Karolytė R., Cheng A. et al. Natural hydrogen resource accumulation in the continental crust. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2025. 6, P. 342–356. URL: <https://www.nature.com/articles/s43017-025-00670-1>
5. Etiopie G. (2023). Massive release of natural hydrogen from a geological seep (Chimaera, Turkey): Gas advection as a proxy of subsurface gas migration and pressurised accumulations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023. 48(25), P. 9172–9184. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.025>.
6. Frery E., Langhi L., Maison M., Moretti I. Natural hydrogen seeps identified in the north Perth basin, western Australia. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, 46.61. P. 31158–31173. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.023>
7. Hyterra Project. URL: <https://hyterra.com/projects/>
8. Incer-Valverde J., Korayem A., Tsatsaronis G., & Morosuk, T. “Colors” of hydrogen: Definitions and carbon intensity. *Energy conversion and management*, 2023. 291. P. 117294. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100732>
9. Kay A. The Hydrogen Rainbow. AGA, 2023. URL: <https://www.aga.org/the-hydrogen-rainbow/>
10. Patonia A., Lambert M., Lin N., Shuster M. Natural (geologic) hydrogen and its potential role in a net-zero carbon future: Is all that glitters gold? Oxford Institute for Energy Studies.

- 2024, P. 1–33. URL: <https://www.oxfordenergy.org/publications/natural-geologic-hydrogen-and-its-potential-role-in-a-net-zero-carbon-future-is-all-that-glitters-gold/>
11. Prinzhofer A., Tahara Cissé C. S., Diallo A. B. Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali). *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. Vol. 43, no. 42. P. 19315–19326. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.193>.
 12. Prinzhofer A., Moretti I., Francolin J. B. L., Pacheco C., d'Agostino A. et al. Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H₂-emitting structure. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019. 44(12). P. 5676–5685.
 13. Skakun L., Kril S., Tari G., Vikhot Yu., Moroz Ye. Natural Hydrogen Measurements in Soil Gas: A Methodological Case Study in the Carpathian Foredeep, Ukraine. *AAPG Europe Region Conference, Energy Transition*. Krakow, Poland, May 28-29, 2024, p. 221.
 14. Skakun L., Kril S., Tari G., Gunda M., Mykhalevych I., Moroz Yu. (2024) Hydrogen Systems of the Major Sedimentary Basins of Ukraine. Hydrogen Systems of the Major Sedimentary Basins of Ukraine. *AAPG Europe Region Conference, Energy Transition*. Krakow, Poland, May 28-29, 2024. Krakow, 2024. P. 220.
 15. Stalker L. The earth might hold huge stores of natural hydrogen – and prospectors are already scouring South Australia for it. 5 July 2023. URL: <https://www.csiro.au/en/news/All/Articles/2023/July/Natural-hydrogen>
 16. Tari G. Chapter 3 Natural hydrogen exploration: some similarities and differences with oil and gas exploration. In: Rezaee R. and Evans B. ed. *Natural Hydrogen Systems: Properties, Occurrences, Generation Mechanisms, Exploration, Storage and Transportation*. De Gruyter, 2025. pp. 75–104. <https://doi.org/10.1515/9783111437040-003>
 17. Vikhot Y., Kril S. Natural Hydrogen as an Alternative Energy Source. *6th International Conference on Innovative Academic Studies (ICIAS 2025)*, March 12-13, 2025: Konya, Turkey, P. 600.
 18. Vikhot Y., Kril S. Gold Hydrogen: Importance and Ways of Migration. *5th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (ICENSOS 2025)*, April 15-16, 2025, Konya, Turkey, P. 74.
 19. Vikhot Y., Kril S. White Hydrogen as a New Carbon-Free Mineral Resource – Current Status. *6th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (ICENSOS 2025)*, August 10-11, 2025: Konya, Turkey, P. 65.
 20. Vikhot Y., Kril S. Hydrogen of Natural Origin as a New Mineral Resource: Myth or Reality? *8th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS 2025)*, August 22-23, 2025: Konya, Turkey, p. 108.
 21. Wang L., Jin Z., Chen X., Su Y., Huang X. The Origin and Occurrence of Natural Hydrogen. *Energies*. 2023, 16(5). P. 2400. <https://doi.org/10.3390/en16052400>
 22. Willige A. The colors of hydrogen: Expanding ways of decarbonization, 2022. URL: <https://spectra.mhi.com/the-colors-of-hydrogen-expanding-ways-of-decarbonization>.
 23. Zgonnik V, The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth-Science Reviews*, 2020. 203. P.103–140.

REFERENCES

1. Melnychuk, V. G. (2024) Obgruntuvannya perspektyv na voden neoproterozoiskyykh formatsii Poliskoi sidlovyny i pivnichnoi chastyni Volyno-Podilskoi monoklinali [Substantiation of the prospects for hydrogen in the Neoproterozoic formations of the Polissya saddle and the northern part of the Volyn-Podilsky monocline]. *Problemy heolohii Ukrainy: zbirnyk naukovykh prats*. Lviv. P. 85–97 [in Ukrainian].
2. Pro zatverdzhennia perelikiv korysnykh kopalyn zahalnodержavnoho ta mistsevoho znachennia: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy [On approval of lists of minerals of national and local importance: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine],

- 05/23/2025. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-94-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian].
3. AGA (2023) Natural hydrogen has been underestimated. Retrieved from: <https://www.aga.org/natural-hydrogen-has-been-underestimated/>
 4. Ballentine, C.J., Karolytė, R., Cheng, A. et al. (2025) Natural hydrogen resource accumulation in the continental crust. *Nature Reviews Earth & Environment*. 6, 342–356. Retrieved from: <https://www.nature.com/articles/s43017-025-00670-1>
 5. Etiope, G. (2023). Massive release of natural hydrogen from a geological seep (Chimaera, Turkey): Gas advection as a proxy of subsurface gas migration and pressurised accumulations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(25). 9172–9184. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.025>.
 6. Frery, E., Langhi, L., Maison, M., & Moretti, I. (2021). Natural hydrogen seeps identified in the north Perth basin, western Australia. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(61), 31158–31173. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.023>
 7. Hyterra Project. Retrieved from: <https://hyterra.com/projects/>
 8. Incer-Valverde, J., Korayem, A., Tsatsaronis, G., & Morosuk, T. (2023). “Colors” of hydrogen: Definitions and carbon intensity. *Energy conversion and management*, 291, 117294. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100732>
 9. Kay, A. (2023) The Hydrogen Rainbow. AGA, 2023. Retrieved from: <https://www.aga.org/the-hydrogen-rainbow/>
 10. Patonia, A., Lambert, M., Lin, N. & Shuster, M. (2024). Natural (geologic) hydrogen and its potential role in a net-zero carbon future: Is all that glitters gold? Oxford Institute for Energy Studies. 1–33. Retrieved from: <https://www.oxfordenergy.org/publications/natural-geologic-hydrogen-and-its-potential-role-in-a-net-zero-carbon-future-is-all-that-glitters-gold/>
 11. Prinzhofer, A., Tahara Cissé, C. S., & Diallo, A. B. (2018). Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali). *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(42), 19315–19326. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.193>
 12. Prinzhofer, A., Moretti, I., Francolin, J. B. L., Pacheco, C., d’Agostino, A., [et al.]. (2019). Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H₂-emitting structure. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(12), 5676–5685.
 13. Skakun, L., Kril, S., Tari, G., Vikhot, Yu., Moroz, Ye., 2024. Natural Hydrogen Measurements in Soil Gas: A Methodological Case Study in the Carpathian Foredeep, Ukraine. AAPG Europe Region Conference, Energy Transition, Krakow, Poland, May 28–29, 2024, p. 221.
 14. Skakun, L., Kril, S., Tari, G., Gunda, M., Mykhalevych, I., Moroz, Yu. (2024) Hydrogen Systems of the Major Sedimentary Basins of Ukraine. Hydrogen Systems of the Major Sedimentary Basins of Ukraine. AAPG Europe Region Conference, Energy Transition, Krakow, Poland, May 28-29, 2024. Krakow. P. 220.
 15. Stalker, L. (2023). The earth might hold huge stores of natural hydrogen – and prospectors are already scouring South Australia for it. 5 July 2023. Retrieved from: <https://www.csiro.au/en/news/All/Articles/2023/July/Natural-hydrogen>
 16. Tari, G. (2025). Chapter 3 Natural hydrogen exploration: some similarities and differences with oil and gas exploration. In R. Rezaee & B. Evans (Ed.), *Natural Hydrogen Systems: Properties, Occurrences, Generation Mechanisms, Exploration, Storage and Transportation*. De Gruyter, 75–104. <https://doi.org/10.1515/9783111437040-003>
 17. Vikhot, Y., Kril, S. (2025). Natural Hydrogen as an Alternative Energy Source. 6th International Conference on Innovative Academic Studies (ICIAS 2025), March 12-13, 2025: Konya, Turkey, p. 600.
 18. Vikhot, Y., Kril, S. (2025). Gold Hydrogen: Importance and Ways of Migration. 5th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (ICENSOS 2025), April 15-16, 2025, Konya, Turkey, p. 74.
 19. Vikhot, Y., Kril, S. (2025). White Hydrogen as a New Carbon-Free Mineral Resource – Current Status. 6th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (ICENSOS), August 10-11, 2025: Konya, Turkey, p. 65.

20. Vikhot, Y., Kril, S. (2025). Hydrogen of Natural Origin as a New Mineral Resource: Myth or Reality? 8th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS), August 22-23, 2025: Konya, Turkey, p. 108.
21. Wang, L., Jin, Z., Chen, X., Su, Y., & Huang, X. (2023). The Origin and Occurrence of Natural Hydrogen. *Energies*, 16(5), 2400. <https://doi.org/10.3390/en16052400>
22. Willige, A. (2022) The colors of hydrogen: Expanding ways of decarbonization. Retrieved from: <https://spectra.mhi.com/the-colors-of-hydrogen-expanding-ways-of-decarbonization>.
23. Zgonnik, V. (2020). The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth-Science Reviews* 203, p.103–140.

NATURAL (GEOLOGICAL) HYDROGEN AS A NEW MINERAL RESOURCE: CURRENT STATE, CHALLENGES, PROSPECTS, RISKS

Yuriy Vikhot^{1, 2}, Solomiia Kril^{2, 1}

¹Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005

e-mail: yuvik@ukr.net;

²UkrNDIgas, JSC Ukrgasvydobuvannya, Stryiska Str., 144, Lviv, Ukraine, 79000

e-mail: solia_kr@ukr.net

Hydrogen is increasingly being mentioned as one of the key elements of energy security for developed countries. According to the IEA (International Energy Agency), global demand for hydrogen reached 100 million tons in 2024 and continues to grow. Hydrogen is becoming key to green transition energy strategies to ensure CO₂ emissions reduction. Carbon-free hydrogen production is one of the defining elements of the global energy transition, but it requires expensive technological solutions.

Industrial extraction of natural hydrogen of various origins (e.g., white, gold hydrogen) will contribute to reducing the use of fossil fuels (gas, coal), which emit large amounts of CO₂. Such hydrogen will enable a rapid and economically less costly transition to a decarbonized economy with reduced carbon emissions or achieve a neutral balance compared to green hydrogen production.

Of particular importance is geological, or so-called “white,” hydrogen of natural origin, which has significant potential to provide the country with inexpensive carbon-free energy. Natural hydrogen H₂, as a new mineral resource and renewable energy source, could become a potentially cheap alternative for future developments in the carbon-free economy in Europe and other countries around the world if deposits are discovered and commercially exploited.

This article analyzes the current state, trends, and prospects for the search and exploration of natural (geological or white) hydrogen in European and other countries based on published research results in articles and other available data sources. Its importance as a mineral resource is demonstrated, as well as its place and significance among other types of hydrogen from the so-called “hydrogen rainbow”.

A major achievement and significant progress for Ukraine is that it has become a country where “natural hydrogen” was officially included in the list of minerals of national importance in 2025. That is why it has become urgent to resolve issues related to search criteria, geological hydrogen exploration, research into potential natural reservoirs, prospects, and the risks of extraction, storage, and transportation.

The article highlights the possibilities of searching for geological hydrogen as an alternative mineral resource, demonstrates current achievements, possible future prospects for search and exploration, and risks, based on hydrogen trends and achievements in European countries and other regions of the world.

Natural (geological) hydrogen will play an important role in the future as a renewable energy source with no emissions or CO₂ neutrality. White hydrogen could become an alternative to expensive hydrogen production using various renewable sources, or where it is not possible to develop infrastructure for green hydrogen. Successful industrial production of geological (white) hydrogen will be able to replace part of the demand for hydrogen and reduce the demand for natural gas in many areas of energy, industry, and transport.

Key words: natural hydrogen, geological hydrogen, white hydrogen, golden hydrogen, H₂, green hydrogen, carbon-free economy, hydrogen trends.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТОПАЗІВ ВОЛИНІ ПОРІВНЯНО З БАГАТОГРАНИКАМИ ТОПАЗУ З НИЗКИ РОДОВИЩ СВІТУ

Олександр Вовк¹, Ігор Наумко²

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Банкова, 9,
Луцьк, Україна, 43025

e-mail: geologygeochemistry@gmail.com

²Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, вул. Наукова, 3-а,
Львів, Україна, 79060

e-mail: naumko@ukr.net

Проаналізовано кристаломорфологічні особливості топазів Волині, які є стратегічно важливими мінералами для мінерально-сировинної бази України. Здійснено порівняння морфології волинських кристалів із топазами з інших родовищ світу, виявлено потребу в оновленні та універсалізації застарілої класифікації багатогранників, розробленої ще для родовищ колишнього СРСР. Підтверджено, що форма кристалів залежить як від кристалічної структури, так і від умов утворення. Ретельний аналіз типоморфних ознак топазів із різних мінерально-структурних зон камерних (заноришових) пегматитів Коростенського плутона (камери (занориші), зони вилугування, метасоматичні породи, кварцова, польовошпатована, пегматоїдна зони) дав змогу авторам визначити переважні типи багатогранників у кожному середовищі. Вивчення структурної симетрії грані, ретикулярної густини та векторів сильного зв'язку підтвердило морфологічну важливість граней {110}, {120}, {010}, {111}, {112}, {011}. Запропоновано замінити наявні терміни класифікації на універсальні: пінакоїдальний, дієдричний, рівномірний і пірамідальний. Здійснене зіставлення з кристалами із США та Бразилії засвідчило існування на них простих форм, які не належать до жодного з традиційних типів, що підтверджує актуальність запропонованої нової типології. Порівняння з багатогранниками топазу із Забайкалля дає змогу стверджувати, що волинські топази більше відповідають теоретичній послідовності морфологічної важливості простих форм, ніж забайкальські. Наголошено, що морфологія топазу може бути індикатором температури його утворення (з падінням температури кристаломорфологія топазу збідається), а також критерієм при пошукових роботах. Дослідження розширює уявлення про типоморфізм топазу, підвищує ефективність геологорозвідувальних робіт і сприяє раціональному освоєнню ресурсів.

Ключові слова: топаз, кристаломорфологія, багатогранник, типоморфізм, Волинь, пегматити, Коростенський плутон, морфологічні форми, ретикулярна густина, кристалічна структура.

Постановка проблеми. Топаз належить до одного зі стратегічно важливих мінералів для мінерально-сировинної бази України. Родовища цього унікального виду каменеварної сировини мають потенціал забезпечити вітчизняну ювелірну промисловість кондиційними кристалами ювелірного топазу, що може стати надійним джерелом коштів, зокрема валютних, для поповнення державної скарбниці України, особливо за умов повоєнної відбудови держави. Це вигідно вирізняє топаз серед інших видів коштовного каміння, більшість яких імпортується [3]. Особливої цінності для геологічної науки та практики в такому контексті набувають типоморфних властивостей топазу, тобто сукупність морфологічних, хімічних,

фізичних й оптичних характеристик, притаманних мінералам певних родовищ, зон або генерацій. Класифікація багатогранників топазу, розроблена ще на матеріалах родовищ колишнього СРСР, є застарілою, неповною та прив'язаною до конкретних родовищ. Таку класифікацію доцільно допрацювати, зробити універсальною та дерусифікувати.

Типоморфні властивості топазу істотно варіюють залежно від генетичних умов формування, що дає змогу використовувати їх як надійний критерій при пошуково-оцінювальних роботах. Виявлено, що топази з різних родовищ, а також з різних зон чи генерацій одного й того самого родовища, можуть відрізнятися за формою та розмірами кристалів, характером зональності, кольором, ступенем прозорості, складом включень та іншими параметрами. Зазначимо, зокрема, що морфологічні особливості кристалів (наприклад, розвиток призматичних, таблитчастих або дипірамідальних форм) є важливою типоморфною ознакою для диференціювання топазів різного походження.

Особливості типоморфізму топазу також широко застосовують як пошуковий критерій у розсіпних родовищах. Аналіз морфології, гранулометрії та хімічного складу топазу з розсіпів дає змогу визначити, чи ці мінерали похідні від уже відомих корінних джерел чи, навпаки, їхній склад і властивості свідчать про необхідність пошуків нових родовищ. Отже, вивчення типоморфізму топазу не лише поглиблює уявлення про умови його формування, а й підвищує ефективність геологорозвідувальних робіт, сприяючи раціональному освоєнню мінерально-сировинних ресурсів України. Водночас навіть з огляду на значне число опублікованих праць з проблеми, порівняння форми українських багатогранників топазу з кристалами з інших родовищ світу ще не було предметом дослідження.

Аналіз досліджень. Топази камерних (заноришових) пегматитів Волині (Коростенський плутон Українського щита) відомі ще з XIX століття, їх морфологію ретельно досліджували. Проблема ранніх публікацій полягає в тому, що існувало дві установки топазу й автори часто вибирали одні символи за одною установкою, а інші – за іншою, що створювало плутанину. Перші рисунки багатогранників топазу з камер (заноришів), відповідно до рентгенівської установки, були виконані П. К. Вовком для монографії Є. К. Лазаренко та ін. [6]. О. П. Вовк та І. М. Наумко ретельно дослідили кристаломорфологію з камер (заноришів), зон вилуговання та пізньої генерації топазу з метасоматично змінених порід, результати викладено в [6]. Оскільки зовнішня форма багатогранників залежить від кристалічної структури та умов утворення, це питання ними також обговорювалося [5; 17]. Залежність форми кристалів топазу від температури описано в [1]. Значна кількість гоніометрично опрацьованих топазів дала змогу провести статистичний аналіз та виділити типи волинських топазів відповідно до математичних методів [7]. Оскільки багатогранники топазу проявляються не лише в камерах (заноришах), зонах вилуговання та метасоматично змінених породах, а й зрідка в порожнинах графічної, пегматоїдної та кварцової зон, їхні відмінності описано в [9]. Підсумком усесторонніх досліджень топазу стала монографія [11]. Однак навіть у цій фундаментальній праці майже не розглядалися генетичні можливості реальних кристалів топазу. Можливості відтворення симетрії мінералоутворювального середовища та визначення напрямку мінералоутворювальних флюїдів за формою реальних багатогранників розглянуто в [4; 20], причини десиметризації топазу в [10]. Велика кількість фактичного матеріалу та проведені усесторонні дослідження дали змогу розробити методику дослідження мінеральної речовини на прикладі топазу [2].

Мета – узагальнити власні та літературні дані, порівняти топази Волині з топазами з інших родовищ, виділити типи багатогранників топазу на основі родовищ світу, а не тільки колишнього СРСР, доповнити чинну класифікацію.

Виклад основного матеріалу. Згідно з Є. К. Лазаренком [8], на родовищах колишнього СРСР виділяють три типи кристалів топазу: Мурзинський, Адун-Чілонський, Ільменський (рис. 1). Для Мурзинського характерний великий пінакоїд $\{001\}$, який за розмірами домінує над призмами $\{0kl\}$, в Адун-Чілонському типі пінакоїд вузький або відсутній, а в Ільменському – пінакоїд та призми $\{0kl\}$ розвинені приблизно однаково.

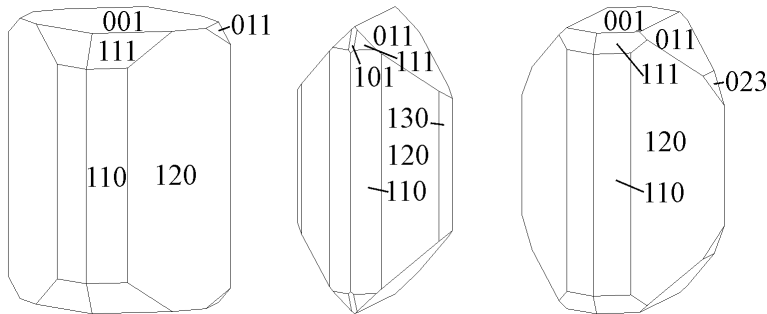


Рис. 1. Кристали топазу Мурзинського, Адун-Чілонського та Ільменського типів за [8]

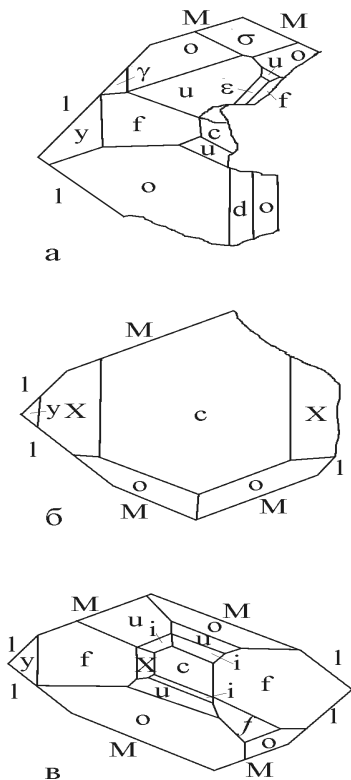


Рис. 2. Нетипові багатогранники топазу з камерних пегматитів Коростенського плутона [6]. Прості форми М {110}, І {120}, с {001}, Х {023}, f {011}, d {101}, σ {201}, о {111}, u {112}, і {112}, ε {114}, f {225}, γ {232}

Кристали топазу з камерних пегматитів Коростенського плутона із заноришів переважно належать до ільменського типу, адун-чілонські проявляються рідше. У зонах вилугування, графітній, пегматоїдній, кварцовій, польовошпатовій та зоні вилугування ситуація зворотна, тут переважають кристали адун-чілонського типу, а ільменського – проявляються рідше. Слід зазначити, що багатогранники топазу із зон вилугування не є іншою генерацією, вони утворилися в той самий кислотний період, що й кристали топазу із заноришів [16]. У метасоматично змінених породах виявлено топази пізньої генерації, які належать до адун-чілонського типу. Багатогранники мурзинського типу не типові для волинських топазів (рис. 2), зокрема, ідентифіковано лише один індивід, який є проміжним між мурзинським та ільменським типами (див. рис. 2 б).

Оскільки на зовнішню форму багатогранників впливає кристалічна структура, то нами вираховано, які саме прості форми теоретично можуть бути габітусними. Позаяк найважливіший ланцюг сильного зв'язку (РВС-вектор) за [15] проходить у напрямку [001], то призми $hk0$ повинні бути габітусними [5; 18; 19]. Це твердження підсилюється порівняно високою симетрією. Урахування ретикулярної густини за [12; 13] дає змогу дійти висновку, що найважливішими будуть призми М {110} та І {120}. Ці прості форми проявляються на багатогранниках топазу не лише з камерних пегматитів Коростенського плутона, а й з інших родовищ світу, зокрема колишнього СРСР, США, Бразилії [14]. За таких передумов типи кристалів топазу доцільно виділяти на основі їхніх головок, як і було запропоновано раніше. Враховуючи ретикулярну густину, вплив періодичних ланцюгів сильного зв'язку та симетрію грані найважливішими

на головках топазу є призми $\{011\}$ і $\{101\}$, пінакоїд $\{001\}$, ромбічні дипіраміди $\{111\}$ та $\{112\}$ [5]. Варто зазначити, що пояс $[100]$ важливіший за $[010]$, відповідно призма $\{011\}$ – за $\{101\}$, а дипіраміда $\{111\}$ має більшу ретикулярну густину, ніж $\{112\}$, і за нормальних умов повинна бути морфологічно важливішою. Морфологічно важливі прості форми з огляду на кристалічну структуру топазу зображено на (рис. 3).

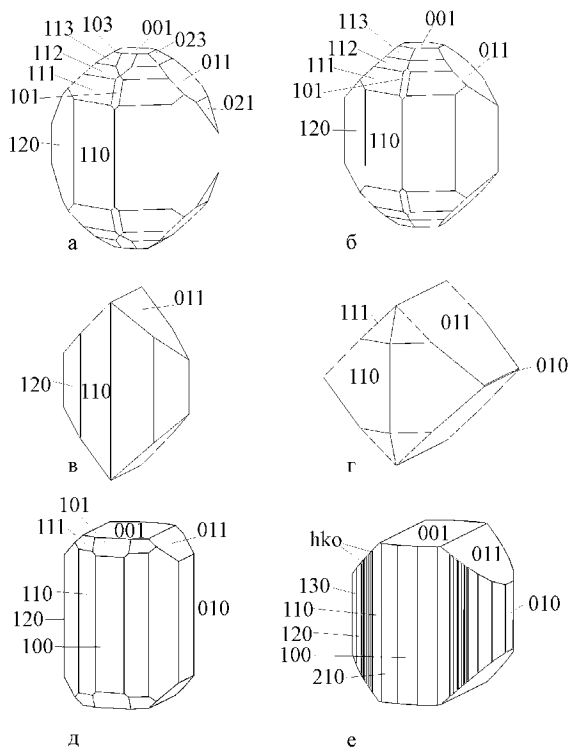


Рис. 3. Форма багатогранників топазу відповідно до аналізу кристалічної структури порівняно з волинськими індивідами:

а – типовий багатогранник топазу з камер (заноришів), б – із зон вилугування, в – із метасоматично змінених порід, г – рівноважна форма топазу із врахуванням ретикулярної густини граней, д – форма кристала топазу, утворена морфологічно важливими гранями відповідно до ланцюгів сильного зв'язку (РВС-векторів), е – форма кристалу топазу, сформована високосиметричними гранями [5].

Отже, крім трьох вищезгаданих типів, теоретично можливі багатогранники, на яких габітусною формою є дипіраміда $\{111\}$, рідше $\{112\}$. Аналіз Атласу Гольдшмідта [14] дав змогу знайти такі кристали з родовищ Бразилії та США. Згідно з матеріалами цього Атласу [14], зображення таких багатогранників наведено і в працях М. А. Кокшарова. Як впливає з рис. 4, їх не можна віднести до жодного типу кристалів, які раніше виділяли для родовищ колишнього СРСР. Оскільки такі багатогранники наявні в родовищах різних країн, ми не можемо назвати їх Бразильськими чи Американськими. Загальноприйняті назви типів із родовищ колишнього СРСР також не зовсім коректні, адже такі багатогранники характерні не лише для цих родовищ. Застосування кластерного аналізу для класифікації кристалів топазу [7] також не найкращий вибір, оскільки така класифікація надто складна.

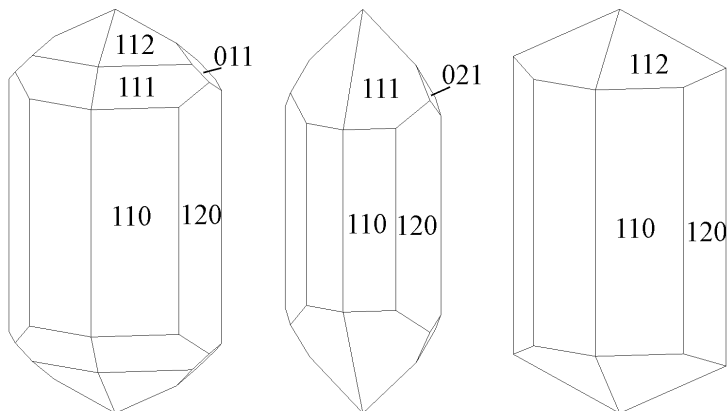


Рис. 4. Багатогранники топазу за [14], які не можна зарахувати до загальноприйнятих типів

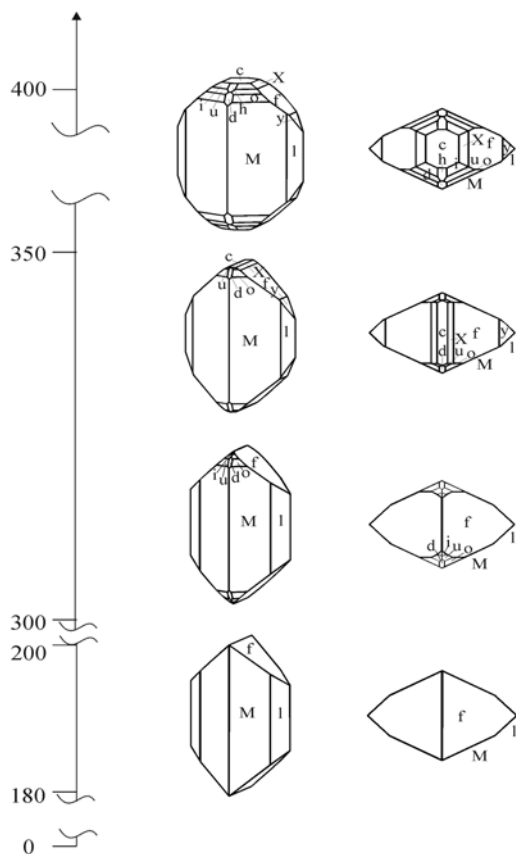


Рис. 5. Залежність габітусу волинських топазів від температури [1]

Враховуючи вказане вище, доцільно виділяти такі типи багатогранників топазу: пінакоїдальний замість Мурзинського, дієдричний замість Адун-Чілонського, рівномірний замість Ільменського та дипірамідальний (пірамідальний). Терміни дієдричний та пірамідальний пов'язані з тим, що більшість реальних багатогранників топазу – одноголові.

Форма багатогранників залежить не лише від їхньої кристалічної структури, а й від умов утворення, інакше багатогранники з усіх родовищ були б однакові. Цю залежність для кристалів топазів Волині показано на (рис. 5).

Порівняння багатогранників топазу з камерних пегматитів Коростенського плутона з топазами із Забайкалля з колекції авторів (рис. 6) показало, що волинські топази краще узгоджуються з прогнозованими габітусами відповідно до впливу кристалічної структури. Так, на відміну від забайкальських, на волинських багатогранниках топазу призма $\{110\}$ морфологічно важливіша за $\{120\}$, а дипіраміда $\{111\}$ – за $\{112\}$, тобто грані з більшою ретикулярною густиною (при інших рівних показниках) морфологічно важливіші, як і повинно бути. Щодо чотирьох багатогранників топазу із Забайкалля, то вони хоч і не є великою вибіркою, але наводять на роздуми, оскільки на всіх чотирьох спостерігається зворотна картина.

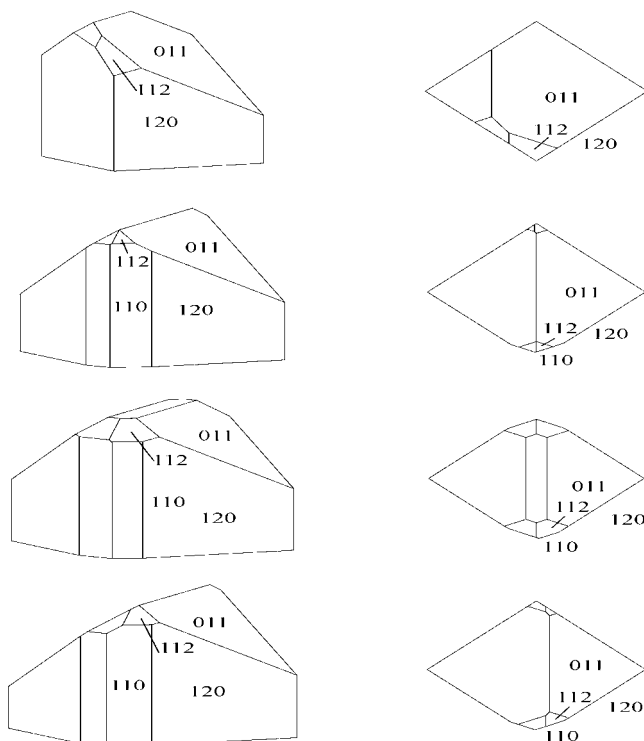


Рис. 6. Багатогранники топазу із Забайкалля (власна колекція), зліва аксонометрична проєкція, справа ортогональна проєкція

Висновки та перспективи подальшого дослідження:

1. Класифікація кристалів топазу, прийнята для родовищ колишнього СРСР, є неповною, застарілою та прив'язаною до конкретних родовищ. Доцільніше виокремити такі типи багатогранників, які охоплюють усі родовища світу: пінакоїдальний, дієдричний, рівномірний, пірамідальний.

2. З огляду на аналіз кристалічної структури, морфологічно важливими є такі прості форми $\{010\}$, $\{110\}$, $\{120\}$, $\{011\}$, $\{101\}$, $\{111\}$, $\{112\}$. Враховуючи те, що $\{110\}$ повинна бути важливіша за $\{120\}$, а $\{111\}$ – за $\{112\}$, волинські топази більше відповідають структурним рівноважним формам, ніж забайкальські.

3. З падінням температури морфологія волинських топазів збіднюється, що може слугувати попередньому визначенню температури без руйнування кристалів. Для точнішого визначення температури утворення потрібно застосовувати метод гомогенізації включень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вовк О. П., Наумко І. М. Вплив температури на кристаломорфологію топазу і берилу з камерних пегматитів Коростенського плутону. *Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання*: Матеріали восьмої науково-практ. конф., смт. Хорошів, 4 жовт. 2019 р. Київ, 2019. С. 35–41.
2. Вовк О., Наумко І. Генетичне значення кристаломорфологічних досліджень на прикладі топазу. *Мінералогічний збірник*. 2024. Т. 74. С. 22–30. <https://doi.org/10.30970/min.74.02>

3. Вовк О. П., Наумко І. М. Кристалогенез топазу і берилу камерних пегматитів Волині – передумова оцінки важливого виду каменебарвної сировини. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: Матеріали Четвертої міжнар. науково-практ. конф.*, м. Трускавець, 6–10 листоп. 2017 р. Київ, 2017. Т. 1. С. 96–101.
4. Вовк О. П., Наумко І. М., Павлишин В. І. Генетичне значення зміни співвідношення між гранними формами кристалів топазу з камерних пегматитів Коростенського плутону (Український щит). *Мінерал. журн.* 2022. Т. 44. № 3. С. 40–47. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.040>
5. Вовк О., Наумко І. Зв'язок кристалічної структури з особливостями морфології топазу з камерних пегматитів Волині. *Мінерал. зб.* 2013. Т. 63. № 1. С. 52–59.
6. Вовк О., Наумко І. Кристаломорфологія топазу з камерних (заноришевих) пегматитів Волині. *Мінерал. зб.* 2005. Т. 55, № 1–2. С. 79–89.
7. Вовк О., Наумко І. Особливості кристаломорфології топазу із камерних пегматитів Волині (за даними статистичних методів). *Мінерал. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 26–33.
8. Лазаренко Є. К. Курс мінералогії. Київ : Вища школа. 1970. 599 с.
9. Павлишин В. І., Вовк О. П., Наумко І. М. Характерні особливості кристаломорфології топазу з різних мінерально-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону Українського щита). *Мінерал. журн.* 2016. Т. 38. № 4. С. 3–13.
10. Павлишин В. І., Возняк Д. К. Симетрія-дисиметрія кристалів слюд і топазу камерних пегматитів Волині: кристалохімічні, морфологічні, генетичні аспекти. *Мінерал. журн.* 2020. Т. 42, № 1. С. 3–11. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.01.003>
11. Павлишин В., Довгий С., Пашенко Є., Вовк О. Топаз у надрах України та в історії народів. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017. 274 с. + 31 с. Вкл.
12. Bravais A. Etudes cristallographiques. *Journ. De l'Ecole polytechnique.* 1851. Vol. 34. P. 166–170.
13. Donnay J.D.H., Harker D. A new law of crystal morphology extending the law of Bravais. *Am. Mineral.* 1937. Vol. 23. P. 446–467.
14. Goldschmidt V. Atlas der Krystallformen. Heidelberg : Winter, 1922. Vol. 8 : Safflorit – Topas. 176 p.
15. Hartman P., Perdok W. On relation between crystal structure and crystal morphology. *Acta cryst.* 1955. Vol. 8. P. 49–52.
16. Kovalishin Z., Kalyuzhnyi V., Naumko I. Physico-chemical state of mineral-forming fluid during crystallization of the Volhyn chamber pegmatites, Ukraine. *Archiwum mineralogiczne. A journal of geochemistry, mineralogy and petrology.* 2000. Tom LIII, zeszyt 1–2. P. 133–136.
17. Naumko I. M., Vovk O. P. Crystallogenesis of topaz of chamber pegmatites of Korosten' plutone (Ukraine). Abstracts of 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro. 2000. URL: <http://cbrazil.dominal.com/g/0806021.pgf>.
18. Northrup P.A., Reeder R.J. Relationship between the structure and growth morphology of topaz [Al₂SiO₄(F,OH)₂] using the periodic bond chain method. *Journal of Crystal Growth.* 1995. Vol. 156, no. 4. P. 433–442. [https://doi.org/10.1016/0022-0248\(95\)00287-1](https://doi.org/10.1016/0022-0248(95)00287-1)
19. Ribbe P.H., Gibbs G.V. The crystal structure of topaz and its relation to physical properties. *American Mineralogist.* 1971. Vol. 56, no. 1–2. P. 24–30.
20. Vovk O.P., Naumko I.M., Pavlyshyn V.I., Yakovlyeva V.V. Distortion of the form of topaz polyhedra from chamber pegmatites of the Korosten pluton (Ukrainian shield) and its genetic significance. *Від Мінералогії і Геохімії до Геохімії, Петрології, Геології та Геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття: Збірник праць Всеукраїнської конференції (MinGeoIntegration XXI) (Київ, 28–30 вересня 2022 р.)*. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2022. С. 78–81.

REFERENCES

1. Vovk, O.P., Naumko, I.M. (2019). Vplyv temperatury na krystalomorfologiiu topazu i berylu z kamernykh pehmatyiv Korostenskoho plutonu [Effect of temperature on the crystal morphology of topaz and beryl from chamber pegmatites of the Korosten pluton]. *Mineral and raw material wealth of Ukraine: ways of optimal use: Materials of the eighth scientific practice. conf.*, 35–41 [in Ukrainian].

2. Vovk O., Naumko I. (2024). Henetychne znachennia krystalomorfologichnykh doslidzhen na prykladi topazu [Genetic significance of crystallomorphological studies on the example of topaz]. *Min. coll. LNU*, 74, 22–30 [in Ukrainian].
3. Vovk, O.P., Naumko, I.M. (2017). Krystalohenez topazu i berylu kamernykh pehmatyiv Volyni – peredumova otsinky vazhlyvoho vydu kamenebarvnoi syrovyny [Crystallogenesis of topaz and beryl of chambered pegmatites of Volyn - preconditions for assessment of an important type of stone-colored raw material]. *Subsurface use in Ukraine. Investment prospects: Proceedings of the Fourth International scientific and practice conf.*, 96–101 [in Ukrainian].
4. Vovk, O.P., Naumko, I.M., Pavlyshyn, V.I. (2022). Henetychne znachennia zminy spivvidnoshennia mizh hrannymy formamy krystaliv topazu z kamernykh pehmatyiv Korostenskoho plutonu (Ukrainskyi shchyt) [Genetic significance of variations in the faces of the simple forms of topaz crystal from chamber pegmatites of the Korosten pluton (Ukrainian shield)]. *Mineral. Journal*, 44, 3, 40–47 [in Ukrainian].
5. Vovk, O., Naumko, I. (2013a). Zv'язok krystalichnoi struktury z osoblyvostiamy morfolohii topazu z kamernykh pehmatyiv Volyni [Relationship of crystal structure with morphology features of topaz from chamber pegmatites of Volyn]. *Min. coll. LNU*, 63, 1, 52–59 [In Ukrainian].
6. Vovk, O., Naumko, I. (2005). Krystalomorfologhiia topazu z kamernykh (zanoryshevykh) pehmatyiv Volyni [Crystallomorphology of topaz from the chamber (zanorysh) pegmatites of Volyn]. *Min. coll. LNU*, 55, 1-2, 79–89 [in Ukrainian].
7. Vovk, O., Naumko, I. (2014). Osoblyvosti krystalomorfologhii topazu iz kamernykh pehmatyiv Volyni (za danymy statystychnykh metodiv) [Peculiarities of crystal morphology of topaz from chamber pegmatites of Volyn according to data of statistical methods]. *Mineral. Journal*, 36, 1, 26–33 [in Ukrainian].
8. Lazarenko, E.K. (1970). Kurs mineralohii [Course of mineralogy]. Kyiv: Vyshcha shkola [in Ukrainian].
9. Pavlyshyn, V.I., Vovk, O.P., Naumko, I.M. (2016). Kharakterni osoblyvosti krystalomorfologhii topazu z riznykh mineralno-strukturnykh zon kamernykh pehmatyiv Korostenskoho plutonu Ukrainskoho shchyt) [Typomorphic features of topaz crystal morphology from various mineral-structural zones of chamber pegmatites of Korosten pluton of Ukrainian shield]. *Mineral. Journal*, 38, 4, 3–13 [in Ukrainian].
10. Pavlyshyn, V.I., Vozniak, D.K. (2020). Symetriia-dyssymetriia krystaliv sliud i topazu kamernykh pehmatyiv Volyni: krystalokhimichni, morfolohichni, henetychni aspekty [Symmetry-dissymmetry of mica and topaz crystals of chamber pegmatites of Volyn: crystallochemical, morphological, and genetic aspects]. *Mineral. Journal*, 42, 1, 3–11 [in Ukrainian].
11. Pavlyshyn, V., Dovgiy, S., Pashchenko, E., Vovk, O. (2017). Topaz u nadrakh Ukrainy ta v istorii narodiv [Topaz in the subsurface of Ukraine and in the history of nations]. Kyiv: Instytut obdarovanoi dytyny NAPN Ukrainy [in Ukrainian].
12. Bravais, A. (1851). Etudes cristallographiques [Crystallographic Studies]. *Journ. De l'Ecole polytechnique*, 34, 166–170 [in French].
13. Donnay, J.D.H., Harker, D. (1937). A new law of crystal morphology extending the law of Bravais. *Am. Mineral.*, 23, 446–467.
14. Goldschmidt, V. (1922). Atlas der Krystallformen [Atlas of Crystal Forms]. Heidelberg : Winter, 8 [in German].
15. Hartman, P., Perdok, W. (1955). On relation between crystal structure and crystal morphology. *Acta cryst.*, 8, 49–52.
16. Kovalishin, Z., Kalyuzhnyi, V., Naumko, I. (2000). Physico-chemical state of mineral-forming fluid during crystallization of the Volhyn chamber pegmatites, Ukraine. *Archiwum mineralogiczne. A journal of geochemistry, mineralogy and petrology*, LIII, t 1–2, 133–136.

17. Naumko, I.M., Vovk, O.P. (2000). Crystallogenesiс of topaz of chamber pegmatites of Korosten' plutone (Ukraine). *Abstracts of 31th International Geological Congress*.
18. Northrup, P.A., Reeder, R.J. (1995). Relationship between the structure and growth morphology of topaz $[\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2]$ using the periodic bond chain method. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 156, no. 4. P. 433–442. [https://doi.org/10.1016/0022-0248\(95\)00287-1](https://doi.org/10.1016/0022-0248(95)00287-1)
19. Ribbe, P.H., Gibbs, G.V. The crystal structure of topaz and its relation to physical properties. *American Mineralogist*. Vol. 56, no. 1-2. P. 24–30.
20. Vovk, O.P., Naumko, I.M., Pavlyshyn, V.I., Yakovlyeva, V.V. (2022). Distortion of the form of topaz polyhedra from chamber pegmatites of the Korosten pluton (Ukrainian shield) and its genetic significance. *From Mineralogy and Geognosy to Geochemistry, Petrology, Geology and Geophysics: fundamental and applied trends of the XXI century: Conference materials*, 78–80.

CRYSTAL MORPHOLOGICAL FEATURES OF VOLYN TOPAZES COMPARED TO TOPAZ POLYHEDRA FROM VARIOUS DEPOSITS WORLDWIDE

Oleksandr Vovk¹, Ihor Naumko²

¹*Lesya Ukrainka Volyn National University, Bankova Str., 9, Lutsk, Ukraine, 43025
e-mail: geologygeochemistry@gmail.com*

²*Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS
of Ukraine, Naukova Str., 3-a, Lviv, Ukraine, 79060
e-mail: naumko@ukr.net*

The crystal morphological features of Volyn topazes, which are strategically important minerals for Ukraine's mineral resource base, are analyzed. A comparison of the morphology of Volyn crystals with topazes from various deposits worldwide revealed the need to update and universalize the outdated classification of topaz polyhedra developed for former USSR deposits. It is confirmed that crystal shape depends both on crystal structure and formation conditions. A detailed analysis of typomorphic features of topazes from different mineral-structural zones of the chamber pegmatites of the Korosten Pluton (chambers, leaching zones, metasomatic rocks, quartz, feldspar, and pegmatoid zones) allowed the authors to identify the predominant polyhedron types in each geological environment. The study of structural symmetry, reticular density, and periodic bond chains confirmed the morphological significance of the faces {110}, {120}, {010}, {111}, {112}, and {011}. The authors propose replacing existing classification terms with universal ones: pinacoidal, dihedral, equant, and pyramidal. Comparison with crystals from the USA and Brazil showed that some of their simple forms do not belong to any traditional types, which confirms the relevance of the proposed new typology. A comparison with topaz polyhedra from Transbaikalia suggests that Volyn topazes correspond more closely to the theoretical sequence of morphological significance of simple forms than the Transbaikalian specimens. It is emphasized that topaz morphology may serve as an indicator of crystallization temperature (lower temperatures lead to simpler morphologies) and as a criterion in prospecting work. The study expands the understanding of topaz typomorphism, improves the efficiency of geological exploration, and contributes to the rational use of mineral resources.

Key words: topaz, crystal morphology, polyhedron, typomorphism, Volyn, pegmatites, Korosten Pluton, morphological forms, reticular density, crystal structure.

Дата надходження статті: 22.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ КАПЛИЦІ БОЇМІВ У ЛЬВОВІ

Петро Волошин¹, Юрій Андрейчук², Валентина Марусяк¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, геологічний факультет, вул. Грушевського 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: petro.woloshyn@gmail.com

²Львівський національний університет імені Івана Франка, географічний факультет, вул. Петра Дорошенка, 41, Львів, Україна, 79000

e-mail: yuriy.andreychuk@lnu.edu.ua

У статті наведено результати комплексного вивчення геологічного середовища та стану конструктивних елементів пам'ятки архітектури національного значення. Установлено, що споруда каплиці розміщена на пологому схилі долини р. Полтва. Геологічний розріз у сфері її впливу складений потужною товщею неоднорідних, суфозійно нестійких техногенних ґрунтів потужністю до 4,2 м, підстеле-них середньозернистими і гравіюватими пісками, які залягають на потужній товщі верхньокрейдових мергелів та продуктів їх звітрювання. Підґрунтям підвалин слугують середньозернисті піски з високими показниками механічних властивостей. Ґрунтові води відсутні. На будівельному камені заглибле-них приміщень, складеному середньобуловими літотамнієвими вапняками, виявлено добре виражені мікрокристалічні висоли білого кольору. За даними рентгеноструктурного аналізу в їх складі виявлено незначну кількість гіпсу й тенардиту. Натомість хімічний аналіз водних і солянокислих витяжок з ґрун-тів, у яких містяться фундаменти, засвідчив практичну стерильність їх від легко- та середньорозчинних солей. Це вказує на те, що кристалізація техногенних мінералів не пов'язана зі складом геологічного середовища, а зумовлена, голов-но, надходженням сполук сірки із забрудненого атмосферного повітря.

Дослідження будівельного матеріалу, використаного для оздоблення фасадної стіни каплиці, та його мікроскопічне вивчення засвідчило, що це органогенно-детритовий моховатково-криноїд-ний вапняк. Він характеризується низькою щільністю, високою пористістю, здатністю вбирати знач-ну кількість вологи. Кам'яний декор стіни зазнав суттєвих ушкоджень. Вони виявляються у вигляді відлущування та розтріскування вапняку, а також повною втратою первинного зовнішнього вигля-ду. Провідними чинниками розвитку руйнівних процесів є фізичне й хімічне звітрювання вапня-ку, зумовлене кліматичними чинниками та високим рівнем транспортного забруднення атмосфери. Хімічний аналіз дощової води засвідчив її агресивність до карбонату кальцію, що зумовлює руйну-вання вапнякового каменю і виготовлених з нього художніх витворів.

Біля входу в каплицю зафіксовано активний розвиток механічної суфозії, виявлений в утворенні суфозійного провалу. Процес вимивання дрібнозему з ґрунтової товщі відбувався в порожнину, утворену підземним входом у крипту каплиці та влаштованим у фундаменті отвором. У них виявлено техногенний ґрунт з добре вираженою горизонтальною шаруватістю, яка вказує на досить високі градієнти напору інфільтраційних вод, які створюють загрозу суфозійного руйнування ґрунтів під підшовою підвалин.

Запобігання фізичному та хімічному звітрюванню вапняку наземної частини будівлі, а також розвитку суфозійних процесів потребує належного відведення атмосферних вод від конструктивних елементів каплиці та ділянки земної поверхні, що прилягає до неї. Для заміни зруйнованих фраг-ментів різби доцільно провести детальне петрографічне вивчення вапняків Полянського родовища.

Ключові слова: пам'ятка архітектури, фізико-механічні властивості ґрунтів, техногенне міне-ралоутворення, будівельний камінь, фізичне та хімічне звітрювання, механічна суфозія.

Постановка проблеми. Масштабний і довготривалий антропогенний тиск на всі складники природного середовища м. Львова загалом і центральної частини зокрема призвів до суттєвих змін їхньої структури і властивостей, розвитку небезпечних і несприятливих морфодинамічних процесів. Унаслідок цього мають місце деформації несучих конструкцій та руйнування будівельного каменю багатьох пам'яток архітектури. Прогресувальний розвиток руйнівних процесів створює реальну загрозу їх повної втрати. Тому вкрай важливим і актуальним завданням збереження пам'яток є встановлення причин їх руйнування і розробка на цій основі науково обгрунтованих методів реставрації і консервації.

До числа визначних і водночас проблемних пам'яток архітектури національного значення у Львові належить каплиця Боїмів. Це одна з найкращих пам'яток пізнього ренесансу, яка не має аналогів не лише в Україні, а й у європейській архітектурі (рис. 1) [3]. Зовнішньою окрасою каплиці є її головний західний фасад, найнасиченіший різьбою по каменю. Для її оздоблення використано світло-сірий органогенно-детритовий піскуватий вапняк Полянського родовища. Декоративні елементи пам'ятки, виконані з вапняку, зазнали суттєвого антропогенного ушкодження й потребують реалізації комплексу реставраційних заходів з їх відновлення.

Аналіз досліджень. Розгорнута архітектурна та художньо-естетична характеристика пам'ятки висвітлена в роботі Н. І. Майка [3]. Коротка характеристика вапняків Полянського родовища наведена в [5]. Інформація стосовно утворення техногенних мінералів та їх руйнівного впливу на будівельний камінь подана в статті [4]. Інженерно-геологічні умови, характер, причини та особливості техногенного мінералоутворення в будівельних конструкціях палацу Бандіnellі розглянуто в публікації [2].



Рис. 1. Загальний вигляд фасадної стіни каплиці Боїмів

Результати досліджень закономірностей поширення, літологічного й хімічного складу, фізико-механічних властивостей техногенних ґрунтів центральної частини м. Львова наведено в науковій праці [1].

Мета дослідження – вивчити склад і властивості геологічного середовища у сфері впливу каплиці Боїмів та оцінка стану будівельного каменю наземних і підземних її конструкцій.

Головні завдання досліджень:

- вивчити геологічну будову та гідрогеологічні умови ділянки;
- дослідити конструкцію підвалин та глибину їх закладання;
- визначити склад і фізико-механічні характеристики ґрунтів;
- виявити фізичні властивості будівельного каменю підвалин та наземних конструкцій;
- визначити хімічний склад та вологість ґрунтів з огляду на їх можливе сольове руйнування будівельного каменю;
- виявити причини та особливості розвитку механічної суфозії;
- здійснити мікроскопічне вивчення вапняків, використаних для оздоблення фасаду каплиці;
- вивчити мінералогічний склад новоутворених мінералів у будівельному камені підвалин;
- оцінити агресивність атмосферних вод до наземних будівельних матеріалів каплиці.

Для вирішення поставлених завдань та реалізації мети виконано комплекс досліджень, який містив:

- обстеження наземних і підземних конструкцій каплиці та прилеглих до неї ділянок;
- буріння свердловин та проходку шурфів;
- відбір проб ґрунтів та дослідження їх складу, стану й фізико-механічних властивостей;
- вивчення хімічного складу ґрунтів та вод атмосферних опадів для оцінки впливу на стан будівельного каменю;
- рентгеноструктурне й мікроскопічне вивчення будівельного каменю.

Виклад основного матеріалу. У геоморфологічному відношенні, майданчик, на якому розташована каплиця, розміщений на правому пологіму схилі Львівської улоговини. Її природний рельєф дуже антропогенно змінений, на що вказує потужна товща техногенних ґрунтів. Поверхня ділянки майже рівна з незначним нахилом у бік каналізованого русла р. Полтва.

У геологічній будові ділянки беруть участь сучасні, верхньочетвертинні і верхньокрейдові відклади (Рис. 2). Сучасні накопичення складені техногенними ґрунтами (культурним шаром), верхньочетвертинні – пачкою середньозернистих та гравіюватих пісків з прошарками лесовидних супісків, верхньокрейдові – мергелями.

Техногенні ґрунти характеризуються надзвичайно складною внутрішньою будовою. Їх літологічний склад змінюється від великоуламкових ґрунтів, складених битою цеглою та щебнем з брилами пісковику і літотамнієвого вапняку з піщаним наповнювачем до 30 %, залишків фундаментів, до пісків і супісків. Розріз складений великоуламковим ґрунтом характерний для північно-східного боку каплиці. З фасадного її боку та в крипті переважають супіски з домішками органічних решток і будівельних відходів від 10 до 20 %, місцями трапляються малопотужні 10–20 см прошарки майже на 100 %, складені битою цеглою (правдоподібно давнє мощення). У нижній частині шару фрагментарно трапляються супіски заторфовані (1а). Колір ґрунтів непостійний. Він змінюється від сірого, жовтувато-коричневого до

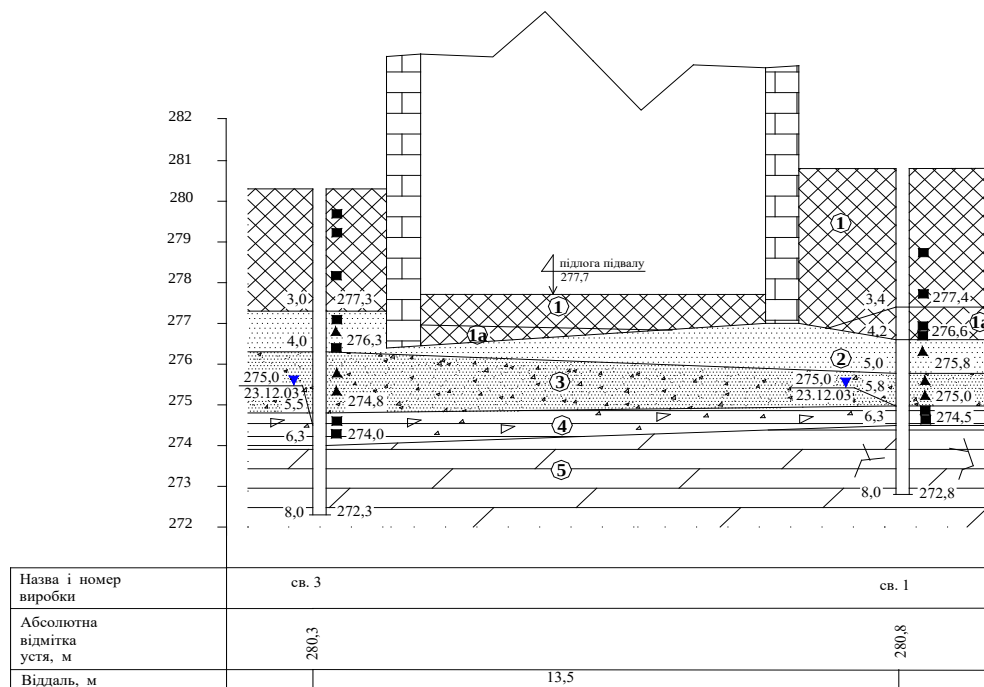


Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз ділянки та положення підвалин каплиці Боїмів
a – техногенний ґрунт; 2 – пісок середньозернистий; 3 – пісок гравіюватий; 4 – мергелиста глина; 5 – скельний ґрунт-мергель

бурувато-сірого та чорного і значно залежить від літологічного складу ґрунтів культурного шару і вмісту органічних речовин. Їх потужність становить 3,5–4,2 м.

Четвертинні накопичення кладені переважно жовто-сірими середньозернистими й гравіюватими кварцовими пісками, середньої щільності, середнього ступеня насичення водою, озалізненими, з Fe-Mn бобовинами, поодинокими дрібними уламками літотамнієвого вапняку і пісковика. Місцями трапляються прошарки супісків пластичних піскуватих, щільних, оглеєних, озалізнених, грудкуватих сірувато- і жовтувато-коричневих.

Нижче залягає напівскельний ґрунт-мергель, щільний, низької міцності, тріщинуватий, сірий, перекритий зверху продуктами його звітрювання – напівтвердою, мергелистою, карбонатною глиною.

Підвалини каплиці стрічкові типу «стіна в ґрунті». Вони закладені на глибині понад 3,5 м від поверхні землі. Бутовий камінь підвалин складений середньожовтовими літотамнієвими вапняками з незначною домішкою піщаного матеріалу. Лабораторні дослідження вапняків показали, що породи мають низьку природну вологість, яка пересічно становить 5 %, щільність – 2,35 г/см³, пористість – 20 %.

Підґрунтям підвалин слугують середньозернисті піски, які за показниками фізико-механічних властивостей є надійним підґрунтям і не викликають сумнівів щодо забезпечення стійкості споруди. Результати вивчення фізико-механічних властивостей ґрунтів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості ґрунтів

Індекс генези і віку ґрунту	Номер шару	Значення показників										
		Природна вологість, д.о.	Число пластичності, д.о.	Показник текучості д.о.	Органіка, %	Щільність, $\gamma / \text{м}^3$	Коефіцієнт пористості	Ступінь вологості, д.о	Питома вага, $\text{кН} / \text{м}^3$	Модуль деформації, МПа	Кут внутрішнього тертя, градус	Питоме зчеплення, кПа
		W	I _p	I _L		r	e	S _r	U	E	j	C
t _{IV}	1	0,19	0,06	0,17		1,91	0,64	0,76	18,8	–	–	–
a–d III	2	0,11	–	–		1,91	0,56	0,53	18,8	34	36	1
a–d III	3	–	–	–	–	1,80	0,60	–	18,0	35	39	1
eK ₂	4	0,28	0,24	0,0		1,90	0,83	0,92	18,7	11	26	41
K ₂	5	–	–	–	–	2,17			21,7	R _{сн} – 2,5–МПа		

Підземні води на досліджуваному майданчику до глибини 8,0 м не виявлено. Лише у двох свердловинах над мергелистими глинами знайдено невелику кількість гравітаційної води (рис. 2), наявність якої зумовлена витокami з інженерних мереж.

Хімічний аналіз водних витяжок з ґрунту шарів 1 та 2 (табл. 2) показав, що за вмістом легкорозчинних солей вони майже стерильні. Тобто ґрунтова товща, як середовище підвалін каплиці, не може бути джерелом надходження їх у конструктивні елементи споруди.

Уміст середньорозчинних солей, зокрема гіпсу, також є мізерним (Табл. 3) і не може створювати помітного впливу на стан наземних конструкцій. Легкий гранулометричний склад ґрунтів (явне переважання пісків) створює несприятливі умови для капілярного переміщення навіть тієї невеликої кількості солей, що виявлені в ґрунтовій товщі.

Водночас візуальним обстеженням підвального приміщення каплиці, на поверхні бутової кладки східної та південної стін виявлено добре виражені мікрокристалічні висоли білого кольору. Рентгеноструктурний аналіз відібраної із цих накопичень проби показав, що вона містить незначну кількість гіпсу і тенардиту (рис. 3).

Зважаючи на те, що в ґрунтовому масиві гіпсу виявлено не було, його накопичення не пов'язано зі складом геологічного середовища, а має, на нашу думку, техногенне походження. Найбільша його кількість відзначається біля вентиляційних каналів, що може вказувати на надходження сполук сірки з атмосферної вологи й утворення мінералу в сприятливих для цього фізико-хімічних умовах підвального приміщення.

Переважаання у вапняках закритої пористості є несприятливим чинником для вертикальної міграції вологи в підвалинах під впливом капілярних сил.

Обстеження наземних декоративних елементів у каплиці засвідчили суттєві ушкодження будівельного каменю та руйнування кам'яного декору (рис. 4, 5). Вони виявляються у вигляді відлущування та розтріскування вапняку, а також повною втратою первинного зовнішнього вигляду. Наприклад, вирізані з вапняку голови левів повністю втратили свій первозданий вигляд (рис. 4, 5).

Таблиця 2

Вміст водорозчинних солей (на 100 г ґрунту)

№ виробки	Глибина відбору, м	HCO ₃ ⁻		CL		SO ₄ ²⁻		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺ +K ⁺		NO ₃ ⁻	pH	Сума, %
		мг-екв	%	мг-екв	%	мг-екв	%	мг-екв	%	мг-екв	%	мг-екв	%	мг		
Шурф 1	0,5	-	-	0,5	0,017	2,1	0,1	0,8	0,016	0,1	0,01	0,9	0,01	0,5	7,35	0,172
Шурф 2	0,3	1,6	0,097	0,7	0,024	2,0	0,10	0,6	0,012	-	-	0,4	0,0092	10	7,1	0,242
Св. 1	2,0–2,2	1,2	0,073	0,4	0,014	1,7	0,08	1,4	0,031	0,6	0,01	1,3	0,029	10	7,2	0,311
Св. 1	3,0–3,2	0,6	0,036	0,4	0,014	2,1	0,10	1,6	0,032	-	-	0,9	0,021	5		
Св. 2	1,0–1,2	1,2	0,073	0,7	0,024	0,7	0,03	1,9	0,038	-	-	0,7	0,016	15		
Св. 2	2,0–2,2	0,7	0,042	0,3	0,011	0,10	0,04	2,3	0,046	-	-	0,3	0,004	15		
Св. 3	1,0–1,2	1,2	0,073	0,5	0,017	2,1	0,10	0,8	0,016	-	-	3,0	0,069	2,5		
Св. 3	2,0–2,2	1,0	0,061	0,5	0,017	0,8	0,04	1,00	0,020	-		1,7	0,039	0,5		

Таблиця 3

Результати хімічного аналізу солянокислої витяжки

№ з/п	Номер виробки	Глибина відбору, м	Вміст середньорозчинних солей, %	
			SO ₄ ²⁻	CaSO ₄ * 2 H ₂ O
1	Ш-1	0,3	0,17	0,30
2	Ш-2	0,5	0,15	0,27
3	Св. 1	2,0-2,2	0,16	0,29
4	Св. 1	3,0-3,2	0,08	0,14
5	Св. 2	1,0-1,2	0,12	0,21
6	Св. 2	2,0-2,2	0,10	0,18
7	Св. 3	2,0-2,2	0,14	0,25

Мікроскопічне вивчення будівельного матеріалу, використаного для оздоблення фасадної стіни каплиці, засвідчило, що це органогенно-детритовий моховатково-криноїдний вапняк органогенно-детритової структури (рис. 6). Результати дослідження фізичних властивостей вапняку наведено в табл. 4.

Основа породи представлена скелетними фрагментами моховаток і криноїдей, що заміщуються пелітоморфним (темне) та тонкокристалічним кальцитом. У складі моховатково-криноїдної основи трапляються поодинокі скелетні форми форамініфер, уламки раковин та трубок червів, які також повністю заміщені кальцитом. Постійним ксеногенним складником карбонатної органогенно-детритової основи є частинки кварцу алевро-псамітової розмірності (біло-жовтий колір. Чорні ділянки ізометричної та іншої різноманітної

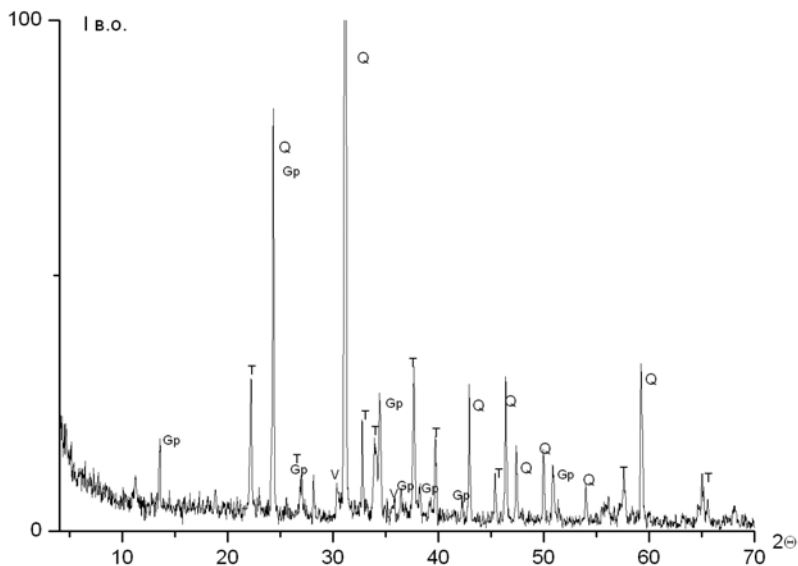


Рис. 3. Руйнування будівельного каменю завдяки кристалізації незначної кількості гіпсу й мірабіліту маловірогідна



Рис. 4. Ушкодження будівельного каменю фасадної стіни каплиці



Рис. 5. Фрагменти різного виду ушкоджень будівельного каменю

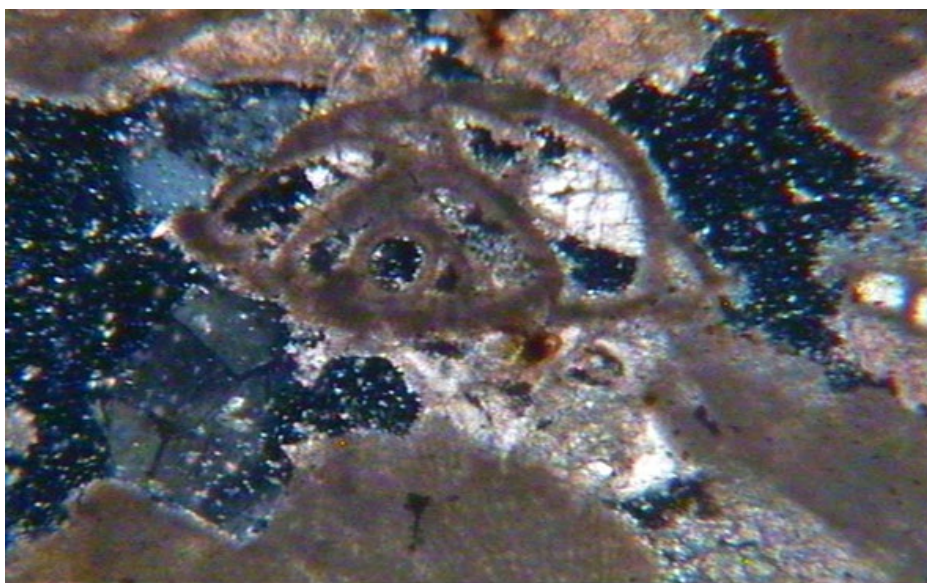


Рис. 6. Органогенно-детритовий моховатково-криноїдний вапняк
органогенно-детритової структури

форми – пори у породі. Розмір зерен кварцу – 0,1–0,6 мм. Ніколі +. Результати дослідження фізичних властивостей вапняку наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Результати дослідження фізичних властивостей вапняку

№ з/п	Щільність ґрунту, г/см ³	Пористість, %	Водонасичення вагове, %	Об'єм закритих пор, %	Коефіцієнт водонасичення
1	1,65	39	29	10	0,83
2	1,72	37	23	14	0,83
3	1,74	36	23	13	0,83

Як видно з таблиці, органогенні вапняки характеризуються низькою щільністю, високою пористістю, здатністю вбирати значну кількість вологи. Наведені вище результати дослідження ґрунтів підґрунтя підвалин та матеріалу стін підвального приміщення каплиці дають підставу стверджувати, що інтенсивне руйнування декоративних елементів на вапняковому камені головного фасаду не пов'язане з «підсмоктуванням» насичених солями водних розчинів, які формуються в ґрунтовому масиві.

Провідними чинниками розвитку руйнівних процесів, на нашу думку, є фізичне та хімічне звітрювання вапняку, зумовлене кліматичними чинниками та високим рівнем транспортного забруднення атмосфери і відповідним хімічним складом атмосферних опадів. Їхній активізації також сприяють конструктивні особливості західної стіни каплиці та відсутність системи водовідведення.

Виконані спостереження показали, що на декількох ярусах карнизів головного фасаду споруди взимку накопичується значна кількість снігу. Утворена при його таненні вода проникає в тіло вапняку в місці безпосереднього контакту снігу з конструкціями, зволожує його, сприяючи цим морозному звітрюванню. Частина води, що стікає з верхнього карнизу, частково потрапляє на нижчий карниз, цоколь та відмостку. Струмені стікаючої води, відбиваючись від карнизів і відмостки, розбризкуються та зволожують нижні, прилеглі до них частини стін. На це вказує також найвищий ступінь руйнування будівельного каменю на ділянках, що містяться над відмосткою і карнизами.

Хімічний аналіз дощової води (Табл. 5) вказав на її низьку загальну мінералізацію (120,51 мг/дм³), слабкокислу реакцію водного середовища і підвищений вміст агресивної вуглекислоти. Вона характеризується загальнокислотою, бікарбонатною агресивністю та агресивністю за вмістом вуглекислоти, що зумовлює руйнування вапнякового каменю і виготовлених з нього художніх витворів.

Таблиця 5

Хімічний склад дощової води

Катіони	Мг/дм ³	Мг-екв/дм ³	Аніони	Мг/дм ³	Мг-екв/дм ³
Натрій+калій	2,30	0,10	Хлор-іон	0,56	0,10
Кальцій	6,12	0,30	Сульфат-іон	7,20	1,50
Магній	18,24	1,50	Гідрокарбонат-іон	18,30	0,30

Загальна мінералізація, мг/дм³ 120,51

Загальна жорсткість, мг-екв/дм³ 1,80

Агресивна кислота, мг/дм³ 13,20

pH 6,0

Агресивність води до вапняку

Бікарбонатна лужність	слабкоагресивна	Вміст агресивної вуглекислоти	слабкоагресивна
Водневий показник	слабкоагресивна	Вміст сульфатів (SO_4^{2-})	неагресивна

При обстеженні майданчика, прилеглого до фасадної стіни каплиці з використанням біолокації, біля її входу було виявлено підземний хід. Після сильного дощу в цьому місці утворився суфозійний провал розміром понад 1,0 м у плані й такої ж глибини. Відкриття шурфом ґрунтів на місці суфозійного провалу показало, що процес вимивання дрібнозему з ґрунтової товщі відбувався в порожнину, утворену підземним входом у крипту каплиці. При цьому в отворі входу виявлено техногенний ґрунт, який прилягає до фундаменту каплиці. У цьому ґрунті зафіксовано добре виражену горизонтальну шаруватість, яка вказує на досить швидке переміщення води у вигляді турбулентного потоку. Вивчення ґрунту, який прилягає до фундаменту, засвідчило, що процесами суфозії охоплено ґрунтовий масив товщиною понад 1 м. Очевидних слідів суфозійного вимивання ґрунтів на рівні підшови фундаментів не встановлено.

На віддалі 70 см від підземного входу в крипту виявлено наскрізний отвір у фундаменті. Він має розміри 50 (ширина) на 80 см (висота), який також був наповнений техногенним ґрунтом, його присутність указує на те, що в місці його локації відбуваються процеси механічної суфозії. Близькість цього отвору до підшови фундаменту, при значному гідралічному напорі інфільтраційних вод, створює загрозу суфозійного руйнування ґрунтів і під його підшовою, що могло бути причиною утворення тріщини у фасадній стіні каплиці, з розкриттям до 5 мм.

Розвиток процесів механічної суфозії зумовлений потраплянням атмосферних вод у прифундаментну частину ґрунтового масиву у зв'язку з відсутністю ринв на даху каплиці, відмостки біля її стін, накопиченням їх біля входу в будівлю через незадовільно організований поверхневий стік, а також наявністю в товщі техногенних ґрунтів і штучних порожнин (підземного ходу) та наскрізного отвору у фундаменті, які є місцями винесення дрібнозему інфільтраційними водами.

До чинників, що сприяють розвитку суфозійних процесів, слід також зарахувати декілька ярусів поховань (окремі з них були виявлені безпосередньо біля фундаментів, майже на глибині їх закладання), які через недоуцільненість ґрунту в місцях їх локації зумовлюють прискорений рух інфільтраційних вод.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Каплиця Боїмів – це пам'ятка архітектури національного значення, фасадна стіна якої має незадовільний стан і потребує реставрації та реновації.

2. Підґрунтям підвалин будівлі слугують середньозернисті та гравіюваті піски, які характеризуються високими показниками механічних властивостей, достатніх для сприйняття навантаження від споруди.

3. Ґрунтове середовище, у яке занурені підвалини, складене вкрай неоднорідними, з підвищеною вологістю, суфозійно нестійкими техногенними ґрунтами.

4. Техногенні ґрунти майже не вміщують легко- та середньорозчинних солей і не є джерелом кристалізації техногенних мінералів на будівельному камені підвалин. Виявлена незначна кількість гіпсу та тенардиту не створює загрози їх руйнування.

5. Фасадна стіна каплиці облицьована органічно-детритовим вапняком опільської світи раннього баденію. Вапняк характеризується низькою щільністю ($1,70 \text{ г/см}^3$), високою пористістю (37 %), здатністю вбирати велику кількість вологи.

6. У багатьох місцях фасаду каплиці виявлено суттєві ушкодження будівельного каменю та руйнування кам'яного декору. Провідними чинниками розвитку руйнівних

процесів є фізичне та хімічне звітрювання вапняку, зумовлене кліматичними чинниками та високим рівнем транспортного забруднення атмосфери й відповідним хімічним складом атмосферних опадів. Хімічний аналіз дощових вод засвідчив підвищену агресивність (розчинну здатність) до вапняків.

7. Розвиток процесів механічної суфозії зумовлений потраплянням атмосферних вод у прифундаментну частину ґрунтового масиву у зв'язку з відсутністю ринв на даху каплиці, відмовки біля її стін, накопиченням їх біля входу в будівлю через незадовільно організований поверхневий стік. Провідним чинником є наявність у розрізі суфозійно нестійких техногенних ґрунтів і порожнин (підземного ходу) та наскрізного отвору у фундаменті, які є місцями винесення дрібнозему інфільтраційними водами.

8. Втрата багатьох елементів кам'яного декору каплиці вимагає виконання реставраційно-відновлювальних робіт, реалізація яких потребує додаткового петрографічного вивчення вапняків Полянського родовища для з'ясування можливого використання для заміни ушкоджених.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волошин П. Характеристика культурного шару історичної забудови Львова. *Вісник Чернівецького університету. Серія географічна*. 2003. Вип. 167. С. 29–37.
2. Волошин П. К. Аналіз причин перезволоження та сольового руйнування будівельних конструкцій палацу Бандініеллі у Львові. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2016. Вип. 50. С. 84–90.
3. Маїк Н. І. Каплиця Боїмів. Енциклопедія сучасної України / редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2012. URL: <https://esu.com.ua/article-9457>.
4. Карашкевіч П. Будівельні солі: основні властивості. *Будуємо інакше*. 2000. № 5. С. 25–29.
5. Спецдозвіл на користування надрами № 6127 Полянського родовища вапняків в с. Поляна Львівської області Миколаївського району. Державна служба геології та надр України. Київ, 2016.

REFERENCES

1. Voloshyn, P. (2003). Kharakterystyka kulturnoho sharu istorychnoi zabudovy Lvova [Characteristics of the cultural layer of historical development of Lviv]. *Visnyk Chernivetskoho universytetu. Seriiia heohrafichna*, (167), 29–37.
2. 2.Voloshyn, P.K. (2016). Analiz prychnyn perezvolozhennia ta solovoho ruinuвання budivelnnykh konstrukttsii palatsu Bandinelli u Lvovi [Analysis of the causes of overmoistening and salt destruction of the building structures of the Bandinelli Palace in Lviv]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heohrafichna*, (50), 84–90.
3. 3.Maik, N.I. (2012). Kaplytsia Boimiv [The Boim Chapel]. In I. M. Dziuba, A. I. Zhukovskiy, & M. H. Zhelezniak (Eds.), *Entsyklopediia suchasnoi Ukrainy* [Encyclopedia of Modern Ukraine]. Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrainy. Retrieved from: <https://esu.com.ua/article-9457>
4. Karashkevich, P. (2000). Budivelni soli: osnovni vlastyvosti [Building salts: Main properties]. *Buduemo inakshe*, (5), 25–29.
5. Derzhavna sluzhba heolohii ta nadr Ukrainy. (2016). Spetsdozvil na korystuvannya nadramy № 6127 Polianskoho rodovyshcha vapniakiv v s. Poliana Lvivskoi oblasti Mykolaivskoho raionu [Special permit for the use of subsoil No. 6127 of the Polyana limestone deposit in Polyana village, Lviv region, Mykolaiv district]. Kyiv.

ENGINEERING AND GEOLOGICAL PROBLEMS OF PRESERVATION OF THE BOIM IN LVIV CHAPEL

Petro Voloshyn¹, Yuriy Andreychuk², Valentyna Marusiak¹

¹Ivan Franko National University of Lviv, Faculty of Geology, Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005

e-mail: petro.voloshyn@gmail.com

²Ivan Franko National University of Lviv, Faculty of Geography, Petro Doroshenko Str., 41, Lviv, Ukraine, 79000

e-mail: yuriy.andreychuk@lnu.edu.ua

The article presents the results of a comprehensive study of the geological environment and the state of structural elements of the architectural monument of national importance. It has been established that the chapel building is located on the gentle slope of the valley of the Poltva River. The geological section in the sphere of its influence is composed of a thick layer of heterogeneous, unstable artificial soils with a thickness of up to 4.2 m, covered with medium-grained and gravel sands, which lie on a thick layer of Upper Cretaceous marls and products of their weathering. The basis of the foundations is medium-grained sands with high mechanical properties. There is no groundwater. On the building stone of the buried premises, composed of Middle Bulk lithotamnium limestones, well-expressed microcrystalline efflorescences of white colour were found. According to X-ray diffraction analysis, a small amount of gypsum and tenardite was found in their composition. On the other hand, chemical analysis of aqueous and hydrochloric acid extracts from soils where the foundations are located showed their practical sterility from lightly and moderately soluble salts. This indicates that the crystallisation of artificial minerals is not related to the composition of the geological environment but is mainly due to the intake of sulphur compounds from polluted atmospheric air.

The study of the building material used for the decoration of the façade wall of the chapel and its microscopic examination showed that it is an organogenic-detritus moss-crinoid limestone. It is characterised by low density, high porosity, and the ability to absorb significant moisture. The leading factors in the development of destructive processes are the physical and chemical weathering of limestone, which is caused by climatic factors and a high level of transport pollution of the atmosphere. Chemical analysis of rainwater has shown its aggressiveness to calcium carbonate, which causes the destruction of limestone and works of art made from it.

At the entrance to the chapel, an active development of mechanical suffosis, found in the formation of a suffosis failure, was recorded. The process of leaching fine soil from the soil layer took place in the cavity formed by the underground entrance to the crypt of the chapel and the hole arranged in the foundation. They found artificial soil with well-defined horizontal layering, which indicates sufficiently high gradients of infiltration water pressure, which pose a threat of suffocation and destruction of soils under the sole of the foundations.

Prevention of physical and chemical weathering of limestone of the ground part of the building and the development of suffosis processes requires proper drainage of atmospheric waters from the structural elements of the chapel and the area of the earth's surface adjacent to it. To replace the destroyed fragments of the thread, conducting a detailed petrographic study of the limestones of the Polyana deposit is advisable.

Key words: architectural monument, physical and mechanical properties of soils, artificial mineral formation, building stone, physical and chemical weathering, mechanical suffosis.

Дата надходження статті: 27.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

НОВІ ЗНАХІДКИ СКАМ'ЯНІЛИХ СТОВБУРІВ ДЕРЕВ МІОЦЕНОВОГО ВІКУ В МЕЖАХ РОЗТОЧЧЯ (ВИННИКІВСЬКИЙ ЛІС, УКРАЇНА)

Олександр Деманджара¹, Ярина Тузяк²

¹Учень 10 класу школи м. Львів

²Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. М. Грушевського, 4,
Львів, Україна, 79005
e-mail: yarynatuzyak@gmail.com

Скам'янілі або фосилізовані стовбури дерев міоценового віку, виявлені в межах Розточчя – транскордонної українсько-польської височини, є унікальним геологічним і палеонтологічним феноменом, що поєднує в собі наукову, освітню та культурну цінність. Ці фітофосилії, які сформувалися в умовах специфічного поховання та процесів мінералізації, дають змогу реконструювати палеоекологічні умови, що панували в регіоні мільйони років тому, а також відтворити таксономічний склад флори цього відрізка часу.

Завдяки високому ступеню збереження, різноманіттю мінералогічного складу та естетичній привабливості скам'янілі стовбури дерев Розточчя становлять інтерес не лише для науковців, а й для геотуристів, колекціонерів, музейників. Вони можуть слугувати об'єктами для популяризації геологічної спадщини, розвитку екологічної освіти та формування екологічної свідомості серед населення. Водночас через відсутність належної охорони, обмежену обізнаність громадськості та недосконалість нормативно-правової бази ці палеонтологічні знахідки часто стають об'єктами нелегального збору й торгівлі, що посилює необхідність їх збереження, паспортизації та популяризації.

Дослідження скам'янілих дерев Розточчя сприятиме детальнішому розумінню процесів петрифікації, метасоматозу, а також геологічної історії регіону. Вивчення їх мінералогічного складу, умов поховання та просторової локалізації не лише збагатять наукові знання, а й сформують підґрунтя для розвитку геоосвітніх і туристичних ініціатив, зокрема в межах біосферного резервату «Розточчя».

У статті представлено результати виявлення та опису нових об'єктів скам'янілих стовбурів дерев міоценового віку, знайдених у межах Винниківського лісу (район м. Львів, Українське Розточчя). Розглянуто геологічну та палеонтологічну цінність фітофосилій, їх потенціал для реконструкції палеоекологічних умов, а також проблеми охорони та популяризації цих об'єктів. Колекція зразків, зібрана учнем 10 класу О. Деманджарою, передана до Палеонтологічного музею ЛНУ ім. Івана Франка, що сприяло поповненню наукового фонду об'єкта національного надбання. Дослідження підкреслює важливість збереження геологічної спадщини та розвитку геоосвітніх ініціатив у межах біосферного резервату «Розточчя».

Ключові слова: Розточчя, скам'янілі дерева, фітофосилії, міоцен, петрифікація, геоспадщина, Винниківський ліс, палеоботаніка, геотуризм.

Вступ. Розточчя – унікальна геоморфодинамічна структурна одиниця, розташована на межі Українського Передкарпаття та Поділля, яка приваблює своїм геологічним, біологічним і ландшафтним різноманіттям. Особливу цінність регіону надає той факт, що його українська частина включена до складу Міжнародного біосферного заповідника «Розточчя», який є частиною Всесвітньої мережі біосферних резерватів ЮНЕСКО. Це засвідчує

важливість збереження природної спадщини регіону та сприяє розвитку наукових досліджень, екологічної освіти й сталого туризму. Одним із малодосліджених, але надзвичайно цінних природних об'єктів цього регіону є скам'янілі дерева, що збереглися з міоценового періоду. Ці об'єкти становлять не лише палеонтологічну цінність, а й є джерелом інформації про давні екосистеми, кліматичні умови та геологічні процеси, які відбувалися на території сучасної Західної України мільйони років тому.

З огляду на вагоме наукове значення, скам'янілі дерева Розточчя залишаються недостатньо вивченими. Відсутність систематизованих досліджень, обмежений доступ до зразків (з огляду на виявлення нових локацій), а також загроза знищення або нелегального вивезення цих об'єктів створюють нагальну потребу в їх комплексному дослідженні та охороні. Особливої актуальності набуває з'ясування мінералогічного складу скам'янілої деревини, умов її збереження, а також можливостей використання цих об'єктів у геотуризмі та екологічній освіті.

У цьому контексті дослідження фітофосилій Розточчя є важливим кроком до збереження геологічної спадщини України, популяризації наукових знань та формування екологічної свідомості населення.

Постановка проблеми. Скам'янілі дерева Розточчя, зокрема міоценового віку, є унікальними палеонтологічними об'єктами, що мають значну наукову, освітню, культурну та геотуристичну цінність. Незважаючи на їх рідкісність і важливість для реконструкції палеоекологічних умов минулого, ці об'єкти залишаються недостатньо дослідженими.

Проблематика полягає у відсутності систематизованих даних щодо:

- таксономічного складу викопної флори;
- умов поховання та петрифікації (скам'яніння) деревини;
- мінералогічних особливостей заміщення органічної речовини;
- географічного поширення скам'янілих стовбурів у межах Розточчя;
- загроз нелегального збору та торгівлі цими об'єктами;
- потенціалу використання скам'янілих дерев у геотуризмі та екологічній освіті.

Крім того, відсутність єдиного підходу до охорони та популяризації цих об'єктів ускладнює їх інтеграцію в природоохоронну й туристичну інфраструктуру регіону.

Мета дослідження – визначити палеоботанічні, геологічні та мінералогічні особливості скам'янілих дерев Розточчя з метою реконструкції палеоекологічних умов регіону та обґрунтування їх наукової та природоохоронної цінності.

Завдання дослідження:

1. Зібрати та систематизувати наявні дані про місця розташування скам'янілих дерев у межах Розточчя.

2. Провести морфологічний та мінералогічний аналіз зразків скам'янілої деревини.

3. Визначити таксономічну належність викопної флори.

4. Дослідити умови поховання та процеси петрифікації деревини.

5. Оцінити сучасний стан охорони скам'янілих дерев і потенціал їх використання в геотуризмі.

6. Розробити рекомендації щодо збереження та популяризації цих об'єктів.

Матеріали і методи. Матеріалом слугувала колекція скам'янілих стовбурів дерев (8 фрагментів) (Рис. 2) з Винниківського лісу (49°48'52" пн. ш. 24°06'23" сх. д.), що походить з міоценових відкладів Розточчя. Фосилізовані рештки флори представлені зразками різного розміру від 10 до 40 см, різного забарвлення – рудого, кремового, коричневого, ясно- й темно-сірого, заміщені кремнеземом з домішками. Петрифікації належать до пам'яток неживої природи і, відповідно, до розроблених класифікацій [1 та ін.] – до категорії палеонтологічних палеоботанічних.

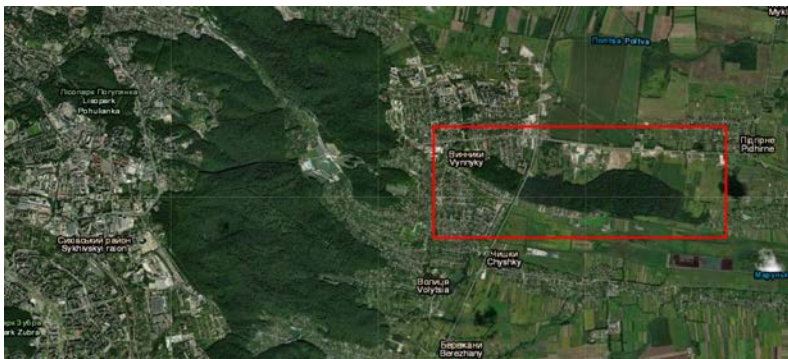


Рис. 1. Оглядова схема розташування Винниківського лісу, у якому виявлено фрагменти скам'янілих стовбурів дерев

Результати та обговорення. Винниківський ліс належить до однойменного лісового заказника, створеного 1984 р. загальною площею 848,0 га. У лісі розташовані пам'ятки історії та природи Чатові (Чортові) скелі, Медова печера і Винниківське озеро. Геоморфологічно територія досліджень розташована в межах Лисиницько-Давидівського горбогір'я, лише південна частина (відмежована річкою Давидівкою) належить до Львівського плато, а північна (відокремлена) – до Малого Полісся. У ландшафтному відношенні це крутосхиле, розчленоване глибокими дебрами, горбогір'я, складене піщаними, вапняковими й пісковиковими товщами бадену, вкритого лесоподібними суглинками із сірими лісовими ґрунтами. Поверхні пасм і пагорбів вузькі, підброньовані пісковиками та ліотамнієвими вапняками, схили пасм і пагорбів переважно круті й спадисті.

У геологічній будові описуваної ділянки беруть участь відклади верхньої крейди, неогену (міоцену) та антропогену. Основу території становлять верхньокрейдові мергелі, на яких залягає різнофаціальний і складно побудований комплекс неогенових утворень. Розріз неогенових відкладів формують утворення нижнього, середнього та верхнього баденію (здебільшого піски, пісковики, органогенні та хомогенні вапняки), а у східній частині – сармату.

Поряд із цінними природними ділянками, якими є оселища раритетних видів флори і фауни на території Винниківського заказника, та численними історико-культурними об'єктами, що потребують охорони, виявлено фрагменти скам'янілої деревини, які поповнюють кількість охоронних пам'яток та надають цій території вагомшого значення.

Виявлені скам'янілі стовбури (рис. 2) мають задовільний ступінь збереження, що дає змогу провести подальші анатомічні та мінералогічні дослідження.



Рис. 2. Колекція фрагментів скам'янілих стовбурів дерев з неогену Винниківського лісу, зібрана учнем 10 класу О. Деманджарою

Фосилізовані стовбури різного забарвлення заміщені кремнеземом (кварц (3–6, 16, 17), халцедон) з домішками оксидів заліза (рудий колір). Великі зразки з поверхнями звітрювання (16, 17). Окремі зразки зі збереженими кільцями росту (7–9, 13, 14). Зразок 14 із заповненим отвором місця росту гілки.

Їх локалізація у Винниківському лісі розширює ареал відомих знахідок у межах Розточчя. Зібрані зразки мають потенціал для включення до освітніх програм, музейних експозицій і геотуристичних маршрутів. Водночас відсутність правового регулювання щодо охорони таких об'єктів створює ризики їх втратити.

Виявлені палеоботанічні знахідки заміщені кремнеземом з домішками діоксиду заліза, що надає окремим зразкам рудого забарвлення. Силіцифіковані стовбури дерев двома генераціями халцедоном і кварцом. Поверхні окремих зразків звітрілі (рис. 2, 16, 17).

Силіцифікація – це процес, під час якого органічний матеріал, зокрема деревина, поступово заміщується мінералами кремнезему (наприклад, кварцом, халцедоном або опалом), при цьому зберігається первинна структура [2–13]. Зазвичай це відбувається, коли деревина поховується в осадах й упродовж тривалого геологічного часу взаємодіє з водами, багатими на мінерали (рис. 3).

У міоценовому періоді (приблизно 23–5,3 млн років тому) кліматичні та геологічні умови сприяли збереженню лісів шляхом силіцифікації. У таких регіонах, як Розточчя, занурені в осад стовбури дерев зазнавали мінерального заміщення, що зумовило утворення скам'янілого дерева – викопних решток, які зберігають мікроскопічні деталі первинної рослинної тканини.

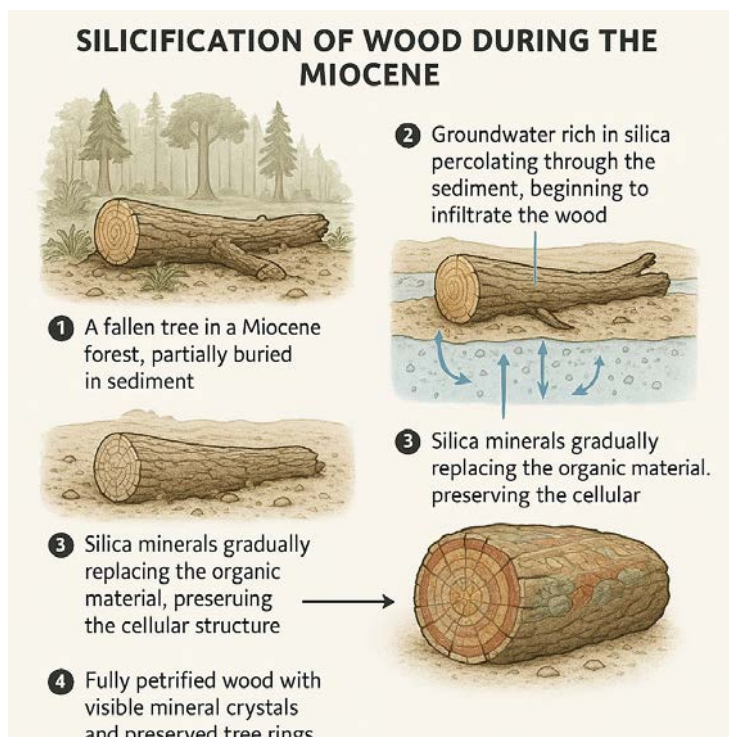


Рис. 3. Схематичне зображення процесу силіцифікації (петрифікації) деревини в епоху міоцену, який охоплює 4 етапи:

1 – повалене дерево в міоценовому лісі, частково занурене в осадові породи;
2 – підземні води, збагачені кремнеземом, просочуються крізь осад і починають проникати в деревину; 3 – мінерали кремнезему поступово заміщують органічний матеріал, зберігаючи клітинну структуру дерева; 4 – утворення петрифікації з видимими мінеральними кристалами та збереженими річними кільцями.

Ключовими особливостями силіцифікованої або кремнезваної деревини міоцену є:

1. Мінералогія: домінує діоксид кремнію (SiO_2) – генерації кварцу, халцедону, опалу.
2. Збереження: часто зберігається клітинна структура, діагностована під мікроскопом.
3. Забарвлення: залежить від домішок (Fe, Mn, Cu).
4. Наукова цінність: дає змогу досліджувати палеоекологію, клімат і флору минулого.

Найпоширенішим джерелом кремнезему є вулканічний матеріал. Дослідження довели, що в цьому процесі більша частина вихідної органічної речовини руйнується. Кремнезація найчастіше відбувається у двох середовищах: або організми поховуються у відкладах дельт та заплав, або у вулканічному попелі. Для силіцифікації необхідна наявність води, оскільки вона зменшує кількість присутнього кисню, а отже, захищає від гниття та аеробного розкладання, зберігає форму організму і дає змогу транспортувати та відкладати кремнезем. Початок процесу супроводжується просочуванням зразка водним розчином збагаченим кремнеземом. Клітинні стінки зразка поступово розчиняються, а кремнезем осідає в порожніх просторах. У зразках деревини, залежно від проходження процесу, целюлоза та лігнін, два компоненти деревини, руйнуються та заміщуються діоксидом кремнію. Деревина перетворюється на камінь через втрату води. Для того щоб відбулася силіцифікація, геотермальні умови повинні відповідати нейтральному або слабкокислому рН, температурі й тиску, подібних до неглибоких осадових середовищ [5; 7; 10; 12]. Процес поховання має бути миттєвим, але що повільніше відбувається заміщення, то чіткішою буде мікроскопічна структура організму, який фосилізується.

У викопному стані трапляються зразки скам'янілої деревини двох типів у формі як пермінералізації, так і заміщення (рис. 4) [8–13], однак найчастіше скам'яніла деревина є результатом поєднання обох процесів. Проникнення мінералізованих підземних вод може спочатку зумовити пермінералізацію клітинних тканин, яка водночас зазнає поступового розкладу. Так, скам'яніння, або петрифікація деревини – це одночасне поєднання процесів деградації та мінералізації.

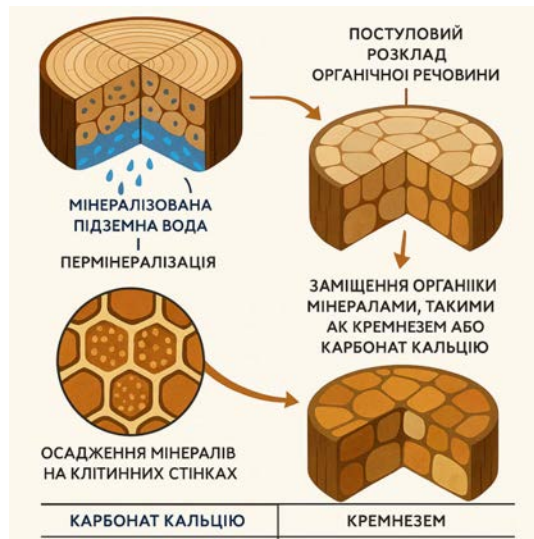


Рис. 4. Схема фосилізації деревини, що демонструє процеси пермінералізації і заміщення
Пермінералізація: 1 – мінералізована підземна вода проникає в клітинну структуру деревини;
2 – розклад органічної речовини; 3 – органічні клітини поступово руйнуються під дією мікроорганізмів та хімічних процесів.

Заміщення мінералами: 1 – органічна речовина замінюється мінералами, як-от кремнезем (SiO_2) або карбонат кальцію (CaCO_3); 2 – осадження мінералів на клітинних стінках (SEM-зображення); 3 – утворення структури скам'янілої деревини.

Порівняння умов осадження: 1 – карбонат кальцію – нейтральне рН, м'які умови → краще збереження органіки; 2 – кремнезем – кислі умови, повільніше осадження → менше органіки зберігається.

Пермінералізація та заміщення не є незалежними процесами; вони часто відбуваються одночасно. Ступінь збереження анатомічної структури залежить від співвідношення швидкостей цих процесів. Швидке осадження мінералів за відносно м'яких умов окисно-відновного потенціалу (Eh) і рН сприяє збереженню органічної речовини. Такі умови частіше простежуються при осадженні карбонату кальцію, ніж при силіцифікації, що підтверджується спостереженнями за пермінералізованими зразками деревини з багатьох місць [8–13].

Висновки. Нові знахідки скам'янілих дерев міоценового віку у Винниківському лісі значно доповнюють палеоботанічні місця локалізації петрифікацій у межах Розточчя та підтверджують існування лісових екосистем у цьому районі в неогені.

Скам'янілі стовбури демонструють поєднання процесів пермінералізації та заміщення, що свідчить про складні умови мінералізації деревини, зокрема змінні хімічні параметри середовища (Eh, рН) та наявність мінералізованих вод.

Анатомічна структура деревини збереглася частково, що дає змогу ідентифікувати окремі таксони та реконструювати флористичний склад давніх лісів.

Переважаання силіцифікації над карбонатною мінералізацією вказує на специфічні геохімічні умови, які панували в регіоні під час скам'яніння.

Отримані результати мають вагомe значення для стратиграфії, палеокліматології та геологічної історії Розточчя, а також відкривають перспективи для подальших досліджень скам'янілої флори України.

Подяки. Висловлюємо подяку учню 10 класу Олександру Деманджару за поповнення Колекції Палеонтологічного музею ЛНУ ім. Івана Франка, що отримала статус наукового об'єкта національного надбання, новими знахідками скам'янілих дерев неогену з природно-заповідної зони Винниківського заказника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Геологічні пам'ятки України : [у 4 т.] / За ред. В. І. Калініна, Д. С. Гурського, І. В. Антакової. Київ : ДІА, 2006–2011.
2. Channing A., Edwards D. Experimental taphonomy: Silicification of plants in Yellowstone hot-spring environments. *Trans. R. Soc. Edinb. Earth Sci.* 2004. 94. Pp. 503–521.
3. Csaszar G., Kazmer M., Erdei B., Magyar I. A possible Late Miocene fossil forestPaleoPark in Hungary. In: Lipps J.H., Granier B.R.C. (eds.). *PaleoParks – the protection and conservation of fossil sites worldwide. Carnets de Géologie. Notebooks on Geology.* Brest. Book 2009/03. Chapter 11 (CG2009_BOOK_03/11). P. 212–133.
4. Day R., Jones B. Variations in Water Content in Opal-A and Opal-CT from Geyser Discharge Aprons. *J. Sediment. Res.* 2008. 78. Pp. 301–315.
5. Mantzouka D., Karakitsios V., Sakala J. Cedroxylon lesbium (UNGER) KRAUS from the Petrified Forest of Lesbos, lower Miocene of Greece and its possible relationship to Cedrus. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 284/1. Stuttgart. 2017. P. 75–87.
6. Matysová P., Rössler R., Götz J., Leichmann J., Forbes G., Taylor E.L., Sakala J., Grygar T. Alluvial and volcanic pathways to silicified plant stems (Upper Carboniferous–Triassic) and their taphonomic and palaeoenvironmental meaning. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 2010. 292. Pp. 127–143.

7. Mieke G., Graetsch H. Crystal structure and growth fabric of length-fast chalcedony. *Phys. Chem. Miner.* 1984. 10. Pp. 197–199.
8. Mustoe G. Microscopy of Silicified Wood. *Microsc. Today*. 2003. 11. Pp. 34–37.
9. Mustoe G.E. Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement. *Geosciences*. 2017, 7, 119. P. 1–17. doi:10.3390/geosciences7040119
10. Mustoe G., Aranyanark C., Boonchai N., Jintasakul P. A New Look at Cenozoic Fossil Wood from Thailand. *Geosciences*. 2022. 12. P. 291.
11. Mustoe G.E. Mineralogy and Geochemistry of Late Eocene Silicified Wood from Florissant Fossil Beds National Monument, Colorado. Geological Society of America: Boulder, CO, USA. 2008.
12. Mustoe G., Acosta M. Origin of Petrified Wood Color. *Geosciences*. 2016. 6. Pp. 25.
13. Mustoe G.E. Mineralogy of Non-Silicified Fossil Wood. *Geosciences*. 2018. 8. 85. Pp. 1–32.

REFERENCES

1. Heolohichni pam'yatky Ukrayiny : [u 4 t.] / Za red. V. I. Kalinina, D. S. Hurs'koho, I. V. Antakovoyi. Kyiv : DIA, 2006–2011.
2. Channing, A., Edwards, D. (2004). Experimental taphonomy: Silicification of plants in Yellowstone hot-spring environments. *Trans. R. Soc. Edinb. Earth Sci.* 94. Pp. 503–521.
3. Csaszar, G., Kazmer, M., Erdei, B., Magyar, I. A possible Late Miocene fossil forestPaleoPark in Hungary. In: Lipps J.H., Granier B.R.C. (eds.). *PaleoParks – the protection and conservation of fossil sites worldwide. Carnets de Géologie. Notebooks on Geology*. Brest. Book 2009/03. Chapter 11 (CG2009_BOOK_03/11). P. 212–133.
4. Day, R., Jones, B. (2008). Variations in Water Content in Opal-A and Opal-CT from Geyser Discharge Aprons. *J. Sediment. Res.* 78. Pp. 301–315.
5. Mantzouka, D., Karakitsios, V., Sakala, J. (2017). Cedroxylon lesbium (UNGER) KRAUS from the Petrified Forest of Lesbos, lower Miocene of Greece and its possible relationship to Cedrus. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 284/1. Stuttgart. P. 75–87.
6. Matysová, P., Rössler, R., Götze, J., Leichmann, J., Forbes, G., Taylor, E.L., Sakala, J., Grygar, T. (2010). Alluvial and volcanic pathways to silicified plant stems (Upper Carboniferous–Triassic) and their taphonomic and palaeoenvironmental meaning. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 292. Pp. 127–143.
7. Mieke, G., Graetsch, H. (1984). Crystal structure and growth fabric of length-fast chalcedony. *Phys. Chem. Miner.* 10. Pp. 197–199.
8. Mustoe, G. (2003). Microscopy of Silicified Wood. *Microsc. Today*. 11. Pp. 34–37.
9. Mustoe, G.E. (2017). Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement. *Geosciences*. 7, 119. P. 1–17. doi:10.3390/geosciences7040119
10. Mustoe, G., Aranyanark, C., Boonchai, N., Jintasakul, P. (2022). A New Look at Cenozoic Fossil Wood from Thailand. *Geosciences*. 12. P. 291.
11. Mustoe, G.E. (2008). Mineralogy and Geochemistry of Late Eocene Silicified Wood from Florissant Fossil Beds National Monument, Colorado. Geological Society of America: Boulder, CO, USA.
12. Mustoe, G., Acosta, M. (2016). Origin of Petrified Wood Color. *Geosciences*. 6. Pp. 25.
13. Mustoe, G.E. (2018). Mineralogy of Non-Silicified Fossil Wood. *Geosciences*. 8. 85. Pp. 1–32.

NEW DISCOVERIES OF FOSSILIZED TREE TRUNKS FROM THE MIOCENE EPOCH IN THE ROZTOCZE REGION (VYNNYKY FOREST, UKRAINE)

Oleksandr Demandzhara¹, Yaryna Tuzyak²

¹Student of the 10th grade of a school in Lviv

*²Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskogo Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: yarynatuzyak@gmail.com*

The petrified or fossilized tree trunks of Miocene age discovered within the Roztocze region – a transboundary Ukrainian-Polish upland – represent a unique geological and paleontological phenomenon that combines scientific, educational, and cultural value. These phytosfossils, formed under specific burial conditions and mineralization processes, allow for the reconstruction of paleoecological environments that prevailed in the region millions of years ago, as well as the identification of the taxonomic composition of Miocene flora.

Due to their high degree of preservation, mineralogical diversity, and aesthetic appeal, the petrified tree trunks of Roztocze attract interest not only from scientists but also from geotourists, collectors, museum professionals, and conservationists. They serve as valuable objects for promoting geological heritage, advancing environmental education, and fostering ecological awareness among the public. However, the lack of proper protection, limited public awareness, and gaps in legal regulation often lead to illegal collection and trade of these paleontological specimens, emphasizing the urgent need for their preservation, documentation, and popularization.

Research on the petrified trees of Roztocze contributes to a deeper understanding of petrification, metasomatism, and the geological history of the region. Studying their mineralogical composition, burial conditions, and spatial distribution not only enriches scientific knowledge but also lays the foundation for developing geoeducational and tourism initiatives, particularly within the Roztocze Biosphere Reserve.

This article presents the discovery and description of new fossilized tree trunks of Miocene age found in the Vynnyky Forest (Lviv area, Ukrainian Roztocze). The geological and paleontological significance of the phytosfossils is discussed, along with their potential for paleoenvironmental reconstruction and the challenges of their protection and promotion. The collection of specimens, gathered by 10th-grade student O. Demandzhara, was transferred to the Paleontological Museum of Ivan Franko National University of Lviv, contributing to the expansion of the national heritage scientific collection. The study highlights the importance of preserving geological heritage and promoting geoeducational initiatives within the Roztocze Biosphere Reserve.

Key words: Roztocze, petrified trees, phytosfossils, Miocene, petrification, geoheritage, Vynnyky Forest, paleobotany, geotourism.

Дата надходження статті: 27.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

КАРСТОВІ ОЗЕРА ТА ЇХ ТРАНСФОРМАЦІЯ В ТОРФОВИЩА ЯК ПРИРОДНІ КОМПЕНСАТОРНІ МЕХАНІЗМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЛАНДШАФТУ В МЕЖАХ СОЛОТВИНСЬКОГО РОДОВИЩА

Василь Дяків¹, Володимир Козловський², Павло Макарук³,
Наталія Романюк¹, Любомир Шеремета¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: dyakivw@yahoo.com; nataliya.romanyuk@lnu.edu.ua; lubomirseremeta@gmail.com

²Інститут екології Карпат НАН України, вул. Козельницька, 4, Львів, Україна, 79026

³ВД «Солерудліквідація», вул. Шахтарська, 36, смт. Солотвино, Тячівський р-н, Закарпатська обл., Україна, 90575

Описано еволюцію постмайнінгових змін торфовища, карстового провалу та карстового озера «Чорний Мочар» у межах Солотвинського родовища кам'яної солі, які є одними з найбільш цікавих природних утворень. Історичні та сучасні карстові озера на ділянках поширення соленосних відкладів мають вагомe як загальнонаукове, так і прикладне значення як особливо цінні індикаторні об'єкти постійного моніторингу в умовах розробки соляних покладів.

Наявність у геологічній будові легкорозчинних соляних формацій, їх локалізація в зоні активного водообміну, розчинення соляних мінералів з утворенням підземних порожнин, прова-лоутворення над природними чи техногенними пустотами, заповнення підземними водами та функ-ціонування певний історичний (геологічний) період як гідрологічних об'єктів – карстових озер на прикладі урочища «Чорний Мочар» має вагомe значення для розуміння причинно-наслідкових зв'язків та прогнозування як стану геологічного середовища загалом, так і стану довкілля зокрема.

Надзвичайно важливими аспектами еволюції карстових озер є їх природна еволюція в тор-фовища чи техногенно посилені процеси евтрофікації, замулення, заболочення з перспективою трансформації в торфові поклади при збереженні виявлених тенденцій у майбутньому. Наявність торфу в геологічних розрізах давніх карстових провалів є однозначним доказом наявності в них озер та їх змін в умовах сповільненого водообміну і, як наслідок, накопичення біогенних елементів.

Доведено, що наявність торфовищ над соляними відкладами, що близько залягають до поверхні, є ознакою порушеності геологічного середовища, яке тривалий історичний (геологічний) період було стабілізоване, однак при зміні гірничо-геологічних, інженерно-геологічних та гідроге-ологічних умов потенційно знову може бути порушене. З огляду на це, такі ділянки можна вважати індикаторними, найбільш важливими для моніторингу за розвитком соляного карсту на всіх етапах розвитку: від утворення провалу, заповнення виїмки водою, функціонування як екосистеми озера із чистою водою до водної товщі, що зазнає евтрофікації з трансформацією в болото.

Особливо актуальний моніторинг за такими об'єктами є в умовах наявності соляних копа-лень як потенційних чинників порушення гідрогеологічної рівноваги, коли будь-які, навіть наймен-ші зміни, можуть бути важливими індикаторами активізації соляного карсту.

Саме такий випадок двох карстових озер: історичного (геологічного), про який свідчать описані нами торфові відклади, та сучасного – водойми, що утворилася після провалоутворення у 2007–2009 роках, ми розглядаємо на прикладі ділянки Чорний Мочар у межах Солотвинського родовища кам'яної солі.

Ключові слова: соляний карст, Солотвинське родовище кам'яної солі, геологічне середови-ще, еволюція змін, гідрогеологічні умови, самоорганізація ландшафту, карстове озеро, евтрофікація, замулення, заболочення, тофовище.

Постановка проблеми. Одними з найбільш цікавих природних утворень є історичні та сучасну карстові озера на ділянках поширення соленосних відкладів у різних регіонах світу. Для їх утворення необхідно кілька передумов: наявність у геологічній будові легкорозчинних соляних формацій, їх локалізація в зоні активного водообміну, розчинення соляних мінералів з утворенням підземних порожнин, провалоутворення над природними чи техногенними пустотами, заповнення підземними водами та функціонування певний історичний (геологічний) період як гідрологічних об'єктів – карстових озер.

Не менш важливими аспектами еволюції карстових озер є їх природна еволюція в торфовища чи техногенно посилені процеси евтрофікації, замулення, заболочення з перспективою трансформації в торфові поклади при збереженні виявлених тенденцій у майбутньому. Торф у геологічних розрізах давніх карстових провалів є однозначним доказом наявності в них озер та їхніх змін в умовах сповільненого водообміну і, як наслідок, накопичення біогенних елементів.

Наявність торфовищ над соляними відкладами, що близько залягають до поверхні, є ознакою порушеності геологічного середовища, яке тривалий історичний (геологічний) період було стабілізоване, однак при зміні гірничо-геологічних, інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов, потенційно знову може бути порушене. З огляду на це, такі ділянки можна вважати індикаторними, найбільш важливими для моніторингу за розвитком соляного карсту на всіх етапах розвитку: утворення провалу, заповнення виїмки водою, функціонування як екосистеми озера із чистою водою та водної товщі, що зазнає евтрофікації з трансформацією в болото.

Особливо актуальний моніторинг за такими об'єктами є в умовах наявності соляних копалин як потенційних чинників порушення гідрогеологічної рівноваги, і будь-які, навіть найменші зміни, можуть бути важливими індикаторами активізації соляного карсту.

Саме такий випадок двох карстових озер: історичного (геологічного), про який свідчать описані нами торфові відклади, та сучасного – водойми, що утворилася після провалоутворення у 2007–2009 роках, ми розглядаємо на прикладі ділянки Чорний Мочар у межах Солотвинського родовища кам'яної солі.

Основною проблемою досліджуваної території є складна геологічна будова верхньої частини розрізу, що характеризується наявністю торфових покладів та відсутністю гідроізолюючого прошарку – палагу, між соляними покладами та четвертинними відкладами. Ця особливість геологічної структури становить одну з критичних геотехнічних проблем Солотвинського соляного купола, що зумовлює його нерівноважний стан відносно гідрогеологічних умов регіону. Історично ця геологічна нестабільність призвела до розвитку карстових процесів, що супроводжувались утворенням карстового провалу, карстового озера та торфовища. Антропогенний вплив у вигляді гірничих виробок шахти № 9 значно ускладнив гідрогеологічну ситуацію, сприявши відновленню водопритоків у копальню та повторній активізації соляного карсту в період 2007–2009 років. Результатом цих процесів стало формування сучасного карстового озера Чорний Мочар в умовах затоплення гірничих виробок. З огляду на перспективи осушення та відновлення видобувних робіт, карстове озеро потребує організації системи постійного моніторингу як критично важливий гідрологічний об'єкт, що може впливати на стабільність гірничих виробок та безпеку майбутніх розробок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методичним аспектам моделювання, геодинамічним процесам на соляних родовищах, насамперед соляному карсту в межах Солотвинського родовища, процесам формування насичених соляних розчинів, присвячено публікації В. О. Дяківа, А. М. Гайдіна, В. І. Козловського, П. М. Білоніжки та інших [1; 4–6; 8–14].

Мета статті – оцінити зміни інженерно-геологічних, гідрогеологічних та геоекологічних умов, закарстованості та стану гірничого масиву в зоні впливу торфовища, карстового провалу та карстового озера «Чорний Мочар» у межах гірничого відводу затопленої шахти № 9 Солотвинського родовища кам'яної солі – за результатами багаторічних польових спостережень, аналізу змін геологічного середовища та екологічного стану територій і акваторій.

Методика досліджень – вивчення фондових матеріалів, польові моніторингові спостереження в зоні впливу гірничих виробок шахти № 9, за рівнями затоплення копальні, рівнями води в карстовому озері, аналіз зібраних даних, відображення гірничо-геологічних, інженерно-геологічних гідрогеологічних умов на картах та розрізах, інтерпретація отриманих результатів і встановлення еволюції (закономірностей) постмайнінгових змін торфовища, карстового провалу та карстового озера «Чорний Мочар» у межах Солотвинського родовища кам'яної солі.

Виклад основного матеріалу. Солотвинське родовище кам'яної солі розташоване в південно-східній частині Тячівського району Закарпатської області та приурочене до Верхньотисенської (Солотвинської) западини Закарпатського прогину. Приповерхнєве залягання кам'яної солі приурочене до соляно-купольної структури – соляного штоку, що утворився внаслідок постседиментаційного галокінезу – тиску на соляні породи теригенних товщ, що залягають вище, їх перехід у пластично-текучий стан та видавлювання в приповерхнєву ділянку розрізу. При цьому переміщення пластично-текучих соляних мас відбувалося з ділянки підвищеного геостатичного тиску до його понижених значень.

Згідне залягання вищезазначених стратиграфічних підрозділів порушене процесами соляної тектоніки, вилуговування солей та їх елювіальною самоізоляцією. Процеси соляної тектоніки зумовлені перекриттям соленосної товщі теригенними відкладами, дисгармонійними дислокаціями, напруженнями та переходом соляних порід у квазітекучий стан. Інтенсивне зростання Солотвинської солянокупольної структури відбувалося від сармату до голоцену та призвело до сучасного вигляду родовища на геологічній карті й розрізі, так і до розвитку природного соляного карсту, зокрема на ділянці «Чорний Мочар» (рис. 1).

В основі геологічної будови Солотвинського родовища залягають гіпсоангідриди, туфи, туфіти з прошарками вапняків і мергелів Новоселицької свити. Ці відклади перекриваються товщею сірих і темно-сірих аргілітоподібних глин, алевролітів, пісковиків і кам'яної солі верхньотереблінської свити та надсольовим комплексом теригенних відкладів бадену (солотвинська і тересвинська свити) і нижнього сармату (басхевська свита) [2], що перекриті утвореннями четвертинного віку (рис. 1).

У тектонічному відношенні Солотвинське родовище становить собою шток солянодіапірової структури. Під четвертинним відкладами шток має в плані грушоподібну форму завдовжки 1880 м і завширшки 760 м. Довга вісь орієнтована в напрямку північний-захід – південний-схід. Соляний шток має асиметричну будову. Південно-західне крило круте (60 – 80°), а північно-східне – пологіше (до 60°). У північно-західному й південно-східному напрямках він занурюється під кутом 15–30°. Такі кути свідчать про те, що контакт соляного штоку з боковими флішодібними породами тектонічний [3]. Кути падіння змінюються й залежно від відстані від контуру виходу солі під четвертинні відклади: поблизу круті, по мірі віддалення пологіші. Поверхня штоку на рівні ерозійного зрізу має грушоподібну форму, місцями нерівні контури, нахилена в північно-західному напрямку (див. рис. 1).

На рівні ерозійного зрізу соляна товща перекрита елювіальними глинами (місцева назва «палаг»), що накопичилися в процесі вилуговування кам'яної солі (рис. 2).

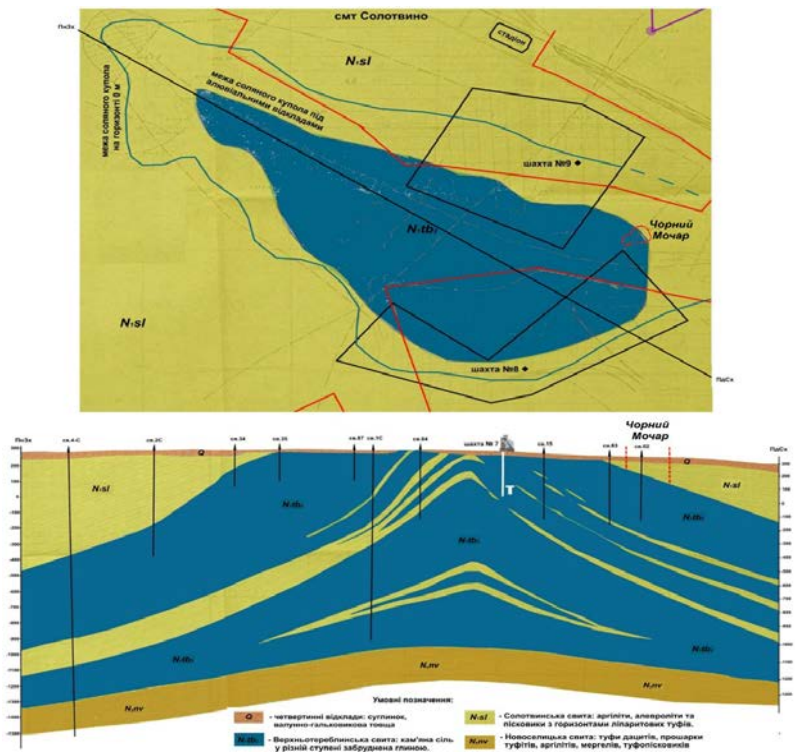


Рис. 1. Геологічна карта та розріз Солотвинського родовища кам'яної солі з локацією урочища «Чорний Мочар» на них



Рис. 2. Нерівність контакту кам'яної солі та підосви палагу зі збільшенням потужності глинистого прошарку зліва та вклинюванням справа в центральній частині родовища в межах гірничого відводу шахти № 7

За даними Г. В. Короткевича [2], на площі виходу солей під четвертинні відклади Солотвинського соляного купола нараховується шість досить великих ділянок, де палаг відсутній і де є підвищені ризики розвитку соляного карсту, зокрема в межах другої надзаплавної тераси ріки Тиса, на лівому березі потічка Глод, в урочищі «Чорний Мочар» (рис. 3).

Завершує геологічний розріз родовища товща четвертинних відкладів – алювіальних, піщано-гравійно-галькових надзаплавних терас р. Тиси та лесовидних суглинків, а також досліджені нами озерно-болотні відклади, заторфовані та торфово-мулисті ґрунти, а також власне торфи урочища «Чорний Мочар».

Схематичний геологічний розріз по лінії Чорний Мочар – Затон, показує, що при активізації соляної тектоніки та піднятті Солотвинського соляного купола, у його південно-східній частині, відбувались активні процеси розвитку природного соляного карсту з формування найпотужнішої на родовищі товщі четвертинних відкладів, що досягають тут максимальної потужності близько 100 м, а також досить потужної товщі озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів, потужністю до 20 м (рис. 4).



Рис. 3. Шість ділянок виходу солей під четвертинні відклади на площі виходу солей під четвертинні відклади, де «палаг» відсутній і де є підвищені ризики розвитку соляного карсту в межах Солотвинського соляного купола, зокрема в межах другої надзаплавної тераси річки Тиса на лівому березі потічка Глод – в урочищі «Чорний Мочар» (за даними Г. В. Короткевича [2])

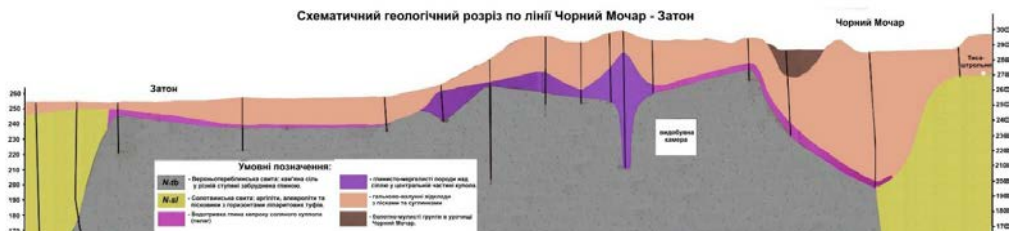


Рис. 4. Схематичний геологічний розріз по лінії Чорний Мочар – Затон демонструє максимальну для родовища потужність четвертинних відкладів до 100 м у межах урочища «Чорний Мочар», включно з товщею озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів і торфових покладів потужністю до 20 м

Профілі озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів в урочищі «Чорний Мочар» показані на рис. 5–9.



Рис. 5. Профіль озерно-болотних відкладів, що залягають на алювіальних гальковиках другої надзаплавної тераси р. Тиса в урочищі «Чорний Мочар» на краю природної мульди просідання



Рис. 6. Профіль похованого прошарку заторфованих ґрунтів та озерно-болотних відкладів, що залягають нижче, перекритих зверху лесовидними суглинками в межах урочища «Чорний Мочар»



Рис. 7. Профіль торфово-мулистих ґрунтів в урочищі «Чорний Мочар»



Рис. 8. Профіль власне торфів в урочищі «Чорний Мочар»

Наявність озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів, перекритих лесовидними суглинками із чітким ухилом контакту в бік мульди просідання, є незаперечними доказами тривалого в часі розвитку природного соляного карсту на лівому березі палеопотічка Глод. Гідрологічні та екологічні умови карстоутворення, просідання, утворення карстового озера, його замулення та заторфовування, а також їх інтенсивність визначали процеси соляної тектоніки – підняття соляного купола і, як наслідок, самоорганізації гідрологічної мережі та напрямків розвантаження підземних вод.



Рис. 9. Профіль озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів перекритих лесовидними суглинками із чітким ухилом контакту в бік мульди просідання – палеокарстового провалу, палеокарстового озера, що зазнало замулення та евтрофікації з формуванням торфовища в урочищі «Чорний Мочар»

Саме в урочищі «Чорний Мочар» була з одного боку одна з найвищих ділянок виходу солей під четвертинні відклади, яка контактувала з потужним потоком підземних вод, що призводило до найбільш інтенсивного вилюговування солей та формування тут зони живлення четвертинного водоносного горизонту з природним палеокарстовим провалом утворенням та просіданням досить великої мульди, формування палеокарстового озера, що зазнало замулення та евтрофікації з формуванням торфовища.

Причому фондові матеріали свідчать, що при бурінні в урочищі «Чорний Мочар» гідрогеологічної свердловини № 23, у ній спостерігалось бурхливе виділення горючого газу, що, імовірно, пов'язане з потужною товщею торфів.

Торфовище «Чорний Мочар» локлізоване між гірничими відводами шахт № 8 та особливо № 9. Шахта № 9 (рис. 10) діяла з 1975 року. Соляний поклад розкритий трьома центральними розташованими стовбурами: головним, допоміжним і скіповим. Головний ствол діаметром 6 м проведений до глибини 430 м. До глибини 265 м ствол проходить по вміщувальних породах, глибше – у солях.

Шахтою № 9 відроблений тільки один горизонт на глибині 360 м від поверхні. Підшва видобувних камер розташована на відмітці мінус 146 м, а покрівля на мінус 81 м. Ширина камер 20 м, висота 68 м, довжина 90–165 м. Міжкамерні цілики мають ширину 30 м. Площа горизонтального перетину видобувних камер 28 880 м², об'єм 2 млн м³.

Водовідливні установки були розміщені в рудворах на горизонтах мінус 146 і мінус 81 м. З нижнього горизонту розсіл перекачували в резервуар на горизонті мінус 81 м, а звідти – на поверхню. Наприкінці 2004 року, у зв'язку зі збільшенням водоприпливу діяльність підземного відділення лікарні була обмежена, а у 2008 р., коли водопритік збільшився до 500 м³/годину, припинена. У грудні 2008 року помпи були затоплені.

Місце прориву води встановлено безпосередньо в центрі болота «Чорний Мочар», де стався провал. Геологічний розріз місця прориву наведено на (рис. 11).

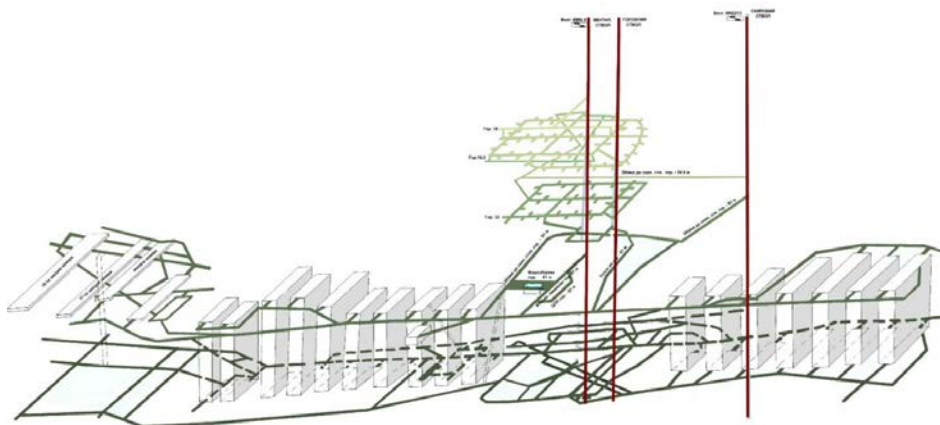


Рис. 10. Схема виробок шахти № 9

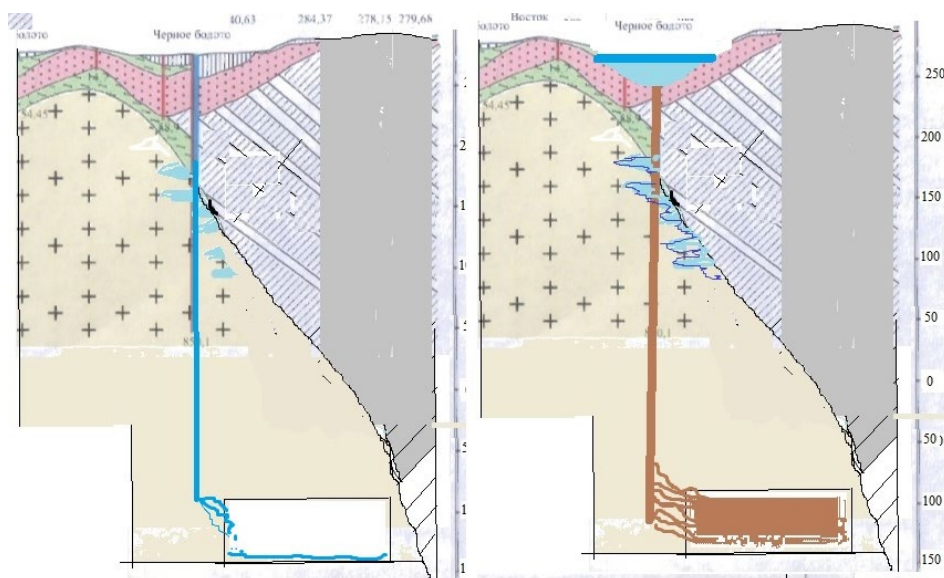


Рис. 11. Ліворуч – схема прориву води із зони бокового карсту через свердловину у видобувні камери, праворуч – провал і заповнення жерла й камер провальними масами

Воно становить собою котловину над контактом соляного тіла з вміщувальними породами. Потужність четвертинних відкладів у котловині досягає 60 м. Бокові породи складені мергелями, аргілітами, алевролітами, пісковиками, які нахилені під кутом 40–60°.

У геологічному минулому тут було вогнище розвантаження підземних вод. Унаслідок розчинення солей утворилося карстове озеро, яке із часом евтрофікувалося, тобто заросло водною і прибережною рослинністю та перетворилося в болото. Про це свідчить лінза торфу у відслоненні на борту провалу.

На контакт соляного купола з боковими породами проходить карстовий канал, який є зоною транзиту розсолів і простягається від Чорного Мочару до озер Затону. Наявність

указаного карстового каналу встановлена ще Г. В. Короткевичем [2] і підтверджена геофізичними дослідженнями, проведеними УкрНДІМІ. За Г. В. Короткевичем, який задокументував розкриті гірничими виробками карстові порожнини, морфологічно карстовий канал має вигляд серії глибоких ніш на глибині до 200 м. Їх положення контролюється змінами базису ерозії – рівнем води в різні періоди роботи древніх шахт.

Послідовність подій із затоплення шахти № 9. Дослідження послідовності процесів при затопленні шахти № 9 дозволяє виокремити такі етапи [8–9]. **Перший етап** – 2001–2006 рр. Гірничими виробками розкрита тріщинувата зона, пов’язана з не задокументованими свердловинами в центрі болота Чорний Мочар. Через свердловини із закарстованої приконтальної зони проникла вода, яка по мірі руху перетворилася в ропу. Пониження рівня бокових підземних у районі Чорного Мочару призвело до інверсії руху води – озера Затону перетворилися із зони розвантаження в зону живлення. Із цих озер вода карстовим каналом протікає в район Чорного Мочару і стволами свердловин виливається у видобувні камери. Із шахти розсіл відкачують і скидають в озера Затону, де розсіл розбавляється атмосферними водами і знову тече до Чорного Мочару.

Унаслідок агресивності недосичених роп діаметр свердловин розширяється. Завдяки розширенню карстового каналу і свердловин дебіт припливу ропи з 2001 до 2006 поступово зростає до 200 м³/годину.

Другий етап – 2006–2008 рр. Стволи свердловин в інтервалі солей внаслідок розчинення розширилися до діаметра близько 10 м. Покривальні породи – глина, суглинок, гальковик, торф – почали провалюватися в жерло. Продукти обвалювання змішувалися з ропою, що постала з карстового каналу (рис. 12). Утворювалася гідросуміш, яка заповнювала видобувні камери. У камерах швидкість потоку різко зменшилася, і тверда фаза випадала в осад. Освітлена ропа текла до ствола, де велося відпомповування. Помпувальна станція перенесена на верхній горизонт. Приплив ропи зріс до 500 м³/годину. На це вказує динаміка водопритоків у шахту № 9 у 2005–2009 рр. та його зв’язок з еволюцією провалуотворення в районі Чорного Мочару (рис. 12).



Рис. 12. Схема формування гідросуміші

На поверхні утворюється провалля, у яке з крутих схилів сповзають покривальні породи, дерева й дачні будинки. Усі вищезгадані події чітко фіксуються змінами провалу в районі Чорного Мочара у 2007–2009 роках (рис. 13 та 14).



Рис. 13. Динаміка водоприпусків у шахту № 9 у 2005–2009 рр. та його зв'язок з еволюцією провалоутворення в районі Чорного Мочара

Сучасний стан карстового озера в урочищі «Чорний Мочар», береги якого інтенсивно заростають вологолюбивою рослинністю, показано на (рис. 15).

Проведені дослідження вказують на задовільний екологічний стан сучасного карстового озера в урочищі «Чорний Мочар» із типовим біорізноманіттям іхтіофауни для таких природних чи штучних непротічних водойм: голий (шкірястий) короп, короп дзеркальний, карась та інші види (рис. 16).

Наявність цих видів свідчить про штучне зариблення та, ймовірно, привнесення ікринок риболовними птахами.

Водночас в умовах посиленого техногенного навантаження, забруднення та засмічення є ризики прискореної евтрофікації, замулення та заболочення.



Рис. 14. Динаміка провалоутворення в районі Чорного Мочара внаслідок катастрофічного водопритоку в шахту № 9 у 2007–2009 роках із формуванням карстового провалу та карстового озера

Висновки. На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Описано еволюцію постмайнінгових змін торфовища, карстового провалу та карстового озера «Чорний Мочар» у межах Солотвинського родовища кам'яної солі, які є одними з найбільш цікавих природних утворень. Історичні та сучасні карстові озера на



Рис. 15. Сучасний стан карстового озера в урочищі «Чорний Мочар», береги якого інтенсивно заростають вологолюбною рослинністю



Рис. 16. Видове різноманіття виловлених під час любительської риболовлі іхтіофауни сучасного карстового озера «Чорний Мочар»: голий (шкірястий) короп, короп дзеркальний, карась та інші види

ділянках поширення соленосних відкладів мають вагоме як загальнонаукове, так і практичне значення як особливо цінні індикаторні об'єкти постійного моніторингу в умовах розробки соляних покладів.

2. Формування провалу, озера, болота та торфовища «Чорний Мочар» у східній частині Солотвинського родовища кам'яної солі тісно пов'язано з процесами соляної тектоніки та розвитком природного соляного карсту на ділянці, де на площі виходу солей під четвертинні відклади відсутній палаг у межах другої надзаплавної тераси річки Тиса, на лівому березі потічка Глод.

3. Наявність у геологічній будові легкорозчинних соляних формацій, їх локалізація в зоні активного водообміну, розчинення соляних мінералів з утворенням підземних порожнин, провалоутворення над природними чи техногенними пустотами, заповнення підземними водами та функціонування певний історичний (геологічний) період як гідрологічних об'єктів – карстових озер на прикладі урочища «Чорний Мочар» – має вагоме значення для розуміння причинно-наслідкових зв'язків та прогнозування стану як геологічного середовища загалом, так і довкілля зокрема.

4. При піднятті соляного купола в його східній частині відбувались активні процеси розвитку природного соляного карсту з формування найпотужнішої на родовищі товщі четвертинних відкладів, що досягають тут максимальної потужності біля 100 м, а також досить потужної товщі озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів і власне торфів потужністю до 20 м.

5. Наявність озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів перекритих лесовидними суглинками із чітким ухилом контакту в бік мульди просідання, є незаперечними доказами тривалого в часі розвитку природного соляного карсту на лівому березі палеопотічка Глод. Гідрологічні та екологічні умови карстоутворення, просідання, утворення карстового озера, його замулення та заторфовування, а також їх інтенсивність, визначали процеси соляної тектоніки – підняття соляного купола і, як наслідок, самоорганізації гідрологічної мережі та напрямків розвантаження підземних вод.

6. Надзвичайно важливими аспектами еволюції карстових озер є їх природна еволюція в торфовища чи техногенно посилені процеси евтрофікації, замулення, заболочення з перспективою трансформації в торфові поклади при збереженні виявлених тенденцій у майбутньому. Наявність торфу в геологічних розрізах давніх карстових провалів є однозначним доказом наявності в них озер та їх змін в умовах сповільненого водообміну і, як наслідок, накопичення біогенних елементів.

7. Саме в урочищі «Чорний Мочар» була з одного боку одна з найвищих ділянок виходу солей під четвертинні відклади, яка контактувала з потужним потоком підземних вод, що призводило до найбільш інтенсивного вилугування солей саме в цій частині родовища ділянці родовища, формування тут зони живлення четвертинного водоносного горизонту з природним палеокарстовим провалоутворенням та просіданням досить великої мульди, формування палеокарстового озера, що зазнало замулення та евтрофікації з формуванням торфовища, де були зафіксовані прояви виділення метану.

8. Доведено, що наявність торфовищ над соляними відкладами, що близько залягають до поверхні, є ознакою порушеності геологічного середовища, яке тривалий історичний (геологічний) період було стабілізоване, однак при зміні гірничо-геологічних, інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов потенційно знову може бути порушене. З огляду на це, такі ділянки можна вважати індикаторними, найбільш важливими для моніторингу за розвитком соляного карсту на всіх етапах їх розвитку: утворення провалу, заповнення виїмки водою, функціонування як екосистеми озера із чистою водою та водної товщі, що зазнає евтрофікації з трансформацією в болото.

9. Особливо актуальним моніторинг за такими об'єктами є в умовах наявності соляних копалень як потенційних чинників порушення гідрогеологічної рівноваги, і будь-які, навіть найменші зміни, можуть бути важливими індикаторами активізації соляного карсту.

10. Проведені дослідження вказують на задовільний екологічний стан сучасного карстового озера в урочищі «Чорний Мочар» із типовим біорізноманіттям іхтіофауни для подібних природних чи штучних непротічних водойм, водночас в умовах посиленого техногенного навантаження, забруднення та засмічення, є ризики прискореної евтрофікації, замулення та заболювання. Розглянуті особливості розвитку провалу, озера, болота й торфовища «Чорний Мочар» мають вагоме значення для моніторингу за станом геологічного середовища в межах гірничого відводу шахти № 9, особливо за умови раніше обгрунтованого варіанту її осушення, відновлення роботи як копальні, так і підземного відділення алергологічної лікарні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гайдін А. М. Врятувати Солотвино. П'ята міжнародна науково-практична конференція «Надрокористування в Україні». Трускавець, 2018. С. 57–65.
2. Короткевич Г. В. Соляний карст. Львів : Надра, 1970. 256 с.
3. Колодій В. В. Гідрогеологія : підручник для студ. геол. спец. вищ. навч. закл. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 368 с.
4. Гайдін А. М., Рудько Г. І. Техногенний карст. Чернівці : Букрек, 2016. 200 с.
5. Гайдін А. М., Дяків В. О. Геодинамічні процеси на соляних родовищах. Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2010». Дніпропетровськ. С. 23–41.
6. Дяків В. О., Козловський В. І., Романюк Н. Д. Природний та техногенно-активізований карст в межах провалу, озера, болота та торфовища «Чорний Мочар» Солотвинського родовища кам'яної солі (Закарпаття). Матеріали Восьмої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (2023 р., м. Львів). Київ : 2023. С. 458–469.
7. Рудько Г. І., Гайдін А. М. Провали. Деформації земної поверхні над гірничими виробками і карстами. Київ – Чернівці : Букрек, 2019. 218 с.
8. Дяків В. О., Білоніжка П. М. Особливості геологічної будови та сучасний геоecологічний стан Солотвинського родовища кам'яної солі (Закарпаття). *Вісник Львів. ун-ту. Серія геол.* 2010. Вип. 24. С. 62–79.
9. Дяків В. О. Закономірності розвитку техногенно активізованого соляного карсту в процесі затоплення шахт № 8 та № 9 Солотвинського солерудника. Збірник наукових праць Волинського нац. ун-ту ім. Лесі Українки – № 9. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. Луцьк, 2012. С. 69–79.
10. Дяків В. О. Перспективи відновлення солевидобутку та спелеолікування у затопленій шахті № 9 Солотвинського солерудника. Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи відновлення спелеотерапії та видобутку солі на базі родовища кам'яної солі в смт Солотвино, Тячівського р-ну, Закарпатської обл.». смт Солотвино, 22–23 жовтня 2013 р. 2013. С. 51–52.
11. Дяків В. О., Пакшин М. Ю. Еволюція постмайнінгового ландшафту та карстової гідрогеологічної системи Солотвинського родовища кам'яної солі за результатами аерокосмічного моніторингу методами постійних відбивачів (PS) та малих базових ліній (SBAS). Матеріали П'ятої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (8–12 жовтня 2018 р., м. Трускавець). Київ : 2018. Т. 2. С. 122–133.
12. Гайдін А., Дяків В. Як повернути і примножити втрачений потенціал? (Шахта № 9 у межах Солотвинського родовища кам'яної солі: від катастрофічного водопритоку, активного розвитку соляного карсту та аварійного затоплення – до

ефекту самотампонування і відновлення підземного відділення алергологічної лікарні). *Всеукраїнський екологічний науково-популярний журнал «Зелені Карпати»*. 2020, № 1-4 (64–67). С. 96–101.

13. Дяків В. О., Гайдін А. М. Ретроспективний аналіз розвитку соляного карсту, ефект самотампонування карстового каналу та перспективи відновлення спелеолікарні в шахті № 9 у межах Солотвинського родовища. Матеріали Сьомої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (2021 р., м. Львів). Київ : 2021. Т. 2. С. 157–168.
14. Гайдін А. М., Дяків В. О. Геодинамічні процеси, що супроводжують розвиток техногенно-активізованого соляного карсту. Матеріали Сьомої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (2021 р., м. Львів). Київ : 2021. Т. 2. С. 182–189.
15. Дяків В., Гайдін А. Карстова гідрогеологічна система Солотвинського родовища, ефект самотампонування карстового каналу та перспективи відновлення спелеолікарні у шахті № 9. *Вісник Львівського ун-ту. Серія геол.* 2021. Вип. 35. С. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.30970/vgl.35.07>

REFERENCES

1. Haydin, A.M. (2018). Vryatuvaty Solotvyno [Save Solotvino]. P"yata mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Nadrokorystuvannya v Ukrayini». Truskavets', S. 57–65. [in Ukrainian].
2. Korotkevych, H. V. (1970). Solyanyy karst [Salt karst]. L.: Nadra, 256 s.
3. Kolodiy, V. V. (2010). Hidroheolohiya : pidruchnyk dlya stud [Hydrogeology: a textbook for students]. heol. spets. vyshch. navch. zakl. L'viv : LNU imeni Ivana Franka, 368 s. [in Ukrainian].
4. Haydyn, A.M. (2016). Tekhnohenny karst [Technogenic karst]. A.M. Haydin, Rud'ko H.I. Chernivtsi: Bukrek, 200 s.
5. Haydin, A.M. Heodynamichni protsesy na solyanykh rodovyshchakh [Geodynamic processes in salt deposits]. A.M. Haydin, V.O. Dyakiv. Materialy mizhnarodnoyi konferentsiyi «Forum hirnykiv – 2010». Dnipropetrovs'k. S. 23–41. [in Ukrainian].
6. Dyakiv, V.O. (2023). Pryrodnyy ta tekhnohenko-aktyvizovanyy karst v mezhakh provalu, ozera, bolota ta torfovyyshcha «Chornyy Mochar» Solotvyns'koho rodovyshcha kam"yanoyi soli (Zakarpattya) [Natural and technogenically activated karst within the depression, lake, swamp and peat bog "Chornyy Mochar" of the Solotvino rock salt deposit (Transcarpathia)]. V.O. Dyakiv, V.I. Kozlovskyy, N.D. Romanyuk. Materialy Vos'moyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: «Nadrokorystuvannya v Ukrayini. Perspektyvy investuvannya» u 2 t. (2023 r., m. L'viv). K.: S. 458–469. [in Ukrainian].
7. Rud'ko, H.I. (2019). Provaly. Deformatsiyi zemnoyi poverkhni nad hirnychymy vyrobkamy i karstamy [Sinkholes. Deformations of the Earth's surface above mining operations and karsts]. Rud'ko H.I., A.M. Haydin. Kyiv – Chernivtsi: Bukrek, 218 s. [in Ukrainian].
8. Dyakiv, V.O. (2010). Osoblyvosti heolohichnoyi budovy ta suchasnyy heoekolohichnyy stan Solotvyns'koho rodovyshcha kam"yanoyi soli (Zakarpattya) [Peculiarities of the geological structure and the current geoeological state of the Solotvyn rock salt deposit (Transcarpathia)]. V.O. Dyakiv, P.M. Bilonizhka. *Visnyk L'viv. un-tu. Seriya heol.* Vyp. 24. S.62–79. [in Ukrainian].
9. Dyakiv, V.O. (2012). Zakonomirnosti rozvytku tekhnohenko aktyvizovanoho solyanoho karstu v protsesi zatoplennya shakht № 8 ta № 9 Solotvyns'koho solerudnyka [Regularities of development of technogenically activated salt karst in the process of flooding of mines No. 8 and No. 9 of the Solotvynsky salt mine]. Zbirnyk naukovykh prats' Volyns'koho nats. un-tu im. Lesi Ukrayinky - № 9. Pryroda Zakhidnoho Polissya ta prylyhlykh terytoriy. Luts'k, S.69–79. [in Ukrainian].

10. Dyakiv, V.O. (2013). Perspektivy vidnovlennya solevydobutku ta speleolikuvannya u zatopeniy shakhti № 9 Colotvyns'koho solerudnyka [Prospects for the restoration of salt mining and speleotherapy in the flooded mine No. 9 of the Solotvynsky salt mine]. Tezy Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi «Perspektivy vidnovlennya speleoterapiyi ta vydobutku soli na bazi rodovyshcha kam'yanoyi soli v smt. Solotvyno, Tyachivs'koho r-nu, Zakarpat's'koyi obl.». smt. Solotvyno, 22-23 zhovtnya 2013 r. S. 51–52. [in Ukrainian].
11. Dyakiv, V.O. (2018). Evolyutsiya postmayninovoho landshaftu ta karstovoyi hidroheolohichnoyi systemy Solotvyns'koho rodovyshcha kam'yanoyi soli za rezul'tatamy aerokosmichnoho monitoryngu metodamy postyinykh vidbyvachiv (PS) ta malykh bazovykh liniy (SBAS) [Evolution of the post-mining landscape and karst hydrogeological system of the Solotvyn rock salt deposit based on the results of aerospace monitoring using permanent reflectors (PS) and small baselines (SBAS) methods]. V.O. Dyakiv, Pakshyn M.YU. Materialy P'yatoyi mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi: «Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektivy investuvannya» u 2 t. (8–12 zhovtnya 2018 r., m. Truskavets'). K.: T.2. S. 122–133. [in Ukrainian].
12. Haydin, A. (2020). Yak povernuty i prymnozhyty vtrachenyy potentsial? (Shakhta № 9 u mezhakh Solotvyns'koho rodovyshcha kam'yanoyi soli: vid katastrofichnoho vodoprytoku, aktyvnogo rozvytku solyanoho karstu ta avaryynoho zatoplennya – do efektu samotamponuvannya i vidnovlennya pidzemnoho viddilennya alerholohichnoyi likarni) [How to return and increase the lost potential? (Mine No. 9 within the Solotvyn rock salt deposit: from catastrophic water inflow, active development of salt karst and emergency flooding - to the effect of self-tamping and restoration of the underground department of the allergy hospital)]. A. Haydin, V. Dyakiv. *Vseukrayins'kyi ekologichnyy naukovopopulyarnyy zhurnal «Zeleni Karpaty»*. № 1-4 (64–67). S. 96–101. [in Ukrainian].
13. Dyakiv, V.O. (2021). Retrospektyvnyy analiz rozvytku solyanoho karstu, efekt samotamponuvannya karstovoho kanalu ta perspektyvy vidnovlennya speleolikarni v shakhti № 9 u mezhakh Solotvyns'koho rodovyshcha [Retrospective analysis of the development of salt karst, the effect of self-tamping of the karst channel and the prospects for the restoration of the speleological room in mine No. 9 within the Solotvyn deposit]. V.O. Dyakiv, A.M. Haydin. Materialy C'omoyi mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi: «Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektivy investuvannya» u 2 t. (2021 r., m. L'viv). K.: T.2. S. 157–168. [in Ukrainian].
14. Haydin, A.M. (2021). Heodynamichni protsesy, shcho suprovodzhuyut' rozvytok tekhnogenno-aktyvizovanoho solyanoho karstu [Geodynamic processes accompanying the development of technogenically activated salt karst]. A.M. Haydin, V.O. Dyakiv. Materialy C'omoyi mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi: «Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektivy investuvannya» u 2 t. (2021 r., m. L'viv). K.: T.2. S. 182–189. [in Ukrainian].
15. Dyakiv, V. (2021). Karstova hidroheolohichna systema Solotvyns'koho rodovyshcha, efekt samotamponuvannya karstovoho kanalu ta perspektyvy vidnovlennya speleolikarni u shakhti № 9 [Karst hydrogeological system of the Solotvyn deposit, the effect of self-tamping of the karst channel and prospects for the restoration of the speleological chamber in mine No. 9] / V. Dyakiv, A. Haydin. *Visnyk L'vivs'koho un-tu. Seriya heol.* Vyp. 35. S. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.30970/vgl.35.07> [in Ukrainian].

KARST LAKES AND THEIR TRANSFORMATION INTO PEATLANDS AS NATURAL COMPENSATORY MECHANISMS OF LANDSCAPE STABILIZATION WITHIN THE SOLOTVYN FIELD

Vasyl Dyakiv¹, Volodymyr Kozlovsky², Pavlo Makaruk³, Nataliya Romanyuk¹, Lubomyr Sheremeta¹

*¹Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0001-8045-4595>; nataliya.romanyuk@lnu.edu.ua; lubomirsheremeta@gmail.com*

²Institute of Ecology of the Carpathians, NAS of Ukraine, Kozelnytska Str., 4, Lviv, Ukraine, 79026

³Solerudlikvidatsiya, Transcarpathian region, Tyachiv district, Shakhtarska Str., 36, Solotvino, Ukraine, 90575

The evolution of post-mining changes in the peat bog, karst depression and the “Chorny Mochar” karst lake within the Solotvino rock salt deposit, which are among the most interesting natural formations, is described. Historical and modern karst lakes in the areas of salt-bearing deposits are of great importance both for general scientific purposes and as particularly valuable indicator objects for continuous monitoring in the conditions of salt deposit development.

The presence of easily soluble salt formations in the geological structure, their localization in the zone of active water exchange, dissolution of salt minerals with the formation of underground cavities, sinkholes over natural or man-made voids, filling with groundwater and the functioning of a certain historical (geological) period as hydrological objects - karst lakes on the example of the “Chorny Mochar” tract is of great importance for understanding cause-and-effect relationships and predicting both the state of the geological environment in general and the state of the environment in particular.

Extremely important aspects of the evolution of karst lakes are their natural evolution into peatlands or man-made enhanced processes of eutrophication, silting, and waterlogging with the prospect of transformation into peat deposits if the identified trends are preserved in the future. The presence of peat in geological sections of ancient karst depressions is unambiguous evidence of the presence of lakes in them and their changes in conditions of slowed water exchange and as a result of the accumulation of biogenic elements.

It has been proven that the presence of peatlands on salt deposits close to the surface is a sign of the disturbance of the geological environment, which has been stabilized for a long historical (geological) period, but with changes in mining and geological, engineering geological and hydrogeological conditions, it can potentially be disturbed again. Based on this, such areas can be considered indicator, the most important for monitoring the development of salt karst at all stages of their development: the formation of a depression, filling the depression with water, functioning as an ecosystem of a lake with clean water and a water column undergoing eutrophication with transformation into a swamp.

Monitoring of such objects is especially relevant in the presence of salt mines as potential factors of hydrogeological balance disturbance, and any, even the smallest changes, can be important indicators of salt karst activation.

It is such a case of two karst lakes: historical (geological), as evidenced by the peat deposits described by us, and modern – a reservoir formed after the collapse in 2007-2009, that we consider using the example of the Chorny Mochar area within the Solotvyn rock salt deposit.

Key words: salt karst, Solotvyn rock salt deposit, geological environment, evolution of changes, hydrogeological conditions, self-organization of the landscape, karst lake, eutrophication, siltation, swamping, tofu field.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

АКТУАЛЬНІСТЬ ВІДБОРУ КЕРНУ ПРИ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ СВЕРДЛОВИН, ВПЛИВ НА КОРЕЛЯЦІЮ ТА УТОЧНЕННІ ФІЛЬТРАЦІЙНО-ЄМНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАСТІВ-КОЛЕКТОРІВ КОМИШНЯНСЬКОГО ГКР

Лев Ємець

*Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: Lev.emets11@gmail.com*

Буріння глибоких пошукових і пошуково-розвідувальних свердловин, на родовищах, що давно в розробці, можливе завдяки новітнім модернізованим буровим верстатам важкої вантажопідйомності, новітньому геофізичному обладнанню для проведення промислово-геофізичних досліджень у відкритому й обсадженому стовбурах свердловин, що спонукає покращенню якості проведення досліджень. Свердловини мають проектну глибину понад 6500 м. Збільшується відсоток проведення 3d сейсміки, робіт з вертикального сейсмічного випробування в свердловинах, що дає змогу уточнити будову навколосвердловинного простору, потенційністю колекторських товщ і визначитися з точністю проектування наступних свердловин. Під час буріння свердловини проводять геолого-технологічні дослідження (далі – ГТД), що є невід’ємною частиною геофізичних досліджень свердловини (далі – ГДС). Первинно дібраний матеріал є материнською основою для геологічної інформації по розрізу свердловини, що дає змогу корелювати розріз з проектними даними, із сусідніми свердловинами та отримати уточнення в побудовах. Висвітлено актуальність відбору керну за допомогою керновідбірною снаряду при бурінні свердловин, встановлення й уточнення фільтраційно-ємнісних властивостей (далі – ФЄВ) порід-колекторів у свердловинах за дібраним керном, застосування даних при побудові кореляційних схем на пробурених свердловинах у комплексі з даними промислово-геофізичних досліджень. У розвідувальних і пошукових свердловинах це суттєво актуальне, і що більша інтервальність відбору, то якісніше отримання інформації по геологічному розрізу, виділенню перспективних інтервалів насичених вуглеводнями та встановлення їх характеристик.

Комплексними методами разом з ГДС виділяють інтервали вуглеводневих товщ, уточнюється стратиграфічна прив’язка горизонтів. Аналіз геолого-геохімічних даних, дібраного шламу й керну доповнює обґрунтування флюїдонасичення порід-колекторів, а у випадках, коли промислово-геофізичні дослідження виконані не в повному комплексі, у зв’язку з ускладненим стовбуром свердловини і небезпечністю втрати його, що не дає змоги однозначно оцінити характер насичення, є вагомим важелем для виділення перспективності горизонту.

Ключові слова: кореляція, свердловина, промислово-геофізичні дослідження свердловин, добір керну, флюїдонасичення, пробі шламу, фільтраційно-ємнісні властивості, ГДС, ФЄВ.

Вступ. Комишнянське родовище розташоване на території Миргородського району Полтавської області України. Найближчі крупні населені пункти – районні центри міста Миргород, Гадяч, Лохвиця. Вивчення геологічної будови Комишнянської групи родовищ вуглеводнів тісно пов’язане з дослідженнями суміжних з нею площ (Радченківська, Малосорочинська та ін.) і розвитком поглядів на будову всієї Дніпровсько-Донецької западини, розумінням регіональних закономірностей поширення

колекторів, особливостей флюїдонасичення розрізу, виділенням генетичних типів пас-ток і покладів.

Одним із важливих складників при бурінні є геолого-геофізичні дослідження свердловин на Комишнянському родовищі, особливе місце посідають детальні дослідження й аналіз шламу та керну. Це допомагає виділити різні за характером насичення пласти, простежити ГВК (газо-водяний контакт), установити розповсюдження за їх межами в розрізах пробурених свердловин. Ми отримуємо детальне розчленування розрізу на літопачки, пласти, послідовність залягання всіх пластів, аналіз їх товщин, літологічного й фаціального складу, мінливості по розрізу, можливість виявити наявність тектонічних порушень, характер контактів. Одержані дані дають змогу виконати кореляцію, яка використовується для уточнення при побудові геологічних профілів, структурних карт. Також розуміння умов осадконакопичення, перспектив нафтогазонакопичення, виділення інтервалів покришок, псевдопокришок, порід-колекторів, зон виклинювання, літологічного заміщення, визначення типу резервуарів. Після виконання каротажних досліджень, аналізу геолого-геохімічних досліджень, врахування даних по дібраному керну, інтерпретатори першочергово виділяють у розрізі реперні горизонти. Далі визначають потенційні колектори, їх фільтраційно-ємнісні характеристики та рекомендують пласти для вторинного розкриття (перфорації).

Також за результатами буріння й отриманих геологічних матеріалів узагальнюють результати аналізу флюїдів, отриманих при випробуванні свердловин, виконуються побудови геологічних та літофаціальних профілів з ув'язкою результатів буріння на суміжних площах.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Кількість свердловин з великим відходом від гирла та кутом нахилу суттєво збільшується. Відходи вибою свердловини від вертикалі в середньому становлять межі 500–600 м, а іноді понад 1000 м, кути нахилу похило-скерованої ділянки в межах 20–45 градусів від вертикалі, при глибинах свердловин 5500–6500 м, у горизонтальних свердловинах кут досягає 90 градусів. Проблематичним є проведення якісного відбору керну зі 100 % виносом. Ускладнений стовбур свердловини часто є причиною не виконання запланованих робіт. Недохід керновідбірною пристрою до вибою, посадки вище необхідної глибини, неповний виніс породи і, як наслідок, неотримання повної інформації, унеможливорює впевнену кореляцію покладів. Проблематичним у своїй дороговартості є залучення обладнання на відбір керну з ізоляцією в алюмінієві або пластикові труби й подальшим спрямуванням у лабораторію для досліджень зі збереженням усіх фільтраційно-ємнісних властивостей. Переважно після підйому керновідбірного пристрою на поверхню керн вибивається й укладається в ящики, для первинного опису та аналізу, а потім зразки направляють у лабораторії фізики порід. Важливим є правильний підхід до збору бурильної компановки з пристроєм і технології виконання самого процесу робіт, взяття до уваги ускладнень в інтервалах відбору, врахування літологічних особливостей порід, передбачених проектом.

Мета. Аналіз геологічних досліджень, отриманих під час буріння свердловини за допомогою ГТД, дає змогу виконати низку геологічних завдань на прикладі свердловин Комишнянського родовища. Необхідність добору керну в пошукових і розвідувальних свердловинах, його вплив на кореляційні побудови по родовищу, корегування літофаціальних профілів, визначення фільтраційно-ємнісних властивостей, вибір інтервалів перфорації.

Практичне значення. Геологічний блок даних ГТД, включно з добром і первинним аналізом дібраного керну, доповнює комплексування інформації по ГДС, насамперед при виділенні колекторів, оцінці їх літотипу та характеру насичення, що необхідне на стадії буріння пошукових та розвідувальних свердловин, іноді в експлуатаційних свердловинах у проектних горизонтах з метою оцінки стану насиченості. Отримані дані використовують

для корегування інтервалів випробування свердловини, а іноді є переважальним аргументом для вибору інтервалу перфорації. Також дають змогу в онлайн-режимі виконувати кореляцію із сусідніми свердловинами і в процесі буріння, разом з основним комплексом ГДС, дають розуміння стратиграфічних прив'язок та часто є аргументом для коригування проектної глибини або взагалі буріння іншого стовбура свердловини. Весь комплекс робіт доповнює загальне розуміння стану насиченості вуглеводнями розкритих розрізом пластів та є невід'ємним матеріалом при проектуванні наступних свердловин загалом по родовищу й уточненні геологічного розрізу.

Вирішення актуальних питань. У розвідувальній свердловині № 34а запроєктовано 16 м відбору керну у два інтервали відбору пристроєм УКР2-127/67 бурильною головою 152,4 мм. Фактично відібрано з трьох інтервалів. Таке рішення ухвалено, оскільки проектний геологічний розріз не відповідав фактичному ближче до продуктивних інтервалів і, з метою детального вивчення розрізу та отримання коректних первинних даних, вирішено збільшити інтервальність відбору керну.

При підготовці до буріння важливо забезпечити безперебійну роботу всього бурового обладнання. Для гарантування цієї умови перед початком буріння з відбором керна необхідно провести:

- перевірку технічного стану системи верхнього приводу, ротора, вертлюга, насосів, компресорів, гідравлічної обв'язки бурової;
- перелік усього основного (керноприймальний пристрій, бурголовки і т. д.) й допоміжного (хомути, ключі, комплект для парафінізації керна тощо) обладнання та інструменту, що необхідно завести на бурову до початку робіт;
- налагодження роботи системи очистки бурового розчину;
- тарування всіх контрольно-вимірювальних приладів;
- контрольні заміри довжини бурильних труб, ОБТ, ТБТ, елементів.

Керновідбірний пристрій для відбору керну УКР2-127/67 «Кембрій2-127» призначений для буріння з відбором керна діаметром 67 мм із порід II–III категорії за трудністю відбору керна в компонуванні з бурголовками із зовнішнім діаметром від 132 до 165,1 мм.

Таблиця 1

Технічні дані керновідбірного пристрою УКР2-127/67 «Кембрій2-127»

Найменування керновідбірного пристрою	Діапазон діаметрів бурголовок, які можуть застосовувати при бурінні з відбором керна	Секційний відбір, метраж	Діаметр керна
УКР2-127/67 «Кембрій2-127»	Використовуються бурголовки діаметром: від 132 мм до 165,1 мм	1 секція – 7 м; 2 секції – 14 м	66,7 мм

Залучалась бурголовка типу PDC – оснащена алмазно-твердосплавними різцями. Калібрувальні поверхні, які утворюють зовнішній діаметр, оснащені твердим сплавом та різцями PDC. Принцип роботи полягає в застосуванні ріжучої кромки різців для буріння кільцевим вибоєм. Для буріння цього інтервалу заплановано для використання наступні бурголовки: основна 152.4/67 GMC1306 – бурильна головка призначена для буріння свердловини з відбором керну керноприймальними пристроями з нез'ємним керноприймальником у породах середньої твердості та пропластками твердих порід категорії твердості II–III.

Перед спуском у свердловину керновідбірного інструмента, здійснене очищення вибою і привибійної зони від металічних предметів, уламків твердосплавних зубів і кусків великого шламу. Під час останнього довбання перед початком буріння з відбором керна проходка на долото обмежена до 0,7 від запланованої величини по ГТН, долотній програмі, щоб втрата діаметра була мінімальною. У процесі буріння подання інструмента було

рівномірним, плавним, без різких коливань осевого навантаження. Під час буріння з відбором керна обов’язково проводився добір та аналіз шламу. Для забезпечення високого виносу керна бурильну головку не відривали від вибою протягом усього рейсу. Збирання, розбирання керновідбірною пристрою, буріння та підйом керна, обслуговування інструменту проводилось відповідно до технічного опису пристрою. Після кожного інтервалу робіт з відбором керна, складався акт з описом процесу й технічних результатів роботи та додатком фотографій, що відображають знос інструменту, фотографій і короткого опису керна.

Таблиця 2

Планові та фактичні інтервали відбору керну

Плановий інтервал відбору керну		Фактичний інтервал відбору керну	
Інтервал відбору	Метраж, м	Інтервал відбору	Метраж, м
5840–5848 м	8	5834–5840 м	6 (4,71)
5942–5950 м	8	5946–5952 м	6 (5,9)
		5993–5999 м	6 (6)

Низька швидкість поглиблення зумовлена недостатньою вагою КНБК (компонування низу бурильної колони), максимальне допустиме навантаження на бурголовку становило 4 т. Тому в перших двох рейсах вихід керну був неповним. Це додатково зумовлено літологічними особливостями порід і досить збільшеним навантаженням, що призвело до незначних втрат, до висипу породи при відриві від вибою і підйомі.

Рейс № 1. Інтервал добору: 5834–5840 м, проходка: 6 м, вихід: L – 4,71 м (78,5 %).

Рейс № 2. Інтервал добору: 5946–5952 м, проходка: 6 м, вихід: L – 5,9 м (98 %). Фактично обидва інтервали представлені пісковиком сірим, іноді до темно-сірого кольору, кварцовим, дрібнозернистим, щільним, міцним, місцями крихким, рихлуватим, з прошарками та включеннями вуглистого (детритового) матеріалу та аргілітом сильноуглефікованим з прошарками та включеннями кам’яного вугілля.

Рейс № 3. Інтервал добору: 5993–5999 м, виніс керну становив 100 % піднято: L= 6 м, що є дуже гарним результатом, зважаючи на літологічні особливості, що містили крихкий аргіліт та місцями слабозцементований пісковик.

Керн представлений (зверху вниз):

(L1) – 6.0 м. Пісковик від світло-сірого до сірого, іноді до темно-сірого кольору, кварцовий, дрібнозернистий, щільний, міцний, з незначними прошарками слабозцементованого пісковика та включеннями детритового матеріалу й аргіліту з прошарками від 1 мм до 5 см,

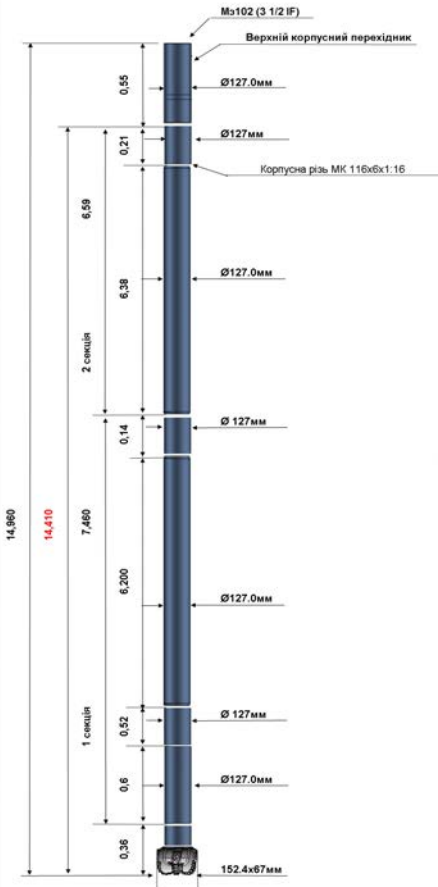


Рис. 1 Схема керновідбірною пристрою УКР2-127/67

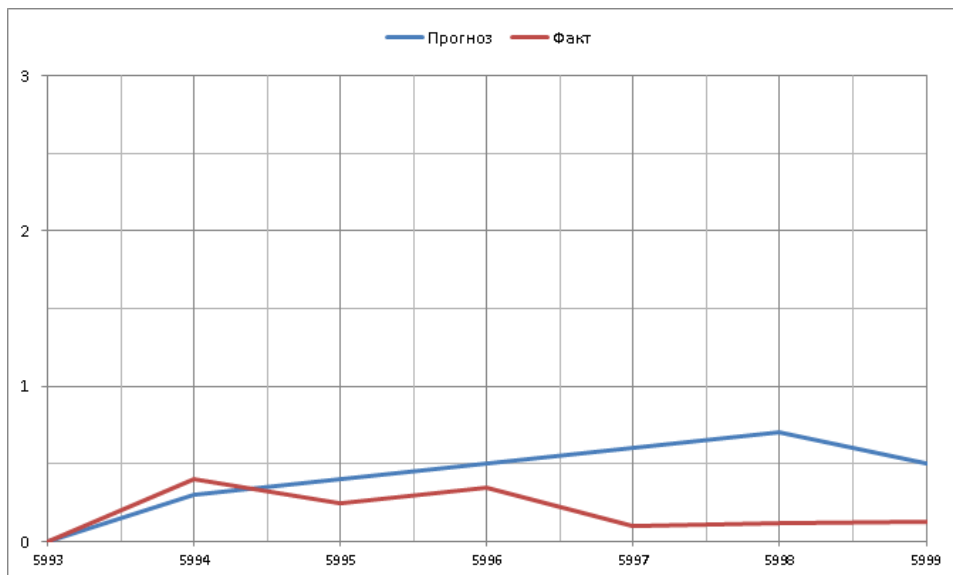


Рис. 2 Порівняння прогнозованої та фактичної механічної швидкості з відбором керну в інтервалі 5993–5999 м



Рис. 3. Зразок пісковика з інтервалу 5993–5999 м

місцями крихкого. На свіжому зламі, присутній запах ВВ (однак слід врахувати, що розчин на ВВ основі).

Результати досліджень:

1) пісковик (відібраний за 0,2 м від верху керну). Карбонатометрія: К – 5,6 %, Д – 0,5 %. ЛБА-МСБ-3(ОЖ). Кп = 1,35 %, роб = 2,58 г/см³, рмін = 2,61 г/см³.

2) пісковик (відібраний за 5,53 м від верху керну). Карбонатометрія: К – 4,2 %, Д – 0,4 %. ЛБА-МСБ-3(ОЖ). Кп = 3,09 %, роб = 2,54 г/см³, рмін = 2,62 г/см³. На результат проведення дослідження ЛБА міг впливати буровий розчин на вуглеводневій основі.



Рис. 4. Зразок укладання керну з інтервалу 5993–5999 м

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Умови збільшення відсотка буріння глибоких пошукових та розвідувальних свердловин, виснаженості більшості родовищ спонукають до ретельного підходу у вивченні геологічного розрізу під час буріння. Інформативність якісного матеріалу при первинному розкритті розрізу під час буріння, повного комплексу каротажних досліджень, збільшення інтервальної добору керну при проєктуванні є обов'язковими факторами для успішних результатів як після завершення буріння свердловини, так і для проєктування подальших залежних від неї свердловин і загалом уточнених побудов при моделюванні родовища.

Для повного виносу керна необхідно ретельно добирати конструкцію керновідбірного пристрою в компонуванні низу бурильної колони, ретельно добирати режим буріння, оскільки цей процес досить дороговартісний, збільшує тривалість спорудження свердловини, а також має надати результативність якісним матеріалом для подальших досліджень. Важливо враховувати геомеханіку порід, проводити моделювання в програмному забезпеченні. Такий підхід дасть змогу прогнозувати режими буріння, мінімізувати час на відбір керну. Часто зменшують запроєктовані інтервали добору з метою зменшення тривалості спорудження свердловини, чого категорично не можна робити, оскільки втрачається унікальність первинного матеріалу.

Такі дослідження доповнюють дані ГДС і з великою достовірністю надалі виділяють інтервали перфорації. Цей підхід дає позитивний результат і збільшує видобуток газу. Кожна свердловина індивідуальна, літологічні розрізи мінливі, не завжди присутні реперні горизонти, потужності не витримані. Необхідно збільшувати відсоток інтервалів відбору керну, для повноти геологічної інформації по свердловинах, покращувати якість виконання ГДС, ретельніше приділяти увагу технологічним дослідженням, що входять у комплекс ГТД, оскільки повнота геологічного матеріалу свердловини напряму є показником успішності довивченості родовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стефурак Р. І. Технології відбору керна в глибоких свердловинах. *Мінеральні ресурси України*. № 2. 2024.
2. Стефурак Р. І. Удосконалення конструкцій керноприймальних пристроїв для відбору зразків порід і мінералів. *Мінеральні ресурси України*. 2025.
3. Правила нормативного забезпечення геологічного вивчення надр. (Із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища № 64 від 11.02.2009.
4. Технологічний регламент по похило-спрямованому бурінню на площах Східної України. УкрНДІгаз, 1995.

REFERENCES

1. Stefurak, R.I. (2024). Tekhnologii vidboru kerna v hlybokykh sverdlovynakh [Core sampling technologies in deep wells]. *Mineralni resursy Ukrainy*. № 2.
2. Stefurak, R.I. (2025). Udoskonalennia konstruktsii kernopryimalnykh prystroiv dlia vidboru zrazkiv porid i mineraliv [Improvement of the design of core receiving devices for sampling rocks and minerals]. *Mineralni resursy*. Ukrainy.
3. Pravyla normatyvnoho zabezpechennia heolohichnoho vyvchennia nadr [Rules for regulatory support of geological exploration of subsoil]. (Iz zminy, vnesenymy zghidno z Nakazom Ministerstva okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha № 64 vid 11.02.2009).
4. Tekhnolohichniy rehlyament po pokhylo-spriamovanomu burinniu na ploshchakh Skhidnoi Ukrainy [Technological regulations for directional drilling in the areas of Eastern Ukraine]. UkrNDIhaz, 1995.

THE RELEVANCE OF CORE SAMPLING IN GEOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL STUDIES OF WELLS, THE IMPACT ON THE CORRELATION AND REFINEMENT OF FILTRATION AND CAPACITIVE PROPERTIES OF RESERVOIR FORMATIONS OF THE KAMYSHNYANSKY GCF

Lev Yemets

Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: Lev.emets11@gmail.com

Drilling of deep exploratory and appraisal wells in long-developed fields is made possible by the use of modernized heavy-duty drilling rigs and state-of-the-art geophysical equipment for conducting industrial-geophysical studies in both open and cased wellbores. This leads to improved research quality. These wells are designed to reach depths greater than 6,500 meters. The proportion of 3D seismic surveys and vertical seismic profiling in wells is increasing, allowing for more accurate definition of the surrounding borehole environment, reservoir potential, and precise planning of subsequent wells. During the drilling process, geological and technological studies (GTS) are carried out, forming an integral part of well geophysical surveys (WGS). The initially collected material serves as the fundamental source of geological information about the well section, allowing for correlation with design data, neighboring wells, and refinement of geological models. The relevance of core sampling using core barrels during drilling is emphasized, as it helps determine and refine the filtration and storage properties (FSP) of reservoir rocks based on the retrieved core. These data are then applied in building correlation schemes for drilled wells in conjunction with industrial-geophysical survey data.

In exploratory and appraisal wells, this is especially important: the greater the sampling interval, the higher the quality of geological section information, identification of hydrocarbon-saturated intervals, and determination of their characteristics.

Through integrated methods along with WGS, hydrocarbon-bearing intervals are identified and stratigraphic horizons are precisely tied. The analysis of geological and geochemical data from cuttings and cores complements the justification of fluid saturation in reservoir rocks. In cases where a full set of industrial-geophysical studies cannot be performed due to borehole complications or risk of borehole loss, making fluid saturation difficult to assess, such analysis becomes a significant factor in identifying the prospectivity of the horizon.

Key words: correlation, well, industrial-geophysical well surveys, core sampling, fluid saturation, cuttings samples, filtration and storage properties, WGS, FSP.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

СТРУКТУРНО-ПАЛЕОГЕОГРАФІЧНІ Й ЛІТОЛОГО-ФАЦІАЛЬНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ БУРШТИНОНОСНИХ ТОВЩ І ПОКЛАДІВ БУРШТИНУ ПРИП'ЯТСЬКОГО ОЛІГОЦЕНОВОГО БАСЕЙНУ

Сергій Мамчур¹, Василь Шпирка²

¹ Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: Serhiy.Mamchur@lnu.edu.ua

² ТОВ «РАЙТ СОЛЮШН», Олевськ, Житомирська область, Україна, 11001
e-mail: shpyrka56@ukr.net

Метою роботи є дослідження структурно-палеогеографічних та літолого-фаціальних закономірностей геологічної будови регіону та розробка на їх основі принципів районування покладів бурштину Прип'ятського бурштиноносного олігоценного басейну. Для роботи використано власні польові та камеральні матеріали, дослідження колег, фондові й опубліковані праці. Районуванням території поширення покладів бурштину активно займаються дослідники кінця XX – початку XXI сторіч; їхні праці підкреслюють необхідність визначення чітких критеріїв щодо виокремлення бурштиноносних підрозділів. Прип'ятський олігоценний седиментаційний морський басейн сформувався під час межигірської епохи, тому відповідно до проведених багаторічних різносторонніх досліджень головним стратиграфічним рівнем поширення бурштину серед палеогенових відкладів у межах Прип'ятської западини вважається межигірський. Межигірський рівень на території заходу Східно-Європейської платформи має три структурно-палеогеографічні ділянки (СПД), серед яких внутрішньо-морська й морська окраїнно-внутрішньоматерикова розвинені на території, яка досліджувалася. Кожна зі СПД за характером внутрішньої будови розділяється на підділянки. Виконані літолого-фаціальні дослідження дають змогу виділити генеральний (наскрізний) ряд глауконітумішувальних фацій міжгірської теригенної глауконітової нижньоолігової підформації, які поширюються за певними групами фацій як в окраїнно-морській СПД, так і в морській окраїнно-внутрішньоматериковій СПД. Виконане ранжування бурштиноносних відкладів спрятиме їх систематизації та вдосконаленню критеріїв районування бурштиноносних територій. Бурштиноносність товщі пов'язана з фаціальною належністю відкладів та конкретним структурно-палеогеографічним її положенням у межах седиментаційного басейну. Серед глауконітумішувальних фацій виокремлено такі, які спеціалізовані на бурштині: алевритисто-піщана бурштиноносна, піщано-глинисто-алевритиста бурштиноносна, глинисто-алевритиста бурштиноносна, глиниста бурштиноносна. При цьому наростання бурштиноносності фацій позитивно корелюється зі збільшенням глинистої фракції. Проаналізовано бурштиноносність різновидів фацій за величиною вмістів бурштину, вона наростає зі збільшенням глинистої фракції. Отримані узагальнення дослідження виконані на новому актуальному матеріалі. Вони сприятимуть розширенню подальших перспектив щодо комплексного теоретичного та практичного вивчення бурштиноносних відкладів регіону.

Ключові слова: Прип'ятський олігоценний седиментаційний басейн, структурно-палеогеографічне районування, літолого-фаціальні дослідження, бурштин, глауконітумішувальні породи.

Вступ. Установлення закономірностей формування покладів бурштину вимагає першочергового висвітлення серед необхідних структурно-палеогеографічних і літолого-фаціальних умов утворення бурштиноносних товщ і покладів бурштину в межах басейнів седиментації. Структурно-палеогеографічні закономірності вказують на загальний та локальний характер просторового розташування бурштиноносних товщ і покладів бурштину в певних частинах седиментаційних басейнів, а літолого-фаціальні умови підкреслюють специфіку відкладо- й бурштинонакопичення при формуванні бурштиноносних товщ і власне покладів бурштину.

Мета роботи – схарактеризувати структурно-палеогеографічні та літолого-фаціальні закономірності геологічної будови регіону та проведення на їх підставі районування покладів бурштину Прип'ятського бурштиноносного олігоценового басейну.

Аналіз попередніх досліджень. Питаннями районування території поширення покладів бурштину в межах заходу України присвячено низку робіт, серед яких знаходимо праці В. М. Мацуя та В. А. Нестеровського (1995), В. В. Яковлевої (2004), М. В. Криницької та В. М. Шпирки (2008), В. Г. Мельничука і М. В. Криницької (2018), У. З. Науменка та В. М. Мацуя (2020) [1–3; 5]. Проте названі роботи потребують подальшого вдосконалення критеріїв щодо виокремлення бурштиноносних зон та районів.

Матеріали і методи. Для роботи використані власні польові та камеральні матеріали, дослідження колег, фондові й опубліковані праці. Стратиграфічне розчленування палеогенових відкладів, поширених на території регіону, виконане згідно із Стратиграфічним кодексом України, затвердженим Національним стратиграфічним комітетом України 11 вересня 2012 р.; Кореляційних стратиграфічних схем, затверджених 25 травня 1993 р. Українським міжвідомчим стратиграфічним комітетом та Легенди Державної геологічної карти України масштабу 1:200 000 (Волино-Подільська серія).

Геологічна позиція та головні риси будови району. Південно-Західна частина Східно-Європейської платформи пройшла у своєму розвитку складний шлях, що передбачає багатостадійний надетап формування її кристалічного фундаменту й надетап формування платформного чохла. Відповідно, у геологічній будові території північно-західного й північного регіону України беруть участь два структурні надкомплекси, що сформувалися протягом указаних основних хронологічних одиниць: надкомплекс кристалічного фундаменту та надкомплекс осадового платформного чохла. Оскільки характеристика закономірностей геологічної будови та бурштиноносності обмежується палеогеновим стратиграфічним рівнем кайнозою, нижче вона наводиться тільки для палеогенових утворень регіону. Утім, стратиграфія й структурна належність палеогенових відкладів регіону безпосередньо пов'язані з історією його геологічного розвитку.

Результати досліджень та їх обговорення. Бурштин у надрах Полісся приурочений до морських відкладів палеогенової системи кайнозою, які виповнюють *Прип'ятську і Дніпровську западини* Балтійсько-Дніпровського палеогенового басейну [2; 5], розташованого в південно-західній частині Східно-Європейської платформи (рис. 1).

У межах Прип'ятської западини відклади палеогену з розмивом та кутовим неузгодженням залягають на крейдових породах, а в місцях їх відсутності – на древніших породах рифею, венду й протерозою. Вони представлені напластуваннями *київської, обухівської світ еоцену та межигірської і берекської* (у повних розрізах) *світ олігоцену*, які характеризуються поступовою зміною вгору за розрізом одна одної в наведеній послідовності. Порооди характеризуються майже горизонтальним заляганням і плащоподібним перекриванням більш древніх утворень. Загальна потужність повного розрізу палеогенових відкладів змінюється від перших до 59 метрів. Відклади всіх підрозділів палеогенової системи локально, ділянками різної конфігурації виходять на дочетвертинну поверхню.



Рис. 1. Просторове положення Прип'ятської (I) і Дніпровської (II) западин Балтійсько-Дніпровського палеогенового басейну

Стратотипи всіх регіоjarусів палеогену північноукраїнської палеоседиментаційної структури розташовані в Дніпровсько-Донецькій западині. Ця обставина та розбіжність з попередніми стратиграфічними схемами палеогену й зумовили в низці випадків невідповідність розчленування дійсній стратиграфічній схемі палеогену Північної України 1993 р., що вимагає усунення цього недоліку.

У межах України на території поширення Прип'ятської западини палеогенові відклади загалом утворюють *морську карбонатно-теригенну формацію*. Морська карбонатно-теригенна формація на початках свого формування представлена тут морською відносно глибоководною теригенно-карбонатною середньоеоценовою підформацією київської світи, яка заміщається в верх за розрізом мілководно- й прибережно-морською теригенною глауконітовою верхньоеоцено-нижньоолігоценовою підформацією обухівської і межигірської світ [2; 5].

Формування різновікових стратиграфічних палеогенових товщ у межах регіону відбувалось у наближених структурних умовах, що пов'язано загалом із близьким характером еволюції як Європейського басейну Північної Атлантики на північному заході, так й океану Тетіс на південному сході. Залежно від трансгресивного (київський та обухівський) чи регресивного морського (межигірський та берекський) етапів геологічного розвитку регіону тут відбувалось тільки або значне збільшення, або поступове значне скорочення ділянок поширення різновікових морських басейнів при незначних змінах літотипів і характеру речовинного складу стратиграфічних комплексів.

У межах півночі України Прип'ятська палеогенова западина відповідно до її геологічної будови просторово ділиться на Західну, Центральну і Східну складові її частини (структурні сегменти), які в адміністративному відношенні розташовані на території півночі Волинської і Рівненської (*Західний структурний сегмент*), Житомирської (*Центральний структурний сегмент*) і Житомирської та Київської (*Східний структурний сегмент*) областей.

Київський та обухівський морські басейни формувалися загалом у межах як Прип'ятської палеогенової западини, так і її складників – Західного, Центрального і Східного структурних сегментів.

Сформований на пізніх етапах у умовах регресивного розвитку *Прип'ятський ранньоолігоценовий седиментаційний морський басейн межигірської епохи* й утворена на його місці ранньоолігоценова Прип'ятська межигірська бурштиноносна западина також охоплювали всі структурні складники палеогенової структури – Західний (Волинсько-Рівненський), Центральний (Житомирський) і Східний (Київсько-Житомирський) структурний сегменти.

Відповідно до проведених багаторічних різносторонніх (геологорозвідувальних і наукових) досліджень [1–5], головним стратиграфічним рівнем поширення бурштину серед палеогенових відкладів у межах Прип'ятської западини вважається *межигірський*.

У палеогеографічному відношенні в межах Прип'ятського олігоценового седиментаційного морського басейну межигірської епохи виокремлюють *внутрішньо-морську, окраїнно-морську й морську окраїнно-внутрішньоматерикову структурно-палеогеографічні ділянки*. У межах України розвинуті тільки окраїнно-морська й морська окраїнно-внутрішньоматерикова структурно-палеогеографічні ділянки мілководної частини басейну седиментації. Внутрішньо-морська структурно-палеогеографічна ділянка його глибоководної частини розміщується за межами України, на території півдня Білорусі.

Схарактеризуємо особливості формування теригених фацій і осадових товщ Прип'ятського олігоценового межигірського басейну в регіональних його частинах – структурно-палеогеографічних ділянок (надалі – СПД): *окраїнно-морській; внутрішньо-морській; морській* *окраїнно-внутрішньоматериковій*. *Окраїнно-морська* структурно-палеогеографічна ділянка седиментації межигірського басейну Східно-Європейської платформи просторово розташовується по периферії палеоматериків. У межах північної частини України для межигірської окраїнно-морської седиментаційної ділянки характерне її положення на північному обрамленні Українського кристалічного масиву (УЩ) та підняття Волино-Подільської плити (ВПП). За своїм положенням вона відповідає власне літоралі й верхній підзоні субліторалі палеошельфу та характеризується вкрай незначною (до перших десятків метрів) його глибинністю. Загальна ширина окраїнно-морської СПД досягла десятків кілометрів за довжини в сотні кілометрів.

Внутрішньо-морська структурно-палеогеографічна ділянка седиментації межигірського басейну просторово розташовується на віддаленні від палеоматериків, у бік відкритого моря, за територією поширення окраїнно-морської седиментаційної ділянки, у межах більш глибоководної субліторальної частини басейну, яка відповідає середній і нижній підзонам субліторалі палеошельфу.

Морська *окраїнно-внутрішньоматерикова* структурно-палеогеографічна ділянка седиментації межигірського басейну виступає у вигляді гібридного її різновиду, що просторово розташовується як на обрамленні палеоматерика з одного боку (тут вона майже ідентична окраїнно-морській структурно-палеогеографічній ділянці седиментації), так і в межах внутрішньої частини палеосуші, куди вона заходить у вигляді крупних мілководних заток, що підтримували зв'язок з відкритим палеоморем, з іншого боку. За

своїм положенням морська окраїнно-внутрішньоматерикова структурно-палеогеографічна ділянка седиментації також відповідає власне літоралі й верхній підзоні субліторалі палеошельфу та характеризується вкрай незначною (до перших десятків метрів) його глибинністю. Ширина морської окраїнно-внутрішньоматерикової структурно-палеогеографічної ділянки седиментації в межах центральної частини Прип'ятського олігоценового басейну становить 30–40 км за її довжини до 100 км.

Просторове розташування окраїнно-морської, внутрішньо-морської і морської окраїнно-внутрішньоматерикової структурно-палеогеографічних ділянок у межах Прип'ятського олігоценового басейну наведено на рис. 2.



Рис. 2. Розташування структурно-палеогеографічних седиментаційних ділянок у межах Прип'ятського олігоценового межигірського басейну. Умовні позначення: 1 – окраїнно-морська; 2 – внутрішньо-морська; 3 – морська окраїнно-внутрішньоматерикова

У межах півночі України розвинуті тільки окраїнно-морська й морська окраїнно-внутрішньоматерикова структурно-палеогеографічні ділянки мілководної частини межигірського басейну седиментації. Внутрішньо-морська структурно-палеогеографічна ділянка його відносно глибоководної частини розміщується за межами України, на території півдня Білорусі.

Окраїнно-морська структурно-палеогеографічна ділянка межигірського басейну седиментації за характером внутрішньої будови додатково ділиться на *прибережно-морську* (зона безпосереднього зчленування суші й межигірського палеобасейну), *морську* *внутрішньоукраїнну* (мілководний шельф) і *морську зовнішньоукраїнну* (більш глибоководний шельф) структурно-палеогеографічні підділянки (надалі – СПП). На території України поширені тільки прибережно-морська і морська внутрішньоукраїнна

структурно-палеогеографічні підділянки окраїнно-морської структурно-палеогеографічної ділянки. Морська зовнішньокраїнна (більш глибоководний шельф) структурно-палеогеографічна підділянка окраїнно-морської структурно-палеогеографічної ділянки межигірського басейну седиментації на територію України не поширюється.

Морська окраїнно-внутрішньоматерикова структурно-палеогеографічна ділянка межигірського басейну седиментації додатково ділиться на *прибережно-морську* (зона безпосереднього зчленування суші й межигірського палеобасейну), *морську внутрішньокраїнну* (мілководний шельф), *морську зовнішньокраїнну* (більш глибоководний шельф) і *морську внутрішньоматерикову* (внутрішня частина палеосуші) структурно-палеогеографічні її підділянки. На території України поширені тільки прибережно-морська, морська внутрішньокраїнна і морська внутрішньоматерикова структурно-палеогеографічні підділянки окраїнно-внутрішньоматерикової структурно-палеогеографічної ділянки межигірського басейну седиментації. Морська зовнішньокраїнна (більш глибоководний шельф) структурно-палеогеографічна підділянка окраїнно-внутрішньоматерикової структурно-палеогеографічної ділянки межигірського басейну седиментації на територію України не поширюється.

Виконаний аналіз літологічних особливостей відкладів межигірського часу Прип'ятського олігоценного басейну седиментації вказує, що в їх складі виділяється такий перелік різко переважальних літологічних видів теригенних порід – пісків, алевритів і глин, які формують генеральний (наскрізний) ряд глауконітуміщувальних фацій межигірських порід теригенної глауконітової нижньоолігоценної підформації:

- алевритисто-піщана;
- піщано-глинисто-алевритиста;
- глинисто-алевритиста;
- глиниста.

Як показано вище, у межах півночі України формування наведених глауконітуміщувальних теригенних фацій просторово відбувалося тільки в межах поширення окраїнно-морської і морської окраїнно-внутрішньоматерикової структурно-палеогеографічних ділянок мілководної частини межигірського басейну седиментації.

На території розвитку *окраїнно-морської структурно-палеогеографічної ділянки* межигірського басейну седиментації формування теригенних фацій відбувалося тільки в межах поширення прибережно-морської і морської внутрішньокраїнної структурно-палеогеографічних її СПП.

Перелік виділених груп фацій теригенної глауконітової нижньоолігоценної підформації окраїнно-морської СПД межигірського басейну седиментації наведено нижче.

Фації прибережно-морської СПП окраїнно-морської СПД седиментації представлені прибережно-морськими й прибережно-бухтово-морськими:

- алевритисто-піщаною теригенною глауконітуміщувальною;
- піщано-глинисто-алевритистою теригенною глауконітуміщувальною;
- глинистою теригенною глауконітуміщувальною.

Зазвичай на території розвитку прибережно-морської СПП седиментації найбільшим поширенням характеризується алевритисто-піщана глауконітуміщувальна теригенна фація, яку можна вважати профілювальною для неї. Глиниста глауконітуміщувальна й піщано-глинисто-алевритиста глауконітуміщувальна фації мають тут підпорядковане поширення.

Фації морської внутрішньокраїнної СПП окраїнно-морської СПД седиментації представлені мілководно-морськими:

- алевритисто-піщаною теригенною глауконітуміщувальною;

- глинистою теригенною глауконітуміщувальною;
- піщано-глинисто-алевритистою теригенною глауконітуміщувальною.

У межах території розвитку морської внутрішньокраїнної СПП окраїнно-морської СПД седиментації найбільшим поширенням характеризується піщано-глинисто-алевритиста й алевритисто-піщана глауконітуміщувальні теригенні фації. Глиниста глауконітуміщувальна фація тут має підпорядковане поширення.

Слід відмітити, що перелік порід і їх фацій, утворених у прибережно-морських, прибережно-бухтово-морських і мілководно-морських умовах, загалом близькі між собою. Як уже вказувалося, для прибережно-морської СПП седиментації і морської внутрішньокраїнної СПП седиментації характерний майже однаковий за літологічним складом набір літофацій, які вказують на їх накопичення в близьких спокійних, аж до застійних гідродинамічних умовах мілководного басейну седиментації. Різниця між ними може полягати в розмірності зернистого складника і її кількісного вмісту, а також у співвідношеннях у них зернистої, алевритистого й глинистого складників та обсягів прошарків алевритів і глин у піщаних різновидах порід. Збагаченість подеколи відкладів рідким гравійним та гальковим матеріалом і наявність у них напівобкатаних зерен кварцу свідчить про близькість джерел живлення й незначну віддаль переміщення теригенного матеріалу при цьому.

У межах України, на території розвитку *морської окраїнно-внутрішньоматерикової* структурно-палеогеографічної ділянки межигірського басейну седиментації формування теригенних глауконітуміщувальних фацій відбувалось у межах прибережно-морської, морської внутрішньокраїнної і морської внутрішньоматерикової структурно-палеогеографічних її підділянок (СПП).

Перелік груп фацій теригенної глауконітової нижньоолігоценової підформації морської окраїнно-внутрішньоматерикової СПД межигірського басейну седиментації наведений нижче.

Фації прибережно-морської СПП морської окраїнно-внутрішньоматерикової СПД седиментації представлені прибережно-морськими та морськими прибережно-лагунно-затокowymi:

- піщано-глинисто-алевритистою теригенною глауконітуміщувальною;
- глинисто-алевритистою теригенною глауконітуміщувальною;
- глинистою теригенною глауконітуміщувальною.

Фації морської внутрішньокраїнної СПП морської окраїнно-внутрішньоматерикової СПД седиментації представлені мілководно-морськими:

- алевритисто-піщаною теригенною глауконітуміщувальною;
- глинистою теригенною глауконітуміщувальною;
- піщано-глинисто-алевритистою теригенною глауконітуміщувальною.

Фації морської внутрішньокраїнної СПП морської окраїнно-внутрішньоматерикової СПД за своїм наповненням майже ідентичні аналогічним фаціям морської внутрішньокраїнної СПП окраїнно-морської СПД межигірського басейну седиментації.

Фації морської внутрішньоматерикової СПП морської окраїнно-внутрішньоматерикової СПД седиментації представлені:

– прибережно-морською піщано-глинисто-алевритистою теригенною глауконітуміщувальною;

а також лагунно-морськими та затоково-лагунно-морськими:

- піщано-глинисто-алевритистою теригенною глауконітуміщувальною;
- глинисто-алевритистою теригенною глауконітуміщувальною;
- глинистою теригенною глауконітуміщувальною.

У межах території розвитку морської внутрішньоматерикової СПП седиментації межигірського басейну найбільшим поширенням характеризуються глинисто-алевритиста й глиниста глауконітуміщувальні теригенні фації. Піщано-глинисто-алевритиста глауконітуміщувальна фація тут має підпорядковане поширення.

Бурштиноносність товщі пов'язана як із фаціальною належністю відкладів, з однієї сторони, так і з конкретним структурно-палеогеографічним її положенням або розташуванням в межах структурно-седиментаційних елементів.

Слід відмітити, що бурштиноносними можуть бути всі виділені типи виділених теригенних глауконітуміщувальних фацій. Відповідно, за літологічними й фаціальними ознаками бурштиноносність межигірських прибережно-морських, мілководно-морських і внутрішньоматериково-морських відкладів має *наскрізний характер*.

Водночас один і той же літолого-фаціальний різновид межигірських відкладів може бути як бурштиноносним, так і зовсім не містити бурштину шматкової (крупністю понад 5 мм) розмірності. Ця особливість впливає з генетичних закономірностей формування покладів бурштину, яку можна пояснити так.

Формування відкладів конкретних фацій на фоні їх загального утворення на території розвитку СПП седиментації межигірського басейну відбувалося в межах розвитку уособлених структурно-палеогеографічних їх складників – локальних седиментаційних структурних елементів. Формування теригенних фацій у межах локальних седиментаційних структурних елементів охоплювало всю їх територію. Так, локальні седиментаційні структурні елементи могли характеризуватися суцільним площовим розвитком відкладів конкретних літологічних фацій. Паралельно з відкладонакопиченням тут відбувалися процеси захоронення в осаді й накопичення первинної смоли – вихідної сировини для утворення бурштину.

Однак, якщо формування теригенних фацій у межах локальних седиментаційних структурних елементів могло охоплювати всю їх територію, то захоронення й накопичення первинної смоли підлягало певним просторовим обмеженням, які з позицій генезису бурштину наведені нижче.

Після змиву з ділянок живлення і швидкого перенесення первинної смоли тимчасовими водними потоками та дрібними водотоками на територію локальних седиментаційних структурних елементів для її випадання в осад необхідне було значне опріснення морської води, що періодично досягалося завдяки привнесенню великої кількості прісної води в морський басейн при щорічному або періодичному настанні сезону дощів. Опріснення морської води у водоймах локальних седиментаційних структурних елементів здійснювалося до певної глибини, оскільки прісна вода легша за солону і в розрізі водного плеса містилася зверху. Глибина опріснення морської водойми напряму залежала від характеру морфології її дна і переважно від об'ємів дощових опадів.

Відкладання первинної смоли у водоймах локальних седиментаційних структурних елементів після її перенесення із суші відбувалося періодично при опрісненні морської води і на глибини, до яких власне здійснювалось її опріснення (базису опріснення або граничної глибини відкладання первинної смоли в розрізі водного плеса палеоводойми).

Територіально відкладання первинної смоли й формування покладів бурштину у водоймах локальних седиментаційних структурних елементів відбувалось поза залежністю від площового поширення фаціальних різновидів осадів, але могло здійснюватися тільки в межах акваторій опрісненої до певного рівня глибин морської води, який забезпечував функціонування даного процесу.

Більш глибоководні (з різницею в перші метри або навіть долі метра) ділянки локальних седиментаційних структур, що характеризувалися поширенням тих же

фаціальних різновидів осадів, але підвищеною відносно вищеналягальних солоністю придонних вод, відкладанням первинної смоли і формуванням покладів бурштину не охоплювалися (рис. 3).

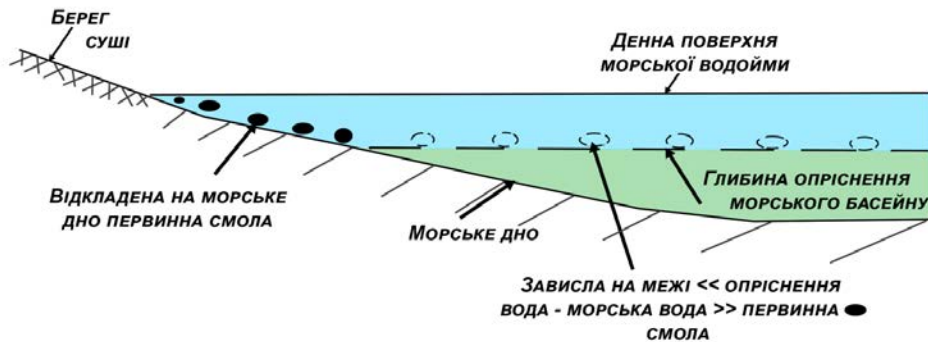


Рис. 3. Характер відкладання первинної смоли в морській водоймі залежно від глибини опріснення морської води

Відповідно, у межах одного локального седиментаційного структурного елемента на території розвитку одного фаціального типу відкладів порід могло мати місце поширення як бурштиноносного, так і небурштиноносного їх різновидів.

З огляду на наявний перелік глауконітміщувальних фацій теригенних порід, що формувалися в межах межигірського седиментаційного басейну, на території розвитку цих утворень виокремлюють такі глауконітміщувальні бурштиноносні фації:

- алевритисто-піщану бурштиноносну;
- піщано-глинисто-алевритисту бурштиноносну;
- глинисто-алевритисту бурштиноносну;
- глинисту бурштиноносну.

Необхідно відмітити, що бурштиноносність різновидів фацій за величиною вмістів бурштину також може відрізнятися. Так, для більш глинистих різновидів відкладів і фацій (глин, піщано-глинистих алевритів) характерні підвищені, порівняно з їх більш піщаними типами (алевритистими пісками, глинисто-алевритистими пісками), вмісти бурштину. Неодноразово в процесі геологорозвідувальних і видобувних робіт у стінках гірничих виробок у продуктивній піщаній товщі траплялися прошарки й лінзи глин, збагачені уламками бурштину (рис. 4). Причому бурштин у вміщувальних пісках був відсутній.

Загалом, має місце наростання бурштиноносності фацій у напрямі: алевритисто-піщана – піщано-глинисто-алевритиста – глинисто-алевритиста – глиниста. Ця закономірність підкреслює генетичні особливості накопичення в осаді первинних смол, за яких глинисті різновиди порід більш ефективно й результативно захоплюють, фіксують, утримують і консервують у своєму складі відкладені на поверхню осаду згустки первинних смол, які в подальшому трансформуються в бурштин.

Розпізнавання просторово-площинного розташування фаціальних різновидів межигірських відкладів і їх бурштиноносності *вимагає проведення* локального аналізу й установлення цих закономірностей у кожному окремому випадку.

Виконані літофаціальні та структурно-фаціальні дослідження сприятиме розвитку *теоретичних* основ бурштинонакопичення в олігоцені межигірських відкладах, що



Рис. 4. Лінза глини з уламками бурштину в алевритових пісках

позитивно впливати на розвиток теорії бурштиноносності седиментаційних басейнів. Емпіричні ознаки і критерії бурштиноносності олігоценівих відкладів сприятиме картуванню перспективних площ нових територій.

Висновки. Виконані дослідження дали змогу схарактеризувати головні риси структурно-палеогеографічних та літолого-фаціальних ознак палеогеових утворень регіону й виконати районування досліджених бурштиновмісних покладів. Автори відповідно до проведених геологорозвідувальних і наукових робіт конкретизували, що головним рудоносним стратиграфічним рівнем поширення бурштину серед палеогенових відкладів у межах Прип'ятської западини є межигірський. Виконані дослідження підкреслюють, що на вивченій території межигірський стратиграфічний рівень представлений окраїнно-морською та морською окраїнно-материковою структурно-палеогеографічними ділянками (СПД). Кожна із СПД за літолого-фаціальними показниками поділяється на підділянки, які містять групи фацій. У підсумку літолого-фаціальний аналіз уможливило виокремлення генерального (наскрізного) ряду глауконітуміщувальних фацій міжгірської теригенної глауконітової нижньоолігенової підформації, які поширюються за певними групами фацій як в окраїнно-морській СПД, так і в морській окраїнно-внутрішньоматериковій СПД. Виконане ранжування бурштиноносних відкладів сприятиме їх систематизації та вдосконаленню критеріїв районування бурштиноносних територій. Зокрема, серед глауконітуміщувальних фацій виокремлені такі, які спеціалізовані на бурштині, а саме: алевритисто-піщана бурштиноносна; піщано-глинисто-алевритиста бурштиноносна; глинисто-алевритиста бурштиноносна; глиниста бурштиноносна. При цьому наростання бурштиноносності фацій позитивно корелюється зі збільшенням глинистої фракції. Отримані матеріали з вивчення глауконітуміщувальних фацій міжгірських теригенних глауконітовоїх олігоценівих утворень виконані на новому актуальному польовому матеріалі. Вони сприятиме розширенню подальших

перспектив щодо комплексного теоретичного та практичного вивчення промислових бурштиноносних відкладів регіону й західних теренів України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Артишук В. Г. та ін. Пошуково-оцінювальні роботи на бурштин у Володимирецькому районі Рівненської області на ділянках «Дубівка», «Жовкинi», «Володимирець», «Вирка» і «Володимирець Східний». Київ : Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна геологічна служба, ПДРГП «Північгеологія», 2009. 197 с.
2. Мазур М. Д. та ін. Геологічна будова та корисні копалини верхів'я р. Уборть. Київ : Звіт про геологічне довивчення території аркуша М-35-Х (Олевськ) масштабу 1: 200 000. Київ : Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна геологічна служба, ПДРГП «Північгеологія», 2010. 438 с.
3. Науменко У. З., Мацуї В. М. Карта викопних смол України. *Мінеральні ресурси України*. 2020. № 4. С.13–17.
4. Шевченко Т. В., Курепа Я. С., Рябоконт Т. С., Мамчур С. В., Зосимович В. Ю. Еоценові та олігоцені морські відклади Українського Полісся: нові мікропалеонтологічні дані. Київ : ІГН НАН України, Українське палеонтологічне товариство НАН України, 2021. С.64–65.
5. Шпирка В. М. Детальна геолого-економічна оцінка (ГЕО-1) Володимирець Східного родовища бурштину у Володимирецькому районі Рівненської області. Київ : Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна геологічна служба, 2013. 248 с.

REFERENCES

1. Artyshuk, V.H. ta in. (2009). Poshukovo-otsiniuvalni roboty na burshtyn u Volodymyretskomu raioni Rivnenskoï oblasti na diliankakh «Dubivka», «Zhovkyni», «Volodymyrets», «Vyrka» i «Volodymyrets Skhidnyi» [Exploration and evaluation work for amber in the Volodymyrets district of the Rivne region at the sites «Dubivka», «Zhovkyni», «Volodymyrets», «Vyrka» and «Volodymyrets Skhidnyi»]. Kyiv: Ministry of Environmental Protection of Ukraine, State Geological Service, State Research and Development Enterprise «Pivnichgeologiya» 197 p.
2. Mazur, M.D. ta in. (2010). Heolohichna budova ta korysni kopalyny verkhiv'ia r. Ubort. Kyiv: Zvit pro heolohichne dovvyvchennia terytorii arkusha M-35-X (Olevsk) masshtabu 1: 200 000 [Geological structure and minerals of the upper reaches of the Ubort River. Kyiv: Report on geological additional study of the territory of sheet M-35-X (Olevsk) scale 1: 200 000]. Kyiv: Ministry of Environmental Protection of Ukraine, State Geological Service, State Research and Development Enterprise «Pivnichgeologiya». 438 p.
3. Naumenko, U.Z., Matsui, V.M. (2020). Karta vykopnykh smol Ukrainy [Map of fossil resins of Ukraine]. *Mineralni resursy Ukrainy – Mineral resources of Ukraine*. № 4. P. 13–17
4. Shevchenko, T.V., Kurepa, Ya.S., Riabokon, T.S., Mamchur, S.V., Zosymovych, V.Yu. (2021). Eotsenovi ta olihotsenovi morski vidklady Ukrainskoho Polissia: novi mikropaleontolohichni dani [Eocene and Oligocene marine sediments of Ukrainian Polissia: new micropaleontological data]. Kyiv: Institute of Geology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukrainian Paleontological Society of the National Academy of Sciences of Ukraine. P.64–65.
5. Shpyrka, M.V. (2013). Detalna heoloho-ekonomichna otsinka (HEO-1) Volodymyrets Skhidnoho rodovyscha burshtynu u Volodymyretskomu raioni Rivnenskoï oblasti [Detailed geological and economic assessment (GEO-1) of the Volodymyrets Eastern amber deposit in the Volodymyrets district of the Rivne region]. Kyiv: Ministry of Environmental Protection of Ukraine, State Geological Service. 248 p.

STRUCTURAL-PALEO GEOGRAPHIC AND LITHOLOGICAL- FACIES REGULARITIES OF THE FORMATION OF AMBER- BEARING STRATA AND AMBER DEPOSITS OF THE PRIPYAT OLIGOCENE BASIN

Serhii Mamchur¹, Vasyl Shpyrka²

¹Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskogo Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005

e-mail: Serhiy.Mamchur@lnu.edu.ua

²TOV "RAIT SOLIuShN", m.Olevsk, Zhytomyrska oblast, Ukraina, 11001

e-mail: shpyrka56@ukr.net

The aim of the work is to study the structural-paleographic and lithological-facies regularities of the geological structure of the region and to develop, on their basis, the principles of zoning amber deposits of the Pripyat amber-bearing Oligocene basin. The work used own field and office materials, research by colleagues, fund and published works. Zoning the territory of amber deposits was actively pursued by researchers of the late 20th and early 21st centuries; their works emphasize the need to identify clear criteria for the allocation of amber-bearing subdivisions. The Pripyat Oligocene sedimentary marine basin was formed during the Mezhyhirya epoch, therefore, in accordance with the conducted many years of diverse research, the Mezhyhirya is considered the main stratigraphic level of amber distribution among Paleogene sediments within the Pripyat Depression. The Mezhyhirya level in the western part of the East European Platform has three structural-paleographic regions (SPR), among which the intra-marine and marine marginal-inland are developed in the territory that was studied. Each of the SPR is divided into subregions according to the nature of the internal structure. The performed lithological and facies studies allow us to distinguish a general (transverse) series of glauconite-containing facies of the intermontane terrigenous glauconite Lower Oligocene subformation, which are distributed according to certain facies groups both in the marginal-marine SPR and in the marine marginal-inland SPR. The performed ranking of amber-bearing deposits will facilitate their systematization and improvement of criteria for zoning amber-bearing territories. The amber-bearing nature of a stratum is related to the facies of the deposits and to its specific structural-paleogeographical position within the sedimentary basin. Among the glauconite-containing facies, there are those that are specialized for amber: silty-sandy amber-bearing; sandy-clayey-silty amber-bearing; clayey-silty amber-bearing; clayey amber-bearing. At the same time, the increase in amber-bearing facies is positively correlated with the increase in the clay fraction. The amber content of facies varieties was analyzed by the amount of amber content, it increases with increasing clay fraction. The obtained generalizations of the study were made on new relevant material. They will contribute to the expansion of further prospects for a comprehensive theoretical and practical study of amber-bearing deposits of the region.

Key words: Pripyat Oligocene sedimentary basin; structural-paleogeographic zoning, lithological-facies studies, amber, glauconite-bearing rocks.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

РУДОНОСНІСТЬ ЄМИЛІВСЬКОЇ ДІЛЯНКИ МЕЖИРІЧНОГО РОДОВИЩА ТИТАНОВИХ РУД

Любов Фігура, Мирон Ковальчук

*Інститут геологічних наук НАН України, вул. Олеся Гончара, 55–б, Київ,
Україна, 01601*

e-mail: liuba_figura@ukr.net, kms1964@ukr.net

Наведено відомості щодо геологічної будови Ємилівської ділянки Межирічного родовища титанових руд, у геологічній будові якої беруть участь кристалічні породи фундаменту, їх кора вивітрювання та різні за віком континентальні й морські відклади мезозою і кайнозою: нижньокрейдові континентальні (іршанська світа), верхньокрейдові узбережно-морські (мошно-руднянська світа), палеогенові (морські та континентальні), четвертинні континентальні відклади. Корисною копалиною Ємилівської ділянки є ільменіт. Представлено результати дослідження просторового поширення вмісту ільменіту в різновікових та різногенетичних утвореннях Ємилівської ділянки (кора вивітрювання, іршанська, мошно-руднянська світи, породи розкриву). Досліджено напрям і силу кореляційних зв'язків між різними параметрами (рельєф підосви, покрівлі, товщина, середній вміст ільменіту) різновікових і різногенетичних ільменітовмісних утворень. З'ясовано що загальним для всіх ільменітовмісних утворень є прямий різної сили кореляційний зв'язок між рельєфом підосви і покрівлі та між товщиною відкладів та середнім вмістом у них ільменіту; обернений різної сили кореляційний зв'язок наявний у всіх відкладах між рельєфом підосви відкладів і їх товщиною та між рельєфом підосви відкладів і середнім вмістом ільменіту.

Найбільш збагаченими ільменітом є кора вивітрювання кристалічних порід фундаменту та континентальні відклади іршанської світи (апт-нижній альб). Кора вивітрювання розкрита свердловинами на глибину лише 7 м. Продуктивними є відклади апту-нижнього альбу, які виповнюють давню ерозійно-тектонічну палеодолину та утворилися завдяки розмиву й перевідкладенню елювію. Продуктивні відклади представлені різнозернистими каоліністими пісками, вміст ільменіту в яких досягає 666,66 кг/м³. Породи мошно-руднянської світи турону мають фрагментарне поширення й містять ільменіт у незначній кількості. Вміст ільменіту в породах розкриву незначний. Акцентовано увагу на необхідності детального дослідження рудоносності кори вивітрювання в межах Ємилівської ділянки.

Ключові слова: Коростенський плутон, Межирічне родовище, Ємилівська ділянка, геологічна будова, рудоносність.

Постановка проблеми. Питання забезпечення економіки України критичною / стратегічною мінеральною сировиною є вкрай актуальним для сьогодення України, оскільки дає змогу не лише забезпечити власні потреби держави, а й експортувати мінеральну сировину.

Першочерговим завданням, спрямованим на забезпечення цих потреб, є якнайшвидше введення в експлуатацію родовищ, у яких просторово поєднується різногенетична та різновікова рудоносність і які є досить детально дослідженими [2]. Такі полігенно-поліхронні просторово суміщені рудоносні об'єкти загалом володіють значним рудоносним потенціалом, зосередженим на різних стратиграфічних рівнях та є інвестиційно

привабливими [2]. Серед таких об'єктів – Межирічне родовище, у межах якого виокремлено декілька ділянок, зокрема Ємилівська. Зважаючи на те, що авторами вже досліджено рудоносність Осинової, Букінської та Юрської ділянок родовища, дослідження рудоносності Ємилівської ділянки є актуальним не лише для з'ясування розподілу рудоносності в її межах, а й з погляду загальної інформації щодо рудоносності Межирічного родовища на основі такої по кожній з виокремлених ділянок.

Аналіз досліджень. Дослідження геологічної будови території розташування Межирічного родовища ільменіту розпочалося наприкінці XIX століття. Значний внесок на початкових етапах дослідження зробили М. І. Безбородько, Є. З. Бурьянова, В. А. Гаврусевич, В. І. Луцицький, І. Ф. Матковський, В. І. Червинський, Д. М. Соболев та ін. Підвищений уміст ільменіту в корі вивітрювання основних порід Волинського габро-анортзитового масиву та в алювії р. Ірша (с. Стара Борова Рудня) були встановлені в 1928–1938 рр. під час геологічної зйомки масштабу території під керівництвом С. В. Бельського, Ф. А. Піонтковського та інших. Протягом цього періоду Волинською експедицією Інституту прикладної мінералогії здійснено (1930–1931 рр.) розвідку деяких ділянок ільменітовмісної кори вивітрювання Волинського масиву основних порід та алювіальних відкладів русла р. Ірша, а геологічними партіями Київського геологогідрогеодезичного тресту виконано роботи (1935 р.) з дослідження ільменітоносності кори вивітрювання, алювію р. Ірша та її притоків. У 1939 році М. І. Ожеговою і М. Д. Дяченко створено першу геологічну карту району родовища в масштабі 1:200 000 та пояснювальну записку до неї. Комплексна геологічна карта УРСР, аркуш М–35–Б, яка охоплювала район Межирічного родовища була складена в 1945 р. У 1950 р. геологічна партія № 1 ГРЕ № 19 тресту Союзспецрозвідка встановила підвищений уміст ільменіту в алювії долини р. Ірша поблизу села Старики, що дало підстави продовжити пошуки і розвідку розсипів ільменіту. З 1952 року змінилася стратегія пошуку розсипів ільменіту на відкриття давніх похованих розсипів, яка увінчалася успіхом у 1954 році, коли на підставі результатів буріння трьох магістральних ліній на межиріччі Ірша – Тростяниця відкрито поховане розсипне родовище ільменіту – Межирічне. Упродовж 1953–1958 рр. Житомирською експедицією було відкрито родовища титану в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту Межирічного, Лемненського, Букінського, Стремигородського, Торчинського, Паромівського, Меленівського та ін. і в континентальних флювіальних відкладах осадового чохла. Упродовж 1971–1975 рр. на території Середньої та Ємилівської ділянок Межирічного родовища Іршинським Гірничо-збагачувальним комбінатом здійснено геологорозвідувальні роботи. Протягом 1988–1989 рр. у межах Середньої та частково Ємилівської ділянок Межирічного родовища була виконана дорозвідка та технологічне картування, уточнено геологічну будову і з'ясовано технологічні характеристики ільменітоносних пісків. З 1995 року на Межирічному родовищі триває експлуатаційне буріння. Упродовж 2000–2003 рр. здійснювалася розробка Ємилівської ділянки кар'єрним способом. У 2015 році отримано Спеціальний дозвіл на користування надрами Межирічного родовища з метою видобування титанових руд для отримання ільменітового концентрату та піску. У 2017 році здійснено повторну геолого-економічну оцінку залишку всіх виявлених запасів корисних копалин на ділянках Межирічного родовища (Середня, Ємилівська, Юрська, Осинава, Букінська). У 2018 році здійснено повторну геолого-економічну оцінку запасів Межирічного родовища титанових руд. У результаті цих робіт схарактеризовано геологічну будову родовища, морфологію рудних тіл; речовинний склад і технологічні властивості руд за геолого-промисловими типами; технологію збагачення руд і перспективи промислової переробки концентратів; гідрогеологічні, інженерно-геологічні та гірничотехнічні умови розробки родовища; оцінено вплив розробки родовища на стан довкілля; висвітлено методику

геологорозвідувальних робіт. У 2022–2023 рр. Л. А. Фігурою та М. С. Ковальчуком досліджено рудоносність кори вивітрювання, нижньокрейдових (апт-нижній альб) і верхньокрейдових (турон) відкладів Осинової, Букінської і Юрської ділянок, створено комплект картографічних побудов, які характеризують просторовий розподіл ільменітоносності в зазначених формаційних одиницях [3–6].

Мета – представити результати дослідження ільменітоносності просторово-суміщеної полігенно-поліхронної рудоносності Ємилівської ділянки Межирічного родовища, яка складена рудоносною корою вивітрювання кристалічних порід фундаменту, алювіальними апт-нижньоальбськими (утворилися завдяки розмиву й перевідкладенню елювію) та туронськими узбережно-морськими (утворилися завдяки розмиву і перевідкладенню нижньокрейдового алювію і частково кори вивітрювання) відкладами.

Об’єкти та методи досліджень. Об’єктом дослідження є Ємилівська ділянка Межирічного родовища. Методико-методологічною основою досліджень є напрацювання авторів статті зі структурно-літологічного моделювання розсіпів важких мінералів, зокрема й різних ділянок Межирічного родовища, які апробовані та оприлюднені на наукових конференціях різного рівня, у наукових статтях і колективних монографіях [2–6]. Фактичним матеріалом дослідження Ємилівської ділянки були виробничі звіти (Рубан Н. І. Генеральный подсчет запасов титана по Междуречному и Лемненскому россыпным месторождениям ильменита по состоянию на 01.01.1959 г. Отчет о результатах геолого-поисковых и разведочных работ, выполненных Житомирской экспедицией в бассейнах р. Ирши и верхнего течения р. Уж в Житомирской области. Киев, 1959; Дудрович Е.Ю., Мухин Ю.М.; Костенко М.М. та ін. Геологічна будова та корисні копалини басейну верхньої течії р. Уж. Звіт геологозйомного загону № 10 Житомирської КГРП і Правобережної геофізичної партії за 1991–99 рр. по геологічному довивченню масштабу 1:200000 території аркуша М–35–ХІ (Коростень). Київ : Геоінформ, 1999; Нестеренко Т. Повторна геолого-економічна оцінка запасів Межирічного родовища титанових руд (ділянки Середня, Ємилівська, Юрська, Осина та Букинська). Кривий Ріг, 2018) та наукові публікації [1; 3–6].

Для картографічного моделювання структури (гіпсометрії покрівлі та підшови рудоносних відкладів та їх товщини) а також якісних показників (розподіл вмісту ільменіту за латераллю і у вертикальному перетині свердловин) рудоносних порід була створена цільова база даних, яка містить дані координат 154 свердловин, їх опис, результати опробування. Картографічні побудови здійснено в програмних забезпеченнях Inkscape, Golden Software Strater, Golden Software Surfer. Для побудови карт латерального розподілу ільменітоносності відкладів використано його середній уміст у свердловині. Кореляційні зв’язки між певними параметрами рудовмісних відкладів досліджувалися в Microsoft Excell.

Виклад основного матеріалу. Межирічне розсіпне родовище титанових руд, розташоване в північно-західній частині Українського щита, у межах Волинського мегаблоку, у центральній частині Коростенського плутону, у північно-східній частині Володарсько-Волинського масиву. В орографічному відношенні район родовища – слабо хвиляста моренно-зандрова рівнина Житомирського Полісся із загальним нахилом на північний схід [3]. Абсолютні відмітки поверхні Межирічного родовища змінюються від +196 м на південному заході до +160 м на сході.

Ємилівська ділянка розташована в південно-західній частині Межирічного родовища (рис. 1) і безпосередньо прилягає до західної околиці с. Ємилівка.

У геологічній будові ділянки беруть участь палеопротерозойські метаморфізовані вулканогенно-осадові відклади, інтрузивні породи коростенського комплексу, які перекриті мезозой-кайнозойською корою вивітрювання кристалічних порід, мезозойськими, кайнозойськими різногенетичними відкладами.

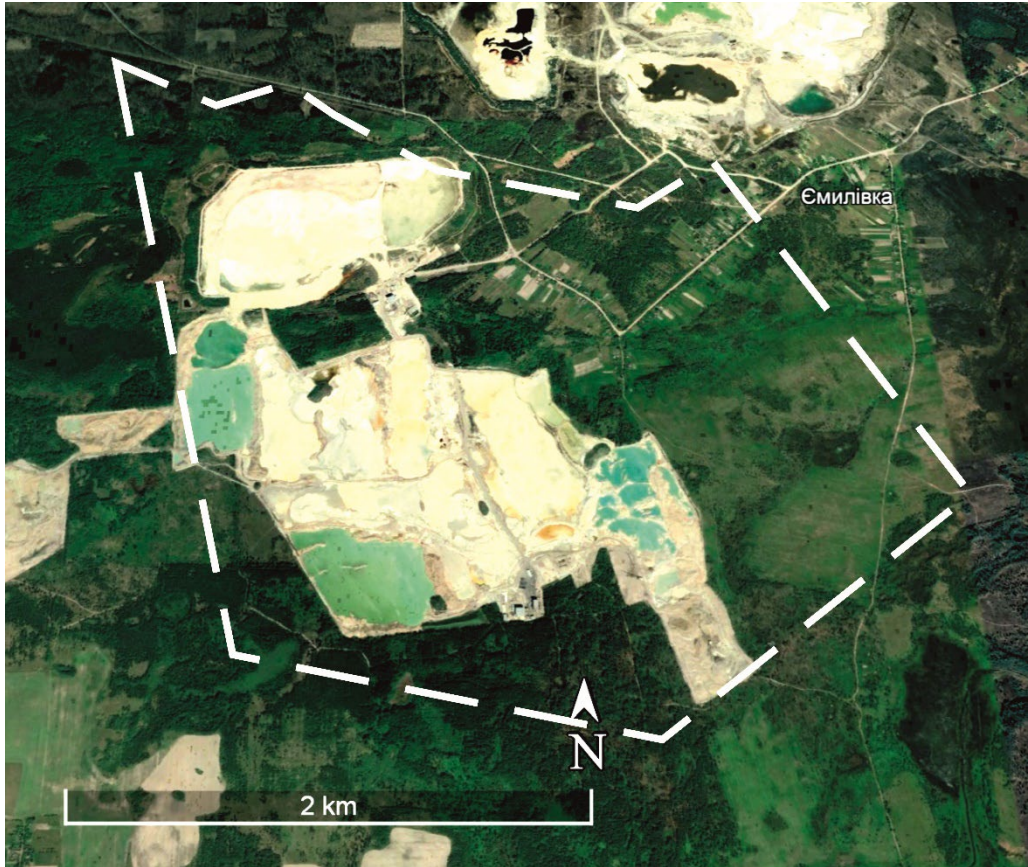


Рис. 1. Ємилівська ділянка на космознімку з порталу Google Earth Pro (космознімок 2020 р.)

Фрагмент геологічної будови району досліджень та геологічного розрізу Ємилівської ділянки представлено на рис. 2 і 3.

Серед нестратифікованих утворень Межирічного родовища переважають анортозити і габро-анортозити, підлегле значення мають габро, габро-норити та ін. За даними Т. Нестеренко вміст ільменіту в анорозитах – до 1 %; в габро-анортозитах 2–3 % (ільменіт + титаномagnetит); у лейкократових габро – до 15 % (ільменіт + титаномagnetит); в мезо-меланократових габро – 8–30 % (ільменіт + титаномagnetит + magnetит).

Повсюдно, плащеподібно на породах кристалічного фундаменту залягає кора вивітрювання яка на окремих ділянках включена до продуктивних відкладів [5].

Кора вивітрювання характеризується вертикальною зональністю, яка налічує три зони (знизу–догори): перша – дезінтеграції і вилугування, друга – початкового гідролізу (гідрослюдисто-каолінітова, гідрослюдисто-монтморилоніт-каолінітова), третя – кінцевого гідролізу та окиснення продуктів вивітрювання (каолінітова) Речовинний склад і рудоносність елювію визначаються петрографічним складом і рудоносністю кристалічних порід фундаменту, завдяки гіпергенному розкладу яких вона утворилася [3–5].

На жаль, більшість свердловин у межах Ємилівської ділянки не розкрили кору вивітрювання на повну її товщину. Глибина залягання елювію розкритого свердловинами

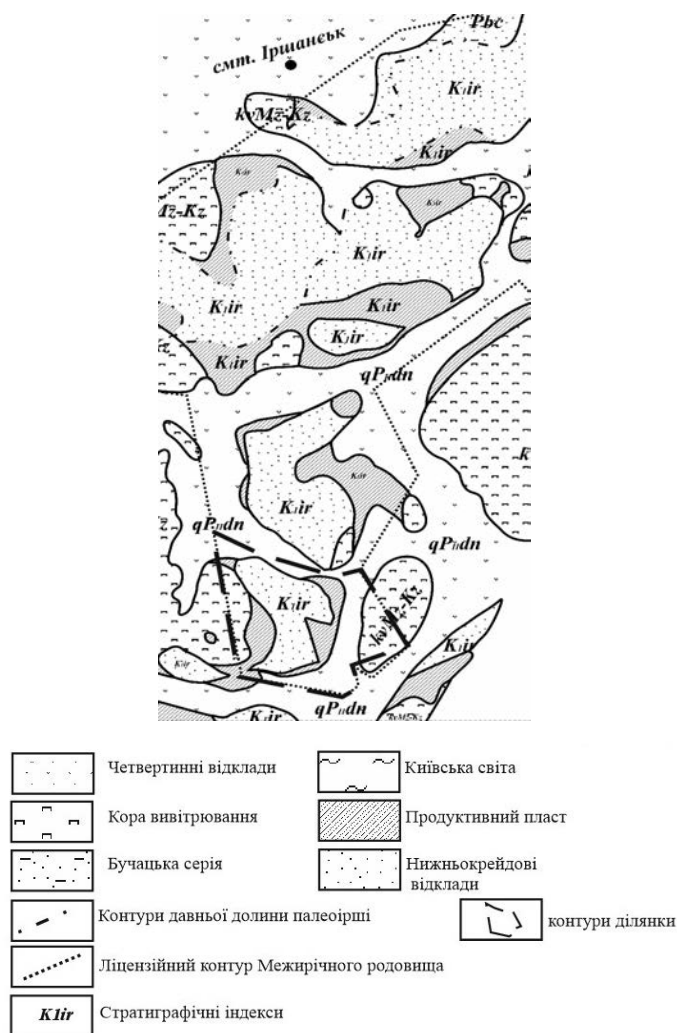


Рис. 2. Фрагмент схеми геологічної будови Межирічного родовища з контурами Ємилівської ділянки. (Побудовано за Т. Нестеренко, 2018)

3,0–22,5 м. Рудоносність елювію в межах Ємилівської ділянки оцінено лише до глибини 7,0 м (найбільша глибина опробування). Просторове поширення верхньої межі рудного тіла в корі вивітрювання – це підшова континентальних й узбережно-морських відкладів крейдової системи для яких елювій є плотиком. Рудні тіла пластової морфології залягають горизонтально, субгоризонтально. Рудне тіло складене каолінітом, монтморилонітом, гідрослюдами. Середній вміст ільменіту – 3,2–446,3 кг/м³ (середнє 41,33 кг/м³). Латеральний розподіл товщини опробування і середнього вмісту ільменіту представлено на рис. 4. Латеральний розподіл ільменіту в корі вивітрювання більш-менш рівномірний з окремими ділянками підвищеного його вмісту. Кореляційний зв'язок між середнім умістом ільменіту та товщиною опробування за латераллю обернений дуже слабкий (–0,16).

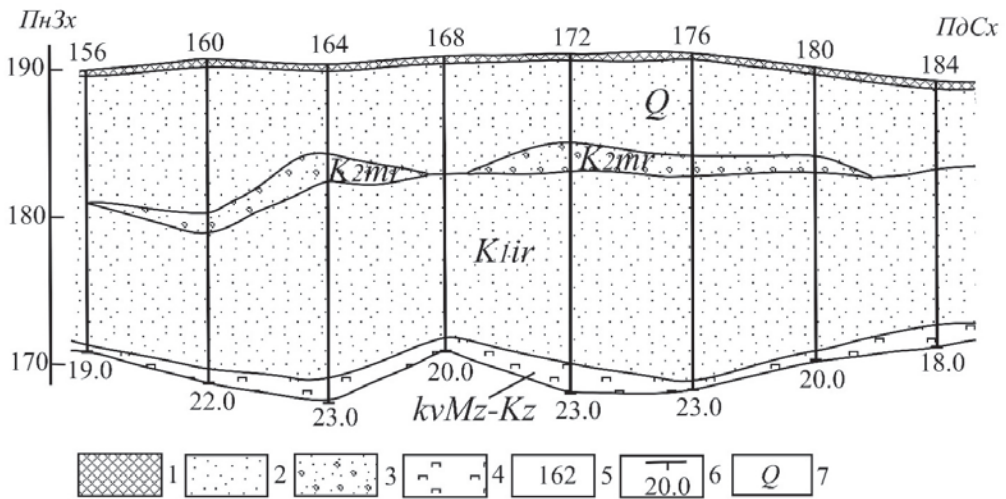


Рис. 3. Фрагмент геологічного розрізу Ємилівської ділянки (побудовано за даними Т. Нестеренко, 2018).

1 – ґрунтово-рослинний шар; 2 – пісок; 3 – піщано-кременеві породи; 4 – кора вивітрювання;
5 – номер свердловини; 6 – глибина свердловини; 7 – вік порід

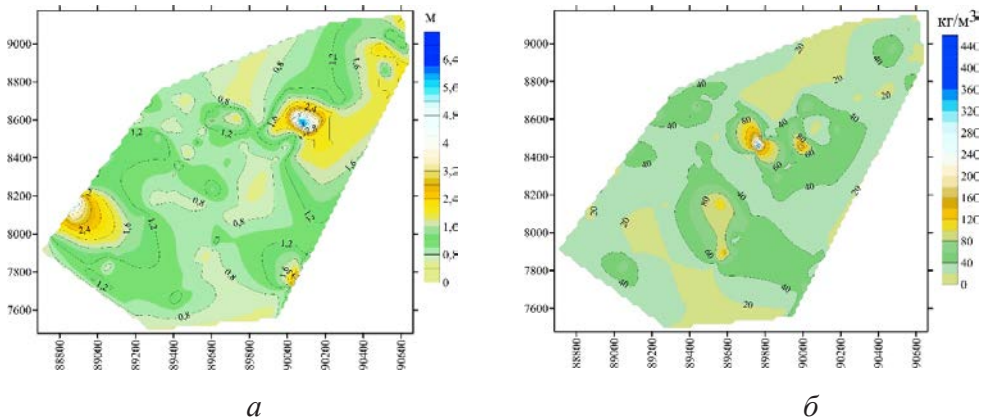


Рис. 4. Ізопахіти товщини (а) опробування елювіальних каолінів та латеральний розподіл у них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (б)

Відклади Іршанської світи (апт-нижній альб) виповнюють давню поховану долину в корі вивітрювання й представлені континентальними утвореннями алювіального, алювіально-делювіального генезису. Основна річкова палеодолина простягається від с. Крапивенка на схід, північний схід, майже повністю успадкована сучасним руслом р. Ірші. В основну долину вриваються два її притоки – один із північного заходу (успадкований у теперішній час р. Лемнею), другий – із південного заходу. Межі поширення апт-нижньоальбських відкладів обмежені бортами палеодолин. Борта палеодолин пологі й плавно переходять у вододіл. Як правило, алювіальні відклади плавно переходять у делювіально-алювіальні, які

поширені в бортових частинах палеодолини. У межах Ємилівської ділянки представлено лише незначний фрагмент палеодолини розміром 1200x2500 м. Вік утворень визначений на основі залягання їх під фауністично схарактеризованим піщано-кремневими відкладами туронського ярусу, а також на основі визначених спорово-пилкових комплексів, характерних для утворень аптського й альбського ярусів нижньої крейди. У літологічному плані це піски різнозернисті каоліністі, гравійно-галькові піщанисті каоліни, перевідкладені каоліни. Глибина залягання пісків 7,0–22,5 м; гравійно-галькових піщанистих каолінів – 7–11 м; перевідкладених каолінів – 6–8 м; товщина пісків – до 21,0 м; гравійно-галькових піщанистих каолінів – до 4,0 м; перевідкладених каолінів – до 3,0 м. У континентальних відкладах нижньої крейди діагностовано понад 50 мінералів, більшість з яких трапляються в поодиноких зернах або в незначній кількості. Найпоширенішими є кварц, каолінит, польовий шпат, ільменіт, лейкоксен, шпінель, магнетит, сфен, рутил, анатаз, циркон, топаз, пірит, марказит, апатит, кіаніт, андалузит, силіманіт, ставроліт, гранат (альмандин), турмалін, сидерит та ін. [4]. Супутні ільменіту рудні мінерали представлені лейкоксом, рутилом, цирконом, сидеритом. Уміст сидериту в пробах від знаків до 0,1 мас. %. Супутніми корисними компонентами в ільменіті є Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , V_2O_5 .

Перевідкладені каоліни утворені в результаті розмиву та перевідкладення матеріалу кори вивітрювання кристалічних порід. Залягають перевідкладені каоліни переважно в підшві континентальної товщі суцільним шаром або у вигляді лінз та лінзоподібних прошарків. Товщина перевідкладених каолінів 0,0–3,0 м (середнє 0,6 м). Перевідкладені каоліни часто містять великозернистий кварцовий пісок та гравій із незначною кількістю дрібної гальки й характеризуються відсутністю ознак сортування уламкової фракції. Як правило, вони містять підвищені концентрації ільменіту від 24,0 кг/м³ до 101,0 кг/м³ (середнє 34,8 кг/м³). Перевідкладені каоліни із незначним умістом дрібнозернистого піску не містять промислових концентрацій ільменіту.

Через те що перевідкладені каоліни мають спорадичне поширення серед континентальних відкладів іршанської світи та незначну товщину, нами досліджено рудоносність піщаних утворень.

Піщані утворення значно переважають у складі іршанської світи. Гранулометричний склад пісків невитриманий. Як правило, крупнозернисті піски залягають у базальній частині та вверху за розрізом змінюються дрібносередньозернистими. Іноді наявний інший тип послідовності. Ступінь сортування пісків поганий, часто відсутній. Шаруватість неявно виражена або відсутня, іноді наявна коса шаруватість. Абсолютні відмітки залягання підшви пісків 168,78–189,90 м (перепад висот 21,12 м), покрівлі – 183,9–192,8 м (перепад висот 8,9 м). Товщина піщаних утворень 1,3–21,0 м (середнє 11,99 м). Найбагатші розсипи пов'язані з різнозернистими пісками. Найбільша кількість (понад 80 %) ільменіту міститься в класі –0,5+0,1 мм. Уміст TiO_2 в ільменіті 55–57 %; відношення $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ – 1,3–2,4. Середній уміст ільменіту 2,5–192,1 кг/м³ (середнє 39,77 кг/м³), максимальний – 666,66 кг/м³.

Морфологія аловіальних та делювіальних розсипів – це горизонтальні та субгоризонтальні пласти, лінзоподібні тіла, а також кишені в нерівностях плотики. Рудне тіло представлено одним або декількома пластами. Найбільші підняття рельєфу підшви й покрівлі відкладів притаманні північно-східній частині ділянки (рис. 5, а, б). Цій частині ділянки притаманні найменша товщина відкладів та середній вміст ільменіту (див. рис. 5, в, г). Кореляційним аналізом у пісках іршанської світи встановлено такі напрями й сила кореляційних зв'язків за латераллю: між рельєфом покрівлі та підшви відкладів – прямий дуже слабкий (+ 0,14); між рельєфом підшви відкладів та їх товщиною – обернений сильний (– 0,86); між рельєфом підшви відкладів і середнім умістом у них ільменіту – обернений помірний (– 0,41); між товщиною відкладів і середнім умістом у них ільменіту – прямий помірний (+ 0,44).

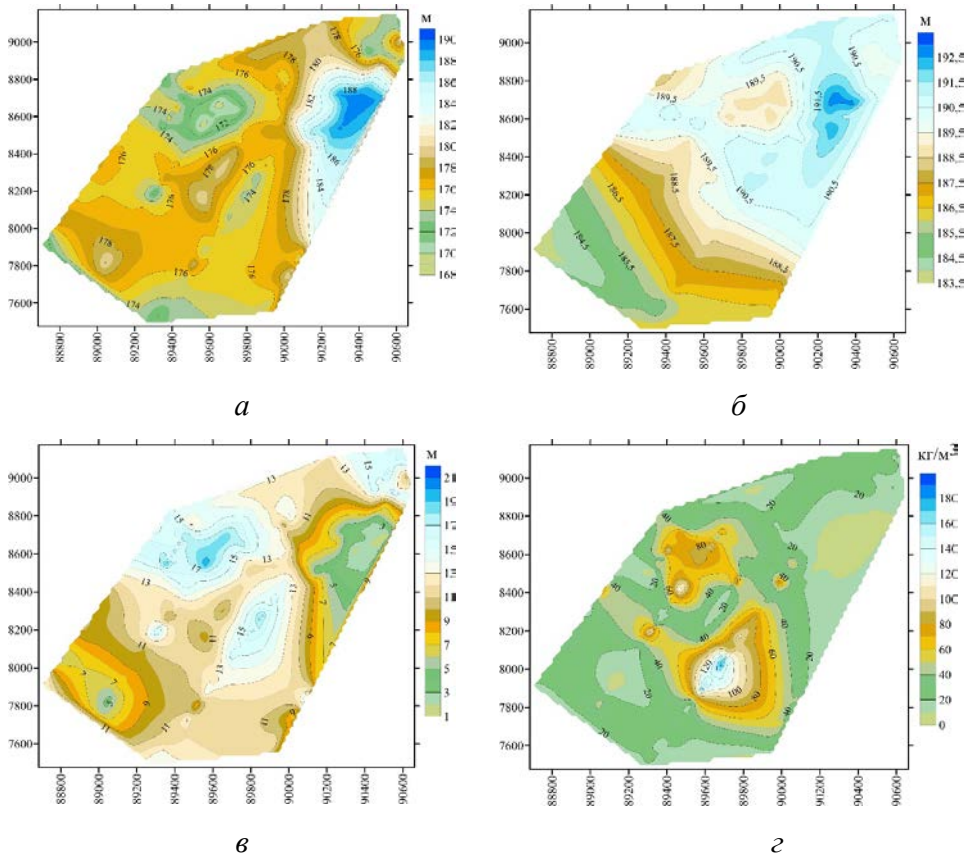


Рис. 5. Ізогінси підшови (а), поверхні (б), ізопахіти товщини (в) піщаних відкладів іршанської світи та латеральний розподіл у них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (г)

Зважаючи на те що піщані відклади переважно залягають на розмитій корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту, нами досліджено напрям і силу кореляційних зв'язків між певними параметрами елювію та піщаних утворень іршанської світи. Зокрема, за латераллю встановлено такі кореляційні зв'язки: між рельєфом покрівлі елювію і рельєфом підшови піщаних відкладів – прямий сильний (+ 0,97); між середнім вмістом ільменіту в цих утвореннях – прямий помірний (+ 0,32).

Узбережно-морські відклади мошно-руднянської світи спорадично трансг्रेसивно залягають на розмитій поверхні нижньокрейдових відкладів апт-нижньоальбського ярусів, плащоподібно перекриваючи їх. Поширені відклади в північно-східній частині ділянки (рис. 6).

Узбережно-морські відклади представлені піщано-кременевими утвореннями з окремими прошарками й лінзами пісковиків із кременевим цементом та скременелих вапняків. Кремені представлені жовнами різної форми і розмірів (від 2–5 см до 1,0 м).

Абсолютні відмітки залягання підшови мошно-руднянської світи 168,3–191,2 м (перепад висот 22,9 м), покрівлі – 173,3–193,4 м (перепад висот 20,1 м). Товщина узбережно-морських відкладів 1,0–8,0 м (середнє 2,44 м). Середній вміст ільменіту 2,0–54,6 кг/м³ (середнє 12,44 кг/м³). Рельєф покрівлі відкладів маже повністю повторює рельєф їх

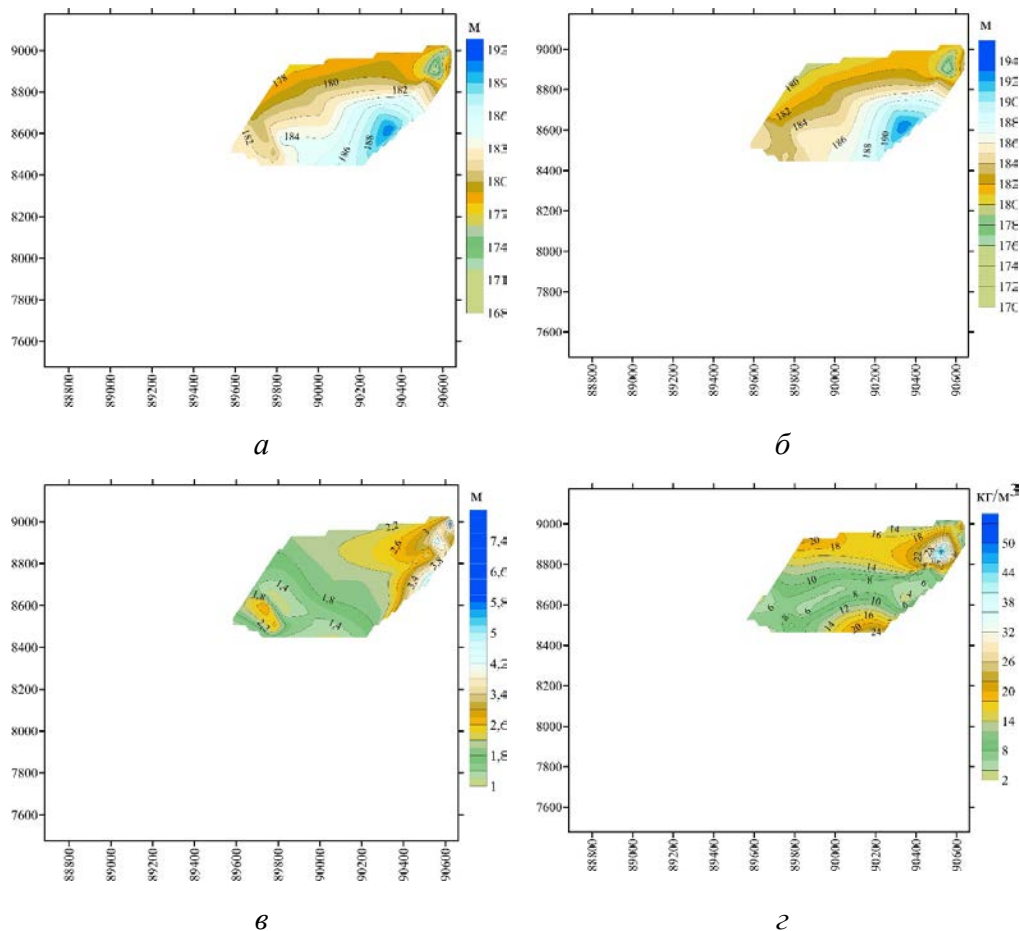


Рис. 6. Ізогінси підшови (*a*), поверхні (*б*), ізопахіти товщини (*в*) піщано-кремєневих відкладів мошно-руднянської світи та латеральний розподіл у них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (*з*)

підшови (див. рис. 6, *a*, *б*). Найбільша товщина відкладів та найбільший середній уміст ільменіту притаманні північно-східній частині ореолу їх поширення (див. рис. 6, *в*, *г*).

Кореляційним аналізом в узбережно-морських піщано-кремєневих відкладах мошно-руднянської світи за латераллю встановлено такі напрями і сила кореляційних зв'язків: між рельєфом підшови і покрівлі – прямий сильний (+0,94); між рельєфом підшови відкладів і їх товщиною – обернений середній (–0,60); між рельєфом підшови відкладів і середнім умістом у них ільменіту – обернений помірний (–0,43); між товщиною відкладів і середнім умістом у них ільменіту – прямий помірний (+0,37).

Зважаючи на те що відклади мошно-руднянської світи залягають з розмивом на піщаних утвореннях іршанської світи, нами досліджено напрям і силу кореляційних зв'язків між певними параметрами цих відкладів. Зокрема, за латераллю встановлено такі кореляційні зв'язки: між рельєфом покрівлі піщаних утворень іршанської світи і рельєфом підшови піщано-кремєневих відкладів мошно-руднянської світи – прямий помірний (+0,30); між середнім вмістом ільменіту в цих утвореннях – обернений помірний (–0,30); між товщиною цих відкладів – обернений помірний (–0,31).

Продуктивні відклади Ємилівської ділянки представлені утвореннями іршанської світи. Абсолютні відмітки залягання підосви продуктивних відкладів 168,3–182,87 м (перепад висот 14,57 м), покрівлі – 173,3–188,78 (перепад висот 15,48 м). Товщина продуктивних відкладів 1,5–14,0 м (середнє 6,02 м). Середній вміст ільменіту 10,9–272,21 кг/м³ (середнє 66,8 кг/м³). Розмір зерен ільменіту коливається в широкому діапазоні. Серед гранулометричних класів переважає фракція 0,2–0,56 мм. Загалом середній розмір зерен ільменіту в продуктивних відкладах 0,3–0,56 мм. За даними Т. Нестеренко, хімічний склад ільменіту з продуктивних відкладів такий (%): TiO₂ – 53,2–56,92; FeO – 22,68–26,83; Fe₂O₃ – 14,77–16,71; P₂O₅ – 0,084–0,09; Cr₂O₃ – 0,027–0,029; V₂O₅ – 0,21–0,22; MnO – 0,5–0,53. Відношення FeO/Fe₂O₃ дорівнює 1,35–2,91.

Результати картографічного дослідження рельєфу підосви, поверхні, товщини продуктивних відкладів та латерального поширення в них середнього вмісту ільменіту представлено на рис. 7.

Найбільші товщини відкладів тяжіють до північно-західної частини ділянки та утворюють незначні ореоли в інших її частинах (див. рис. 7, в). Ореоли поширення підвищеного середнього вмісту ільменіту лише частково збігаються з ореолами поширення підвищеної товщини (див. рис. 7, в, з).

Кореляційним аналізом у продуктивних відкладах за латераллю встановлено такі напрями і сила кореляційних зв'язків: між рельєфом підосви і покрівлі – прямий помірний (+0,47); між рельєфом підосви відкладів і їхньою товщиною – обернений середній (–0,52); між рельєфом підосви відкладів і середнім вмістом у них ільменіту – обернений слабкий (–0,26); між товщиною відкладів і середнім вмістом у них ільменіту – прямий помірний (+0,32).

Зважаючи на те, що продуктивні відклади представлені частиною пісків апту-нижнього альбу, нами досліджено напрям і силу кореляційних зв'язків між рельєфом підосви, покрівлі, товщиною і середнім вмістом пісків та продуктивних відкладів.

Зокрема, за латераллю встановлено такі кореляційні зв'язки: між рельєфом покрівлі піщаних і продуктивних утворень іршанської світи – прямий сильний (+0,94); між рельєфом покрівлі цих утворень – прямий слабкий (+0,23); між товщиною цих утворень – прямий середній (+0,56); між середнім вмістом ільменіту в цих відкладах – прямий сильний (+0,94).

Породи розкриву представлені дрібнозернистими пісками, рідше – супісками, суглинками та різнозернистими пісками. Абсолютні відмітки залягання підосви порід розкриву 173,3–188,78 м (перепад висот 15,48 м), покрівлі – 184,0–191,58 м (перепад висот 7,58 м). Товщина порід розкриву 1,5–16,5 м (середнє 7,94 м). Середній вміст ільменіту 1,1–14,32 кг/м³ (середнє 5,76 кг/м³). Результати картографічного дослідження рельєфу підосви, поверхні, товщини порід розкриву та латерального поширення в них середнього вмісту ільменіту представлено на рис. 8. Для ділянки характерний нерівномірний розподіл товщини порід розкриву. Найбільша товщина утворень притаманна центрально-західній і північно-східній частинам ділянки (див. рис. 8, в). Ореоли поширення найбільшого середнього вмісту ільменіту розташовані в північно-східній частині ділянки, а також утворюють декілька розрізних ореолів, які просторово тяжіють до центральної частини ділянки.

Кореляційним аналізом у породах розкриву за латераллю встановлено такі напрями і сила кореляційних зв'язків: між рельєфом підосви і покрівлі – прямий слабкий (+0,22); між рельєфом підосви відкладів і їх товщиною – обернений сильний (–0,86); між рельєфом підосви відкладів і середнім вмістом у них ільменіту – обернений слабкий (–0,29); між товщиною відкладів і середнім вмістом у них ільменіту – прямий помірний (+0,35).

За латераллю між товщиною продуктивних відкладів і товщиною порід розкриву наявний обернений помірний (– 0,36) кореляційний зв'язок, а між середнім вмістом

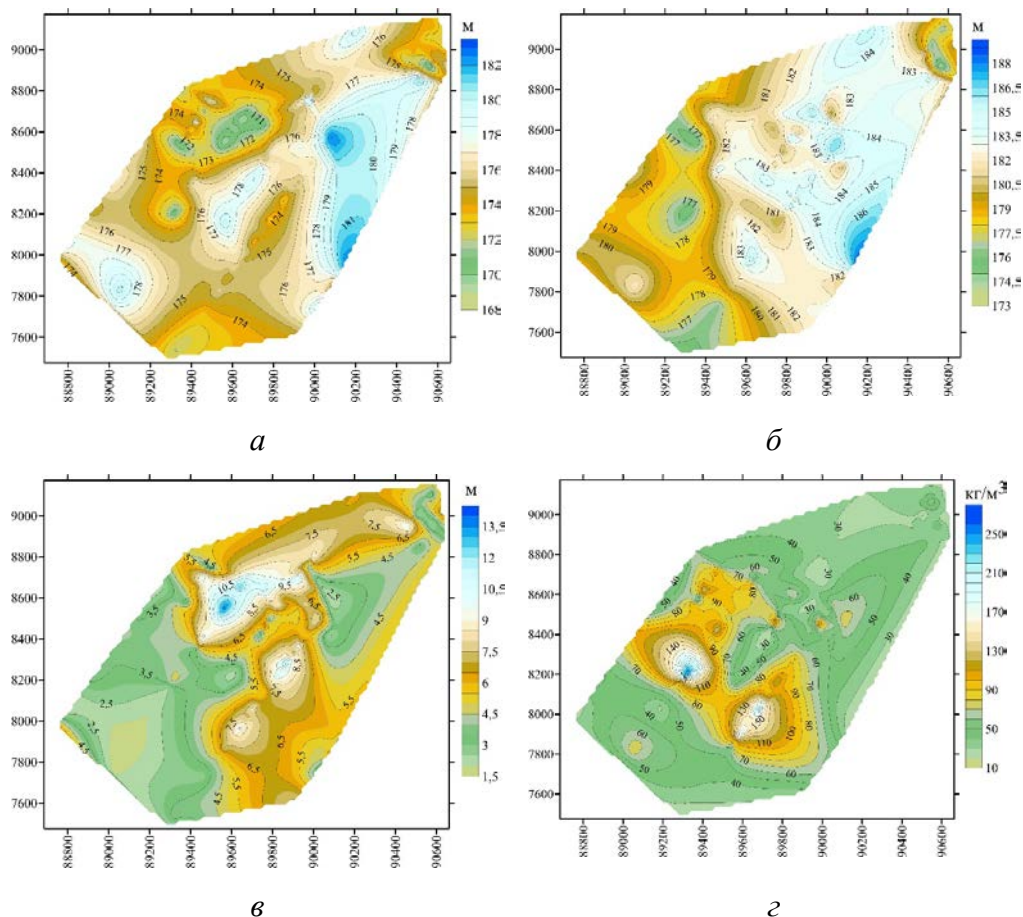


Рис. 7. Ізогіпси підшови (а), поверхні (б), ізопахіти товщини (в) продуктивних відкладів та латеральний розподіл у них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (г)

ільменіту в цих утвореннях – обернений дуже слабкий ($-0,19$); між рельєфом покрівлі відкладів – прямий слабкий ($+0,22$).

Дослідження зміни вмісту ільменіту в корі вивітрювання (верхня частина каолінітової зони), апт-нижньоальбських континентальних і туронських узбережно-морських відкладах у вертикальному перетині свердловин представлено на (рис. 9).

У корі вивітрювання вміст ільменіту в більшості досліджених розрізів зростає до її покрівлі; у перевідкладених каолінах – найбільший уміст ільменіту приурочений до підшови пласта й поступово зменшується до його покрівлі; у піщаних відкладах іршанської світи ільменіт розподілений нерівномірно та утворює від двох до п'яти рівнів збільшення його вмісту; у піщано-кременевих відкладах мошно-руднянської світи вміст ільменіту, як правило, поступово зменшується в напрямку від підшови до покрівлі (див. рис. 9).

Висновки та перспективи подальшого дослідження. За результатами аналізу й узагальнення раніше виконаних робіт у межах Ємилівської ділянки укладено цільову базу даних, на основі якої здійснено картографічні побудови. Останні дали змогу дослідити

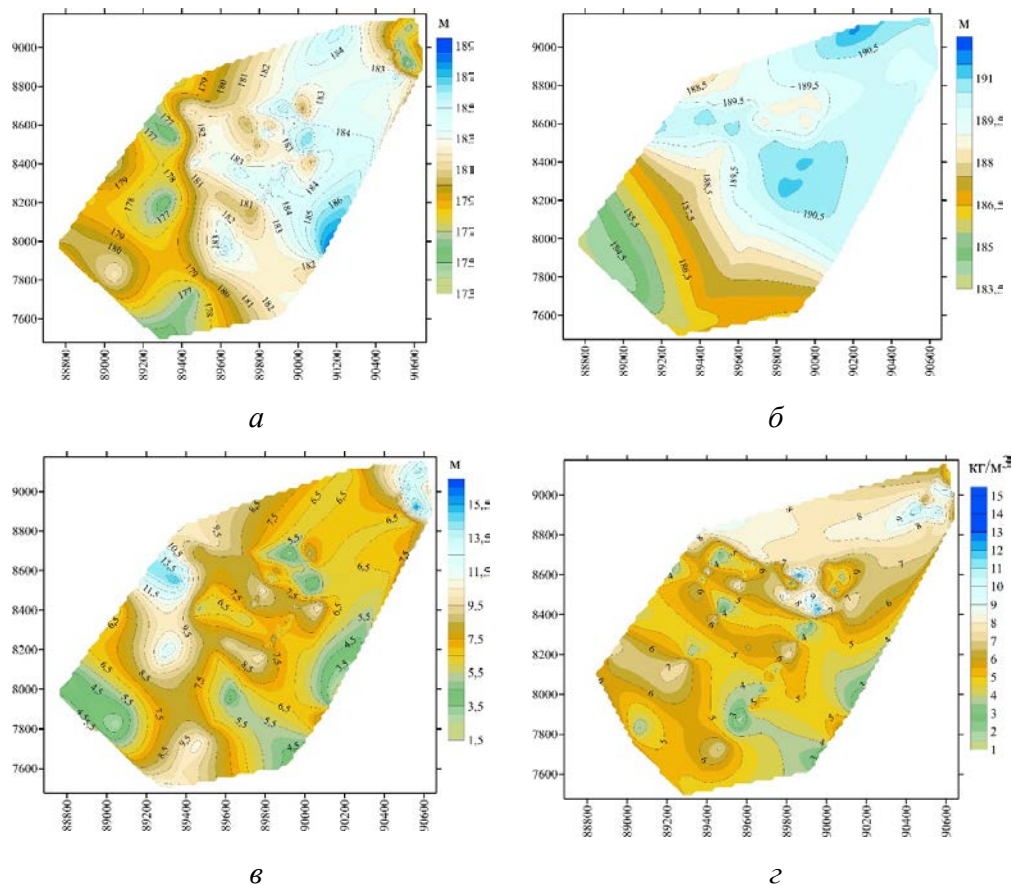


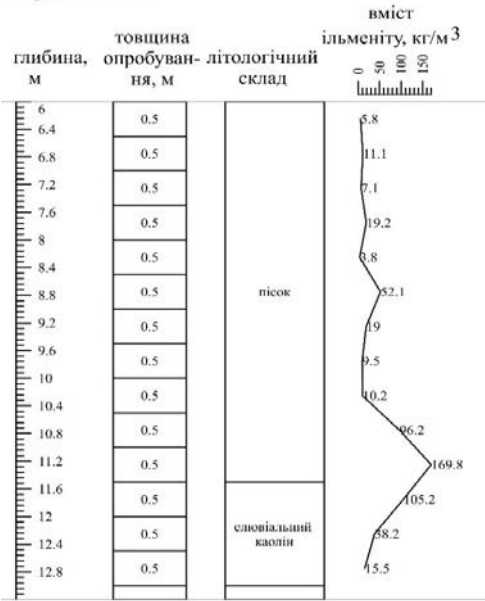
Рис. 8. Ізогіпси підшови (а), поверхні (б), ізопахіти товщини (в) порід розкрити та латеральний розподіл у них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (г)

характер рельєфу підшови, поверхні рудовмісних відкладів; латеральну зміну їх товщини; розподіл середнього вмісту ільменіту за латераллю і його вмісту у вертикальному перетині в різних за віком, генезисом утвореннях мезозой-кайнозою.

Рудоносність Ємилівської ділянки представлена просторово суміщеною рудною системою, яка складена титановмісними породами кристалічного фундаменту, їхніми кораами вивітрювання, континентальними (апт-нижній альб) відкладами, що утворилися внаслідок розмиву і перевідкладення елювію (іршанська світа), узбережно-морськими (турон) піщано-кремневими відкладами (мошно-руднянська світа), які утворилися внаслідок часткового розмиву і перевідкладення континентальних відкладів апту-нижнього альбу.

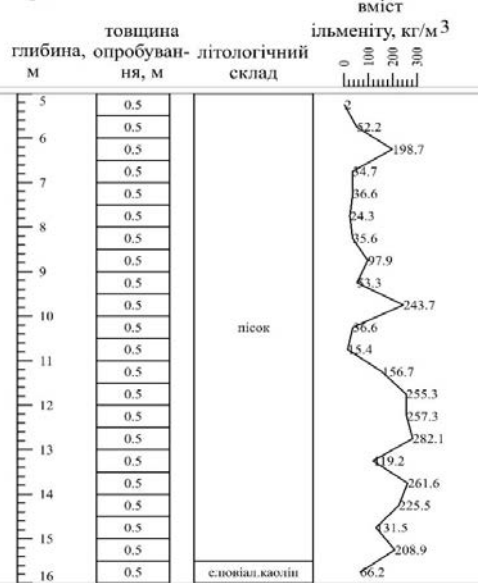
Зважаючи на те що свердловинами розкрита лише верхня частина каолінітової зони кори вивітрювання, рудоносний потенціал елювію з'ясований не повністю. Враховуючи значний уміст ільменіту (до 446,3 кг/м³) в дослідженій частині кори вивітрювання та факт того що на інших ділянках Межирічного родовища елювіальні утворення включені до продуктивних відкладів, вважаємо за доцільне дослідити рудоносність кори вивітрювання на повну її товщину. Це дасть змогу оцінити ресурсний потенціал елювіальних утворень, суттєво збільшити ресурси титанової сировини в межах Ємилівської ділянки.

свердл. 666-8304



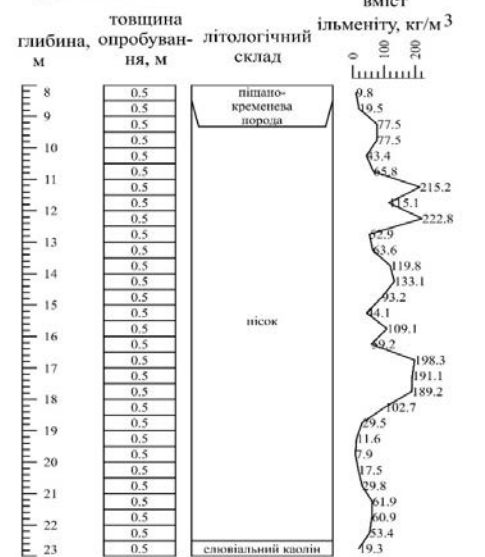
a

свердл. 192-8332



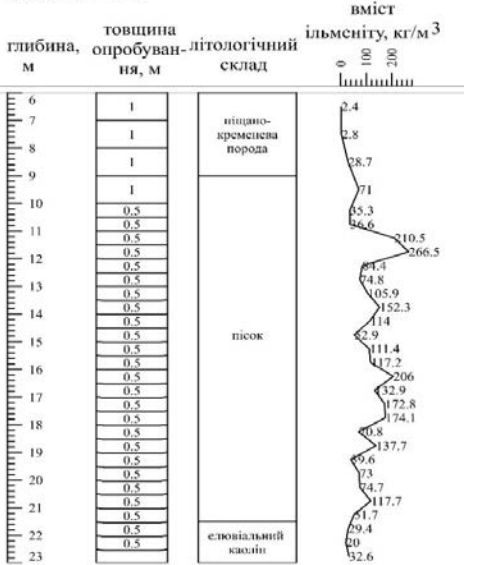
б

свердл. 176-8328



в

свердл. 164-8326



г

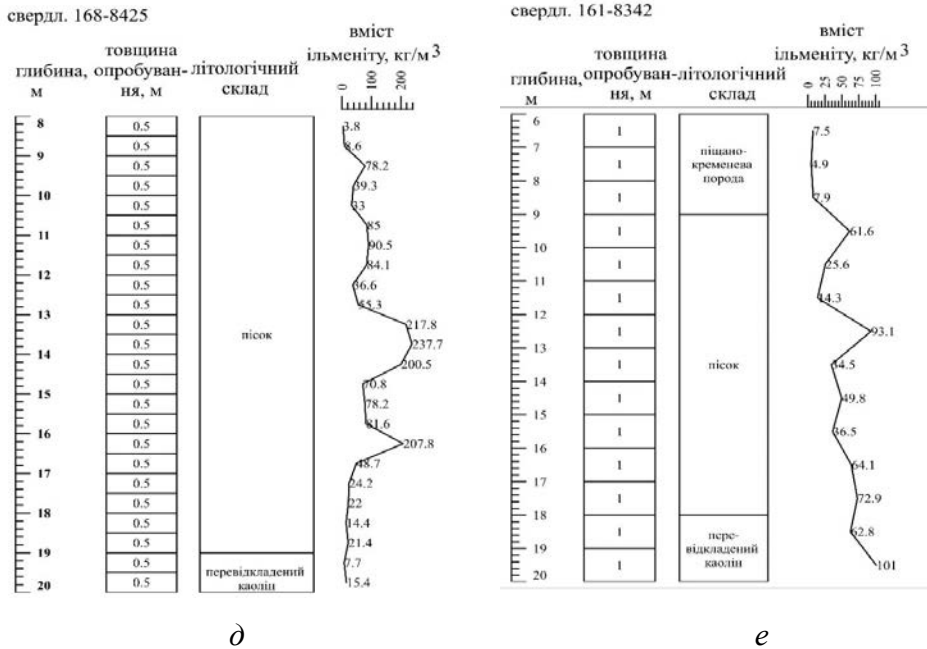


Рис. 9. Колонки розподілу вмісту (кг/м³) ільменіту у вертикальному перетині свердловин: а – № 666–8304; б – № 192–8332; в – № 176–8328; г – № 164–8326; д – № 168–8425; е – № 161–8342

Продуктивними є нижньокрейдові піщані утворення іршанської світи (апт-нижній альб). Продуктивні відклади іршанської світи виповнюють давню ерозійно-тектонічну палеодолину. Ільменітоносна кора вивітрювання кристалічних порід фундаменту слугувала плотиком та джерелом ільменіту для алювіальних (частково алювіально-делювіальних, делювіальних) нижньокрейдових відкладів іршанської світи. Ільменіт продуктивних відкладів високої якості. Вміст TiO_2 в ільменіті 53,2–56,9 %; відношення $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ – 1,35–2,91. Середній розмір зерен ільменіту 0,3–0,5 мм. Максимальний уміст ільменіту 666,6 кг/м³; середній – 10,9–272,21 кг/м³. Товщина продуктивних відкладів 1,5–16,5 м. У розрізах присутня значна перевага пісків над перевідкладеними каолінами з поступовими переходами через каоліністі та піщаністі відміни.

Піщано-кремєневі відклади мошно-руднянської світи через фрагментарне незначне поширення і незначний уміст ільменіту не становлять практичного інтересу. Породи розкриву також характеризуються незначним умістом ільменіту.

З'ясовано, що в усіх досліджених відкладах наявний прямий різної сили кореляційний зв'язок між рельєфом підосви і покрівлі та між товщиною відкладів і середнім вмістом у них ільменіту. Обернений різної сили кореляційний зв'язок наявний у всіх відкладах між рельєфом підосви відкладів і їх товщиною та між рельєфом підосви відкладів і середнім умістом у них ільменіту.

Вміст ільменіту у відкладах, що утворилися внаслідок розмиву і перевідкладення елювію, подеколи в декілька разів вищий, ніж у корі вивітрювання. Як правило, значний уміст ільменіту у відкладах не визначений підвищеним умістом мінералу в породах, що їх підстеляють.

Збагачення ільменітом кори вивітрювання є віддзеркаленням його розподілу і вмісту в материнських породах кристалічного фундаменту, натомість вертикальний і латеральний розподіл ільменіту у відкладах апту-нижнього альбу здебільшого визначений фаціальними умовами їх нагромадження та літологічним складом відкладів і, меншою мірою, наявністю ділянок збагачення в елювіальній товщі. Уміст ільменіту у відкладах мошно-руднянської світи турону зумовлений переважно рудоносністю відкладів іршанської світи, а його просторовий розподіл – фаціальними умовами розсипоутворення.

Отримані результати вказують на складний взаємозв'язок між різновіковими й різногенетичними рудоносними утвореннями. Ділянки збагачення ільменітом у різновікових та різногенетичних відкладах просторово не збігаються.

Результати досліджень рудоносності Ємилівської ділянки є інформаційною базою для загальної характеристики рудоносності Межирічного родовища титанових руд, з'ясування подібних і відмінних рис у геологічній будові та рудоносності різних ділянок родовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гурський Д. С., Єсипчук К. Ю., Калінін В. І. та ін. *Металічні і неметалічні корисні копалини України. Металічні корисні копалини*. Київ – Львів : Центр Європи, 2005. Т. 1. 785 с.
2. Ковальчук М. С. Геолого-генетичні моделі рудоносних кір вивітрювання та продуктів їх розмиву і перевідкладення. *Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні*: Зб. тез наук. конф., присвяченої 50-річчю Ін-ту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка (14–16 трав. 2019 р., м. Київ). У 2-х т. Київ : НАН України, ІГМР ім. М. П. Семененка. 2019. Т. 2. С. 53–54.
3. Фігура Л. А., Ковальчук М. С. Рудоносність Осинової ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Геохімія та рудоутворення*. 2022. Вип. 43. С. 59–73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059>
4. Фігура Л. А., Ковальчук М. С. Геологічна будова та рудоносність Юрської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Мінералогічний журнал*. 2023. Вип. 45, № 4. С. 100–117. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100>
5. Фігура Л. А., Ковальчук М. С. Поліхронно-полігенна просторово-парагенетична ільменітоносність Букінської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, серія Геологія, географія, екологія*. 2023 (59) С. 55–71 <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-05>
6. Фігура Л. А., Ковальчук М. С. Рудоносність Юрської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання (до 160-річчя від дня народження В. І. Вернадського)*: Зб. матеріалів наук. конф. (Київ, 19–20 вересня 2023 р.) / НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка. Київ, 2023. С. 79–83.

REFERENCES

1. Hurskyi, D.S., Yesypchuk, K.Iu., Kalinin, V.I. et al. (2005). *Metalichni i nemetalichni korysni kopalyny Ukrainy, Metalichni korysni kopalyny [Metallic and non-metallic minerals of Ukraine Metallic minerals]*. Kyiv-Lviv: Center of Europe. Vol. 1. [in Ukrainian].
2. Kovalchuk, M.S. (2019). Heoloho-henetychni modeli rudonosnykh kir vyvitriuvannya ta produktiv yikh rozmyvu i perevidkladennia [Geological and genetic models of ore-bearing weathering crusts and their erosion and redeposition products]. *Zdobutky i perspektyvy rozvytku heolohichnoi nauky v Ukraini: Zb. tez nauk. konf., prysviachenoi 50-richchiu In-tu heokhimii, mineralohii ta rudoutvorennia im. M.P. Semenenska* (14–16 trav. 2019 r., m. Kyiv). U 2-kh t. Kyiv: NAN Ukrainy, IHMR im. M.P. Semenenska. 2. S. 53–54. [in Ukrainian].
3. Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2022). Rudonosnist Osynovoi dilianky Mezhyrichnoho rodovyscha tytanovykh rud [Ore-bearing of the Osynova area of the Mezhyrichne deposit of titanium ores]. *Heokhimii ta rudoutvorennia – Geochemistry and ore formation*. Vol.43. S. 59–73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059> [in Ukrainian].
4. Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2023). Heolohichna budova ta rudonosnist Yurskoi dilianky Mezhyrichnoho rodovyscha tytanovykh rud [Geological structure and ore-bearing of the Yurska

- area of the Mezhyrichny titanium ore deposit]. *Mineralohichnyi zhurnal. – Mineralogical Journal (Ukraine)*. Vol. 45, №4. S. 100–117. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100> [in Ukrainian].
5. Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2023). Polikhronno-polihenna prostorovo-parahenetychna ilmenitonosnist Bukinskoi dilianky Mezhyrichnoho rodovyssha tytanovykh rud [Polychronic-polygenic spatial-paragenetic ilmenite bearing of the Bukinska area of the Mezhyrichny deposit of titanium ores]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu im. V.N. Karazina, seriia Heolohiia, heohrafiia, ekolohiia – Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series Geology. Geography. Ecology*. Vol. 59. S. 55–71. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-05> [in Ukrainian].
 6. Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2023). Rudonosnist Yurskoi dilianky Mezhyrichnoho rodovyssha tytanovykh rud [Ore-bearing of the Yurska area of the Mezhyrichny titanium ore deposit]. *Problemy prykladnykh heolohichnykh nauk i shliakhy yikh podolannia (do 160-richchia vid dnia narodzhennia V.I. Vernadskoho): Zbirnyk materialiv naukovoï konferentsii (Kyiv, 19–20 veresnia 2023 r.) / NAN Ukrainy, In-t heokhimii, mineralohii ta rudoutvorennia im. M.P. Semenka*. Kyiv, S. 79–83. [in Ukrainian].

ORE CAPACITY OF THE EMYLIVSKA SECTION OF THE MEZHYRICHNY TITANIUM ORE DEPOSIT

Liubov Figura, Myron Kovalchuk

*Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, O. Gonchar Str., 55b,
Kyiv, Ukraine, 01601*

e-mail: liuba_figura@ukr.net, kms1964@ukr.net

Information is provided on the geological structure of the Emylivska section of the Mezhyrichny titanium ore deposit, in the geological structure of which crystalline basement rocks, their weathering crust and continental and marine sediments of different ages of the Mesozoic and Cenozoic are involved: Lower Cretaceous continental (Irshanska formation), Upper Cretaceous coastal-marine (Moshno-Rudnyanska formation), Paleogene (marine and continental), Quaternary continental sediments. The mineral of the Emylivska section is ilmenite. The results of the study of the spatial distribution of the ilmenite content in different-aged and different-genetic formations of the Emylivska section (weathering crust, Irshanska, Moshno-Rudnyanska formations, overburden rocks) are presented. The direction and strength of correlations between various parameters (relief of the sole, relief of the roof, thickness, average ilmenite content) of ilmenite-bearing formations of different ages and different genetics were investigated. It was found that common to all ilmenite-bearing formations is a direct correlation of varying strength between the relief of the sole and relief of the roof and between the thickness of the sediments and the average ilmenite content in them; an inverse correlation of varying strength is present in all formations between the relief of the sole of the deposits and their thickness and between the relief of the sole of the deposits and the average ilmenite content. The most enriched in ilmenite are the weathering crust of crystalline basement rocks and continental sediments of the Irshanska suite (Aptian–Lower Albanian). The weathering crust is exposed by wells to a depth of only 7 m. The Aptian–Lower Albanian deposits are productive, which fill the ancient erosion–tectonic paleovalley and were formed due to erosion and redeposition of eluvium. The productive deposits are represented by heterogeneous kaolinite sands, the ilmenite content of which reaches 666.66 kg/m³. The rocks of the Moshno–Rudnyanska suite of the Turonian have a fragmentary distribution and contain ilmenite in insignificant quantities. The ilmenite content in the overburden rocks is insignificant. Attention is focused on the need for a detailed study of the ore-bearing nature of the weathering crust within the Emylivska section.

Key words: Korosten pluton, Mezhyrichny deposit, ilmenite, Emylivska section, geological structure, ore bearing.

Дата надходження статті: 15.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД РУД СТЕБНИЦЬКОГО РОДОВИЩА КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ, ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ, ВІДХОДИ, ЇХ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

**Зенон Хевпа¹, Василь Дяків², Ігор Кицмур²,
Володимир Петришин^{2,3}**

¹ Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища
Національної академії наук, пр-т Академіка Палладіна, 34а, Київ, Україна, 03680
e-mail: zenonzxv@gmail.com

² Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4,
Львів, Україна, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com

³ Державна комісія України по запасах корисних копалин, вул. Генерала Алмазова, 18/7В,
Україна, Київ, 01133
e-mail: geology1982@ukr.net

Описано геологічну будову, мінеральний склад калійних руд Стебницького родовища, розчинність найпоширеніших мінералів, головні специфічні особливості вилучених з надр соляних порід, застосовані технології збагачення, хімічний склад залишку від збагачення та перспективи його використання. Установлено, що для руд Стебницького родовища притаманна неоднорідність мінерального складу, домінування переважно каїніт-лангбенітових руд, порівняно невисокий уміст у полімінеральних рудах калію (10–12 % у перерахунку на K₂O), обмежена, (погана) розчинність одного з головних калієвмісних мінералів (лангбеніту), досить значний уміст глинисто-мулисто-піскової фракції. Усі ці специфічні особливості суттєво ускладнювали застосовані технології збагачення.

Доведено, що схема реалізована на Стебницькому калійному комбінаті зі збагачення й переробки полімінеральних руд, на практиці виявилася недосконалою та вкрай неефективною, а саме з 1 тонни калійних руд, внаслідок флотаційного збагачення утворювалось 700–800 кг залишку, зокрема майже половина калію і магнію. При цьому в залишок потрапляли не тільки нерозчинний залишок глинисто-мулисто-піщаного складу, а й недорозчинені лангбеніт та полігаліт, а також галіт та ропа з високим умістом хлористого натрію і калійно-магнієвих солей. Фактично хлорид натрію в процесі збагачення потрапляв не тільки в залишок від збагачення, а й у значних кількостях потрапляв у готовий продукт «Каліймаг», що містив підвищений уміст галіту.

Тривале функціонування цієї технології призводило до утворення значних об'ємів залишку від збагачення, які призводили до пришивдшеного переповнення хвостосховища, що опосередковано стало причиною аварії та регіональної екологічної катастрофи внаслідок прориву його дамби 15 вересня 1983 р. та виливу в р. Дністер 4,5 млн м³ високонцентрованої ропи.

На підприємстві Стебницьке ГХП «Полімінерал» закладовані значні об'єми проміжних продуктів збагачення, у яких уміст калію та магнію вдвічі менший, ніж у первинних полімінеральних рудах, а також рідка фаза і твердий залишок від збагачення, які, з огляду на особливості застосованих методик збагачення, можуть бути використані для продукування протижелезних засобів, низькосортних калійно-магнієвих добрив та інших застосувань

Ключові слова: Стебницьке родовище калійних руд, геологічна будова, мінеральний склад, каїнт, лангбеніт, галіт, флотація, залишок від збагачення, хвостосховище, проблеми довкілля.

Вступ. На відміну від найбільших у світі родовищ калійних руд із переважно сільвінітовим мінеральним складом (Канада, росія, Білорусь), для Стебницького родовища калійних солей, як і для інших розвіданих покладів Передкарпатського прогину в Україні та Румунії, притаманні рудні тіла з переважанням таких калієвмісних мінералів, як каїніт, лангбейніт, полігаліт та низка інших, які отримали назву полімінеральних калійних руд сульфатного типу. Вони характеризуються дуже складним і своєрідним комплексом соляних мінералів і вельми великим умістом теригенних та глинистих мінералів (10–15 %, іноді до 25 %).

Стебницьке, як і Калуш-Голинське родовище, належить до найбільших за розвіданими запасами та розробляється вже понад 150 років. Тут розробляли, впроваджували, тривалий час застосовували найрізноманітніші способи збагачення, накопичені значні об'єми рідких та твердих відходів, проміжних продуктів збагачення, як мали й мають значний вплив на довкілля, несуть потенційну загрозу виникнення надзвичайних ситуацій регіонального та міжнародного масштабу.

Накопичені 100 років назад, калійні руди після розмелювання використовували як місцеві мінеральні калійно-магнієві добрива, а також після збагачення методом ручної рудорозборки як калійно-магнієві добрива з дещо підвищеним умістом корисних компонентів. Калійні руди цих родовищ характеризуються багатоманітністю і непостійністю мінерального складу, до якого входить понад 20 хлоридних, сульфатних і хлоридно-сульфатних мінералів. Вони відрізняються між собою не лише швидкістю розчинення і розчинністю, а й твердістю, густиною та іншими властивостями.

Глибоке збагачення та перероблення таких руд флотаційними технологіями передбачає їх подрібнення, розчинення у воді, флотаційну сепарацію від галітових відходів разом із лангбейнітовим концентратом, осадження та виведення з технологічного процесу глинисто-мулистого-піщаного матеріалу, кристалізацію калімагнезії та низку інших операцій.

Наскільки ефективною була така технологія збагачення, які в неї були недоліки, скільки утворювалося відходів та проміжних продуктів, чому переповнювалося хвостосховище та зазнало аварії, чому збагачувальна фабрика вона була виведена з експлуатації, яким був екологічний слід – визначають актуальність проведених досліджень.

Постановка проблеми. Яким є специфічні особливості мінерального складу, що зумовлює низький уміст оксиду калію, високий уміст хлориду натрію та теригенних мінералів, наявність магнію, сульфатів та мікроелементів. Наступним проблемним питанням є чинники ускладнення технології збагачення, значні втрати корисних компонентів при збагаченні й значні об'єми відходів. Основною проблемою є наявність значних об'ємів рідких та твердих відходів, а також проміжних продуктів, що мають значний вплив на довкілля та становлять потенційну загрозу для водних екосистем. Усі ці проблеми, комплексно розглянуті в цій роботі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цій проблемі присвячена низка публікацій П. М. Білоніжки, В. О. Дяківа, І. І. Кицмура, З. З. Хевпи [1–5]. У цих роботах розглянуто особливості мінерального складу, екологічні та геохімічні наслідки експлуатації хвостосховищ. В інших роботах В. О. Дяківа, І. І. Кицмура, З. З. Хевпи проведено ретроспективний аналіз аварії 1983 р. [4–5].

У працях В. О. Дяківа, А. М. Гайдіна, І. І. Зозулі, [6; 7] розглянуто теоретичні та прикладні аспекти функціонування хвостосховищ у районах розробки та збагачення калійних руд Передкарпаття.

У роботі [8] наведено дані розслідування причин екологічної катастрофи на Стебницькому хвостосховищі, що мала місце у вересні 1983 року, а публікації [8] доповнюють деякі аспекти цієї події.

У працях таких авторів, як Д. В. Гребенюк, Б. М. Яремчук, Л. М. Ерайзер, Л. В. Іванченко, Л. М. Кропивницька, В. М. Карпець, І. Ю. Костів, Т. В. Перекупко, О. М. Хацевич, В. Т. Яворський та ін. [9–16], висвітлено різні аспекти проблем збагачення калійних руд передкарпатських родовищ, як тих, що застосовували раніше, так і перспективних.

Водночас ми не натрапили на публікації, де висвітлено комплексні підходи аналізу мінерального, технологій збагачення, вирішення проблем промислових відходів – продуктів збагачення калійних руд.

Мета статті – проаналізувати мінеральний склад калійних руд та його змін, технологічних процесів збагачення, що застосовували в історичній ретроспективі, оцінка місць акумулювання продуктів, відходів та проміжних продуктів збагачення, окреслення шляхів вирішення проблем Стебницького ГХП «Полімінерал».

Методика досліджень – вивчення особливостей мінерального складу калійних руд, ретроспективний аналіз методів збагачення, польові дослідження рудних покладів та місць зберігання відходів, аналіз зібраних даних щодо аварійних ситуацій у межах Стебницького родовища калійних солей.

Виклад основного матеріалу. У межах Передкарпатського прогину, що простягається по території України смугою завдовжки 230 км і завширшки 25–60 км від Польщі до Румунії розвідано понад 15 родовищ калійних руд, з яких найбільшими є Стебницьке та Калуш-Голинське (рис. 1).

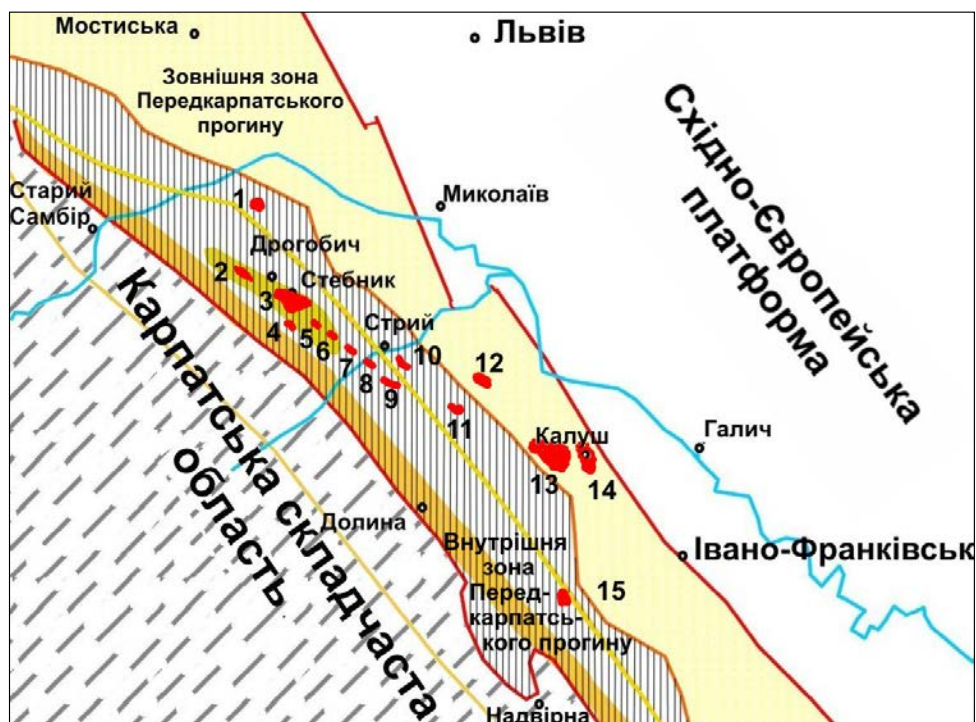


Рис. 1. Просторова локалізація родовищ калійних солей, розвіданих у межах Передкарпатського прогину: 1 – Велико-Білинське, 2 – Бориславське, 3 – Стебницьке, 4 – Помірецьке, 5 – Доброгостівське, 6 – Уличнянське, 7 – Довголуківське, 8 – Гірненське, 9 – Нинів-Смолянецьке, 10 – Моршин-Лисовицьке, 11 – Тростянецьке, 12 – Велико-Турське, 13–14 – Калуш-Голинське, 15 – Дзвиняч-Старунське

Саме ці родовища почали розробляти ще у XIX столітті. Стебницьке родовище розташоване в північно-східній частині Передкарпатського прогину в басейні р. Тисмениця в західній частині м. Стебника поблизу міст Трускавця та Дрогобича, розроблялося Стебницьким гірничо-хімічним підприємством «Полімінерал» рудниками № 1 та № 2, руди переробляли на збагачувальній фабриці, а відходи збагачення скидали пульпопроводом у хвостосховище (рис. 2).

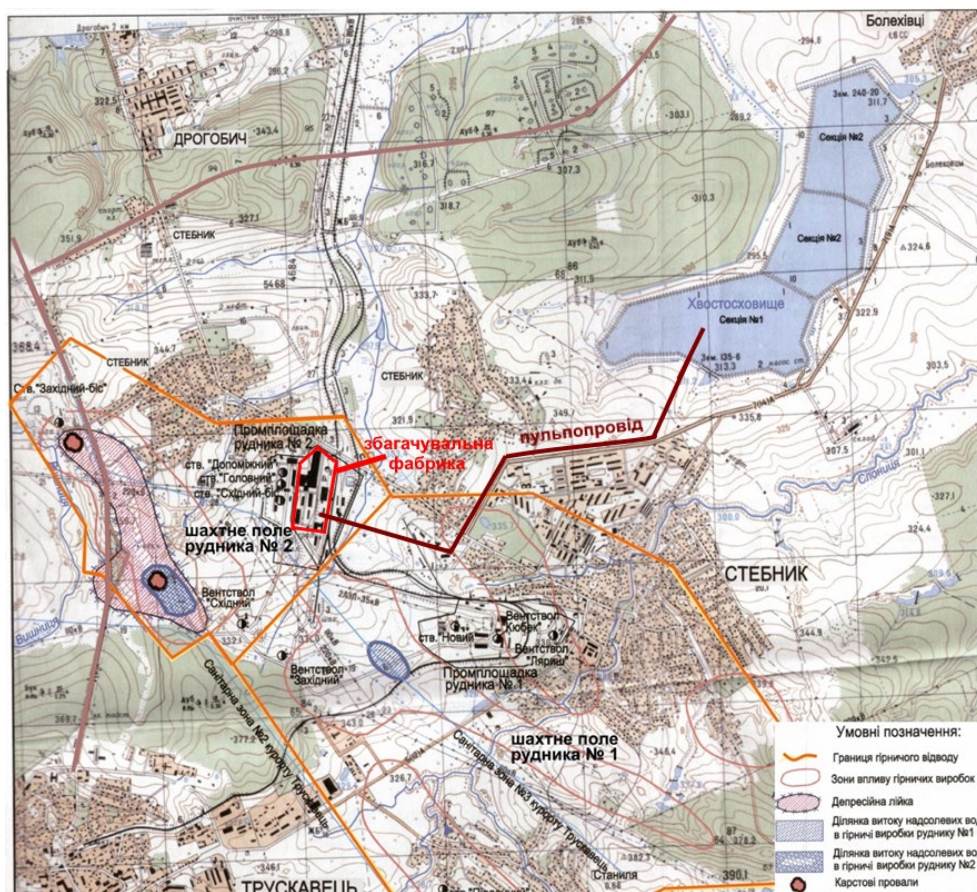


Рис. 2. Границі гірничих відводів, розташування проммайданчиків та стволів рудників № 1 та № 2, збагачувальної фабрики, пульпопроводу, хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал», ділянок водопритоків, депресійних лійок, карстових провалів, відносно житлової забудови населених пунктів

Поклади приурочені до верхньоворотинської світи в межах Бориславо-Покутської зони Передкарпатського прогину, яка представлена потужною (до 1000 м) засоленою піщано-глинистою брекчією вміщувальних порід, які мають місцеву назву зубер, з пластами і лінзами калійних солей. Поклади калійних солей зім'яті в складки з локальними тектонічними розривними порушеннями та локалізовані у пластах «Зігмунд», № 2, № 7, № 9 № 13, № 15, № 16 № 19 у межах рудника № 1 та пласти «Основний», № 10, № 11 та № 14 у межах затопленого рудника № 2 (рис. 3–5).

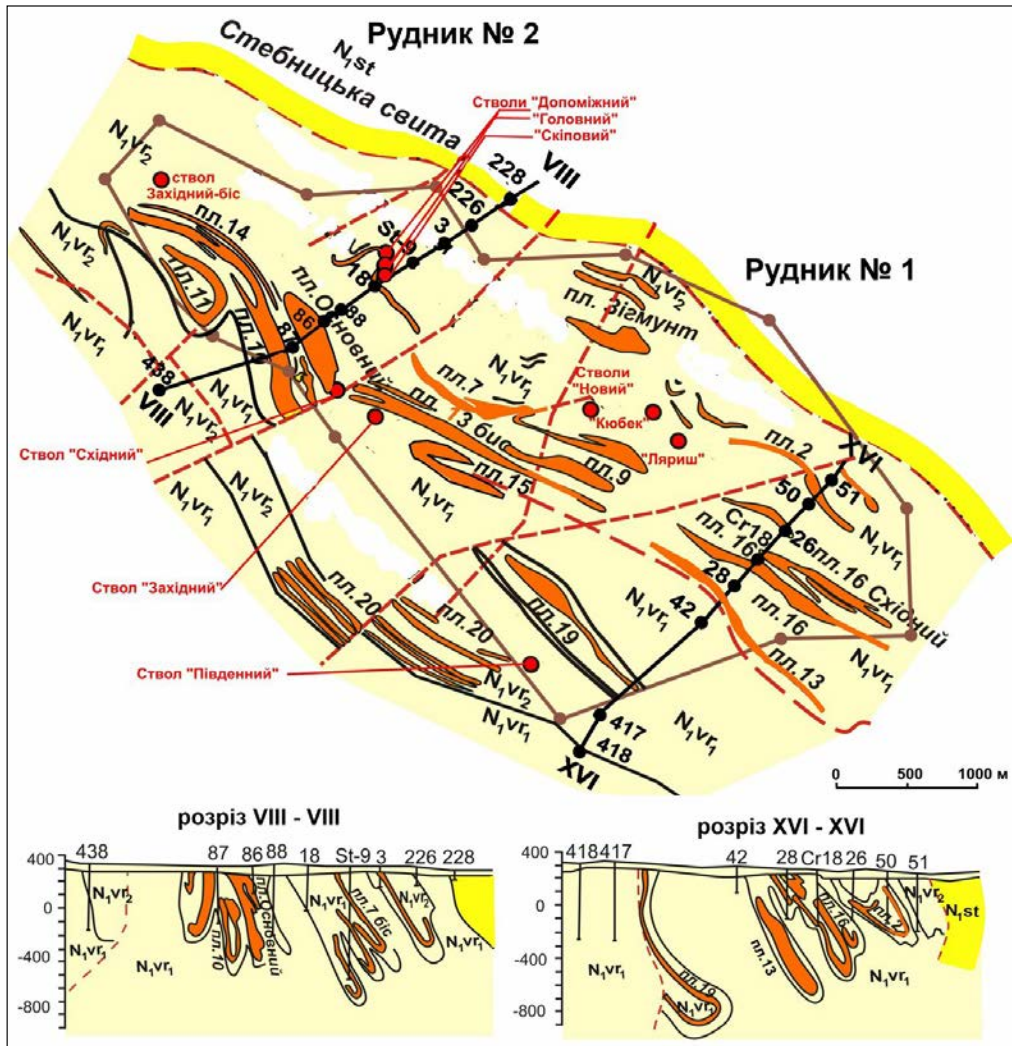


Рис. 3. Геологічна карта та розрізи Стебницького родовища калійних солей із просторовим розташуванням калійних пластів та стовбурів рудника № 1 (південно-східна частина) та рудника № 2 (північно-західна частина) – за даними Ю. Е. Кудрявцева, 1985 (фондові матеріали)

Майже по усій площі родовища верхньоворотинська свита перекрита елювіальними відкладами (безструктурними загіпсованими глинами) так званою гіпсово-глинистою шапкою (далі – ГГШ), яка утворилась унаслідок вилугування (розчинення) солей та накопичення гіпсу й глинистих мінералів над зубером та пластами калійних руд. Над калійними покладами та з глибиною вміст гіпсу зростає. Потужність ГГШ над соленосними відкладами досягає 75 м. Рельєф підшви ГГШ складний. Найвищі відмітки збігаються з покладами калійних руд. Гіпсово-глиниста шапка виконує важливу протекторну функцію – від проникнення прісних вод у соленосні відклади. Вище залягають теригенні четвертинні відклади представлені суглинками, піском та різною потужністю до 25 м.

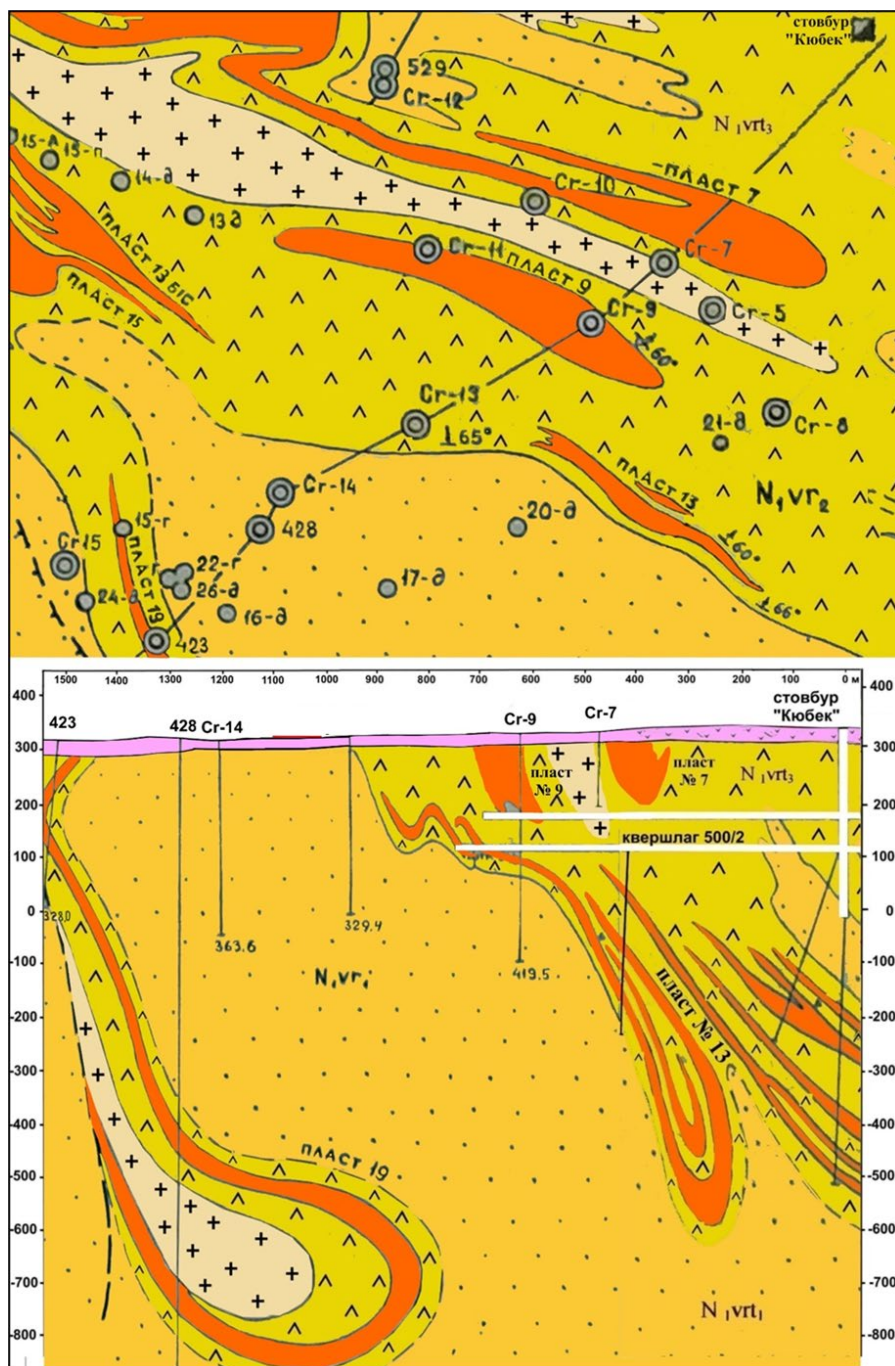


Рис. 4. Локалізація приповерхневих (№ 7 та № 9) та глибинних пластів (№ 13, № 15 та № 19) пластів на геологічній карті та розрізі південно-східної частини рудника № 1 Стебницького родовища калійних солей. Автор Ю.Е. Кудрявцев, 1985 (фондові матеріали)

За хімічним складом поклади калійних солей Стебницького родовища належать до солей сульфатного типу. Вони характеризуються дуже складним і своєрідним комплексом соляних мінералів і винятково великим умістом глинистого матеріалу (10–15 %, іноді до 25 %). Головними породами калійних солей є каїнітова, лангбейнітова, каїніт-лангбейнітова і полімінеральна. У них найбільше поширені каїніт – $KMg[Cl, SO_4] \cdot 3H_2O$ лангбейніт – $K_2Mg_2(SO_4)_3$, меншою мірою полігаліт – $K_2MgCa_2[SO_4] \cdot 2H_2O$, кізерит – $MgSO_4 \cdot H_2O$, сільвін, карналіт – $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$, шеніт – $K_2Mg[SO_4]_2 \cdot 6H_2O$, леоніт – $K_2Mg[SO_4] \cdot 4H_2O$, астраханіт $Na_2Mg[SO_4] \cdot 4H_2O$, ангідрит, рідко трапляються вантгофіт – $Na_6Mg[SO_4]_4$, левейт $Na_2Mg[SO_4]_2 \cdot 2,5H_2O$. Невід’ємною складовою частиною всіх калійвмісних соляних порід є галіт. У зонах гіпергенезу соляних відкладів утворюються гіпс, калушит (сингеніт) $K_2Ca[SO_4]_2 \cdot H_2O$, мірабіліт та ін.

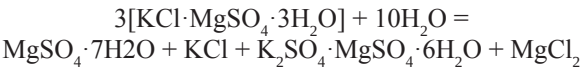
Важливу роль у складі калійних порід відіграє глинистий та алевритово-піщаний теригенний матеріал, який також треба зачислити до основних породотворних компонентів і який часто описується під загальним терміном «нерозчинний залишок». З мінералогічного боку, у «нерозчинному залишку» домінують кварц, хлорит та гідрослюда, з підпорядкованим значенням польового шпату, кальциту й доломіту [1]. Мінеральний склад затоплених на сьогоднішній день ділянок пластів, на 3–4 горизонтах, у межах рудника № 2 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Мінеральний склад калійної руди 3-4 горизонтів рудника № 2 (у мас. %)

№ з/п	Компоненти	Пласт Основний	Нижня лінза пласта Основний	Пласт № 10-Пд-Сх	Пласт № 10-Пн-Зх	Пласт № 11	Пласт № 14	Середнє по 3-4 горизонтах
1	галіт	35,4	36,4	33,4	32,8	29,0	37,3	35,9
2	каїніт	26,0	32,5	31,3	41,6	40,0	23,0	29,4
3	лангбейніт	14,0	8,9	4,0	2,6	0	11,5	10,6
4	полігаліт	9,2	8,1	9,0	6,1	6,1	7,9	8,6
5	кізерит	2,3	1,5	4,5	0,4	0,4	0	0,5
6	епсоміт	0	0	0	1,4	1,4	3,4	0
7	сільвін	0,8	0,5	2,1	0,7	0,7	1,6	0,6
8	карналіт	0,1	0	0,5	0	0,3	0,3	0,2
9	ангідрит	0	0	0	0	2,9	0	0
10	нерозчинний залишок	15,3	12,4	15,6	14,9	20,2	12,4	14,3

Як видно з наведених даних, основними мінералами усіх рудних тіл є галіт та каїніт. Це не випадково, оскільки відповідно до теорії галогенезу це зумовлено добре вивченим процесами евопаризації древніх ізольованих морських лагун. Каїніт є найпоширенішим калійним та магнієвим мінералом полімінеральних руд. Це мінерал утворюється за температури вище 13 °С, у формульній одиниці містить три молекули води та існує до температури 76–83 °С. Нижче від 13 °С відбувається конверсія каїніту з утворенням шеніту, епсоміту і сільвіну за реакцією:



Каїніт – перший калійний мінерал, виявлений у Прикарпатті. У 1868 р. О. Хінгенау (O. Hingenau) повідомив, що власне каїнітові порода в Калуші була відкрита Бенедиктом

Маргулісом, який установив, що каїніт у родовищі переважає над сильвіном. Каїнітова порода найбільш поширена серед калійних порід Прикарпаття, є досить однотипною, переважно дрібнозернистою і має сірувато-жовтий, голубувато-жовтий, рідше червонувато-жовтий кольори. До її складу входять здебільшого галіт і каїніт з незначною домішкою полігаліту (3–10 %) та глинисто-мулисто-піщаного матеріалу (6–25 %). Залежно від кількісного співвідношення основних компонентів галіту і каїніту виокремлюють дві основні групи каїнітових порід: власне каїнітові (вміст галіту 20–40 %, каїніту 35–60 %) і каїніт-галітова (вміст галіту 40–50 %, каїніту 20–35 %). Але макроструктурно ці дві породи за текстурними й структурними особливостями суттєво не відрізняються одна від одної.

За розчинністю у воді умовно всі мінерали полімінеральних руд родовищ Передкарпатського прогину можна розділити на 3 групи:

1) легкорозчинні (сильвін, каїніт, епсоміт, шеніт, леоніт, карналіт, астраханіт, глазерит, бішофіт, галіт);

2) важкорозчинні (лангбейніт, кізерит);

3) майже нерозчинні (полігаліт, ангідрит, сингеніт, гіпс).

Головними специфічними особливостями полімінеральних калійних руд Стебницького, Калуш-Голинського та інших родовищ Передкарпатського прогину є:

1) неоднорідність мінерального складу;

2) домінування переважно каїніт-лангбейнітового мінерального складу;

3) порівняно невисокий вміст у полімінеральних рудах калію (10–12 % у перерахунку на K_2O);

4) обмежена (погана) розчинність одного з головних калієвмісних мінералів (лангбейніту);

5) досить значний вміст глинисто-мулисто-піскової фракції.

Усі ці специфічні особливості суттєво ускладнюють технологію збагачення полімінеральних калійних руд Стебницького, Калуш-Голинського та інших родовищ Передкарпатського прогину.

Видобування калійних руд у руднику № 2 Стебницького родовища камерним способом (камерною системою).

Калійні руди Стебницького родовища розробляються понад 100 років, і від початку їх видобутку пробували застосувати різні способи збагачення. Зокрема, у 1920-ті роки калійні руди після розмелювання використовували як місцеві мінеральні калійно-магнієві добрива, а також після збагачення методом ручної рудорозборки як калійно-магнієві добрива з дещо підвищеним вмістом корисних компонентів.

Ручне сортування (рудорозбірка) є методом збагачення, за якого використовується різниця в зовнішніх ознаках (колір, блиск, форма) мінералів. Наприклад, у полімінеральних калійних рудах, галіт переважно білий, нерозчинний залишок зазвичай сірий, а корисні мінерали можуть бути червоного, рожевого, синього, строкатого кольорів. Роздробивши таку руду до певної фракції та завантаживши їх на сортувальний конвеєр, робітникам можна вибрати шматки білого кольору (галітові) та сірого забарвлення (глинисто-мулисто-піщані) уламки. Як наслідок, залишок містив більший вміст корисних компонентів, а саме калію та магнію і менший вміст токсичних для ґрунту і рослин та баластних компонентів. Рудорозбірка здійснюється при крупності подрібнених уламків 10–300 мм і проводиться на спеціальних майданчиках та стрічкових конвеєрах. Продукт, який отримували в такий спосіб як мінеральне добриво, отримав назву «Каїніт збагачений» або «Каїніт Стебницький» (рис. 5.).

Цей метод досить дорогий і низькопродуктивний, а також не дає якісних добрив. Як наслідок, у пізніші роки його не застосовували.

Глибоке збагачення та перероблення таких руд згідно зі стандартними флотаційними та галургійними технологіями передбачає їх подрібнення, розчинення у воді, флотаційну сепарацію від галітових відходів разом із лангбейнітовим концентратом, осадження та виведення з технологічного процесу глинисто-мулистого-піщаного матеріалу, кристалізацію калімагнезії та низку інших операцій.

Технологічна схема переробки калійно-магнієвих руд з доміантним каїніт-лангбейнітовим складом Стебницького та Калуш-Голинського родовищ розробляли у Всесоюзному науково-дослідному інституті галургії (далі – ВНДІГ), рф. Для Стебницького родовища як основний був обраний флотаційний метод збагачення та переробки полімінеральних калійних руд.

Збагачувальна фабрика у Стебнику була запроєктована на перероблення полімінеральних калійних руд методом флотації, продуктивність від 1100 тис. тонн калійних добрив «Калімаг» на рік з умістом 19 % K_2O , при переробці 2500 тис. видобутих калійних руд із середнім умістом 10–12 % K_2O каїніт-лангбейнітового складу (рис. 6. та 7).



Рис. 5. Рекламний плакат «Каїніту Стебницького» в 1930-ті роки



Рис. 6. Стебницький калійний комбінат у 1978 р.: вгорі – вивіска, внизу – загальний вигляд, де на дальньому плані – рудник № 2, на ближньому – залізниця, між ними – збагачувальна фабрика



Рис. 7. Головний корпус збагачувальної фабрики Стебницького калійного комбінату (на дальньому плані) з критими конвеєрами для подачі руди з рудника № 2 (ближній план) – вгорі та внизу: у різних ракурсах

Технологічна схема отримання продукту – калієво-магнієвого мінерального добрива «Калімаг» з умістом 19 % K_2O , розроблена Всесоюзним науково-дослідним Інститутом галургії та зводиться до таких операцій (рис. 8):

- 1) подрібнення руди, що надходить з рудника № 2 (рис. 9);
- 2) розчинення розчинних мінералів у гарячій воді та знешламлення (осадження) нерозчинного залишку з подрібненої руди (рис. 10);
- 3) флотація знешламленої руди із використанням як флотаційних реагентів жирних кислот, соляно-кислих амінів та поліакриламідного коагулянту, додавання якого осаджувало глинисті частинки (рис. 11);
- 4) центрифугування продуктів флотації, відокремлення від осаду висвітленої висококонцентрованої ропи, її згущення та кристалізація з неї готового продукту – калій-магnezії (рис. 12);
- 5) для підвищення вилучення K_2O при збагаченні передбачалося протиточне промивання мулів з підігрівом і вакуум-кристалізація міцного щолоку (високонцентрованої ропи);

6) транспортування відходів збагачення зі збагачувальної фабрики по трубопроводу у хвостосховище площею 125 га, яке розміщене в північно-східній околиці м. Стебник біля р. Солониця, правого допливу р. Тисмениця (рис. 13);

7) висушування в печах киплячого шару колективного концентрату після флотації та вакуум-кристалізаційного осадження (рис. 14);

8) завантаження готової продукції у залізничні вагони за допомогою силосів (рис. 15).

Обладнання, яке використовували на збагачувальній фабриці у Стебнику, показано на рис. 8–15.

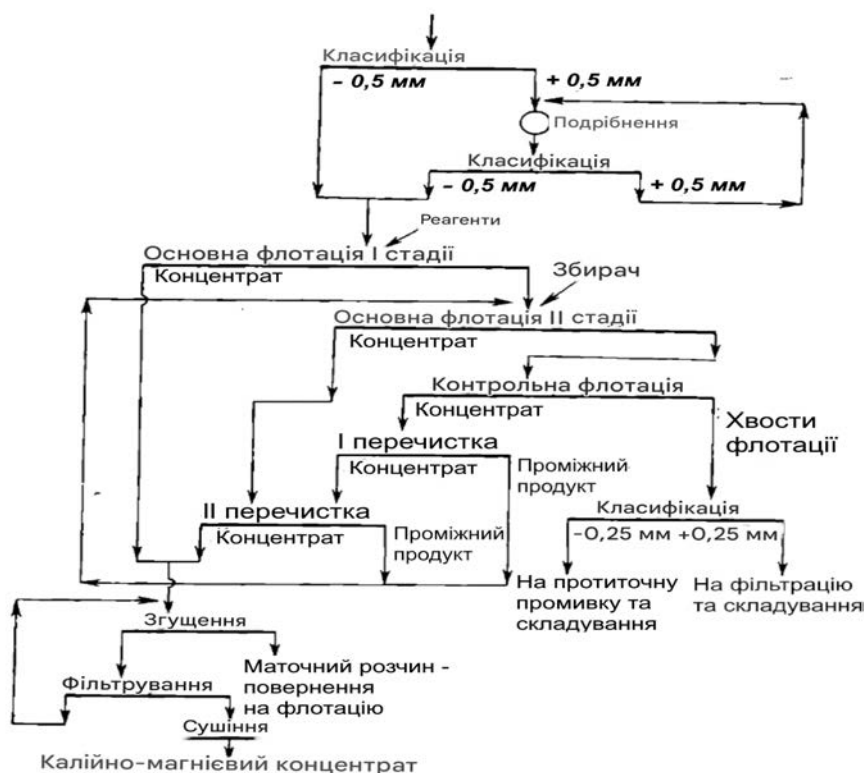


Рис. 8. Технологічна схема флотаційного збагачення полімінеральних калійних руд Стебницького родовища

При розробці вихідних даних та проектуванні розглядався і гравітаційний метод флотації полімінеральних руд Стебницького родовища, який мав ґрунтуватися на різниці в густині окремих мінералів. Розмелену руду мали поміщати у важкі рідини з проміжними значенням щільності, де більш легкі частки спливають, а важкі опускаються. Розділення можна було прискорити в гідроциклонах. Для приготування важких суспензій планувалося використовувати тонкоздрібнені суспензії мінералів з високою щільністю – магнетиту ($4,9 \dots 5,2 \text{ г/см}^3$), бариту ($4,3 \dots 4,6 \text{ г/см}^3$), піриту ($4,9 \dots 5,2 \text{ г/см}^3$). Однак такий підхід виявився невдалим та мав обмежене застосування через малу різницю в густині соляних мінералів Стебницького родовища і міг використатися, наприклад, лише для попереднього



Рис. 9. Подрібнення руди, що надходила на збагачувальну фабрику з рудника № 2



Рис. 10. Розчинення та знешамлення подрібненої руди в гарячій воді на збагачувальній фабриці

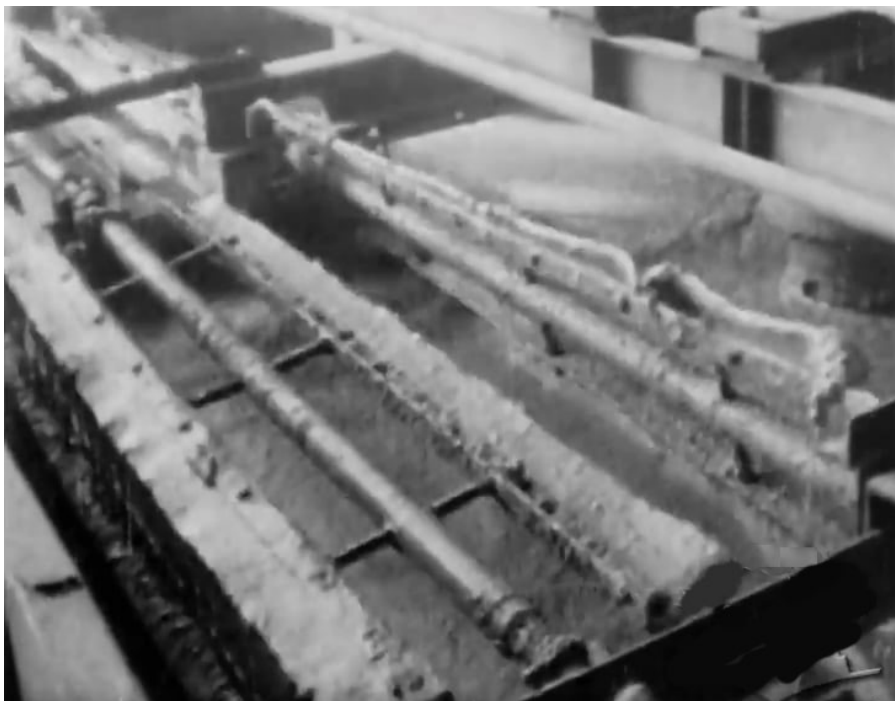


Рис. 11. Флотація знешламленої руди з використанням як флотаційних реагентів жирних кислот, солянокислих амінів та поліакриламідного коагулянту



Рис. 12. Центрифугування продуктів флотації, відокремлені від осаду висвітленої висококонцентрованої ропи, її згущення та кристалізація готового продукту – калій-магnezії



Рис. 13. Хвостосховище Стебницького калійного комбінату, на яке транспортувалися відходи збагачення: угорі – хвостосховище в 1983 р., внизу – космознімок хвостосховища станом на 2016 р.

збагачення бідних сильвінітових руд унаслідок відділення сильвіну ($1,98 \text{ г/см}^3$) від галіту ($2,11 \text{ г/см}^3$) і, як наслідок, цей метод навіть не застосовувався.

Збагачувальна фабрика у Стебнику побудована в 1966–1967 рр., переробляла калійні руди видобуті на руднику № 2, випускала калійно-магнієве мінеральне добриво (калій-магнезію) з умістом K_2O близько 17–18 %. Залишок від збагачення – глино-сольову суміш накопичували у хвостосховищі, його хімічний склад у межах секції № 1 на різних глибинах наведено в таблиці 2.

Як видно з таблиці 2, крім невилучених калію та магнію в досить значних кількостях, у залишку від збагачення міститься хлор, сульфати, натрій та кальцій. Такий склад дає змогу зарахувати хвости флотації до проміжних продуктів збагачення, які потенційно



Рис. 14. Висушування колективного концентрату після флотації та вакуум-кристалізаційного осадження



Рис. 15. Завантаження готової продукції в залізничні вагони за допомогою силосів

можуть бути використані для продукування протиожележних засобів, низькосортних калійно-магнієвих добрив та інших застосувань.

Приведені дані дають підстави стверджувати, що схема реалізована на Стебницькому калійному комбінаті зі збагачення й переробки полімінеральних руд, рекомендована ВНДІГ, м. Ленінград, і прийнята в проєктному завданні реалізованим Науково-дослідним і проєктним Інститутом гірничо-хімічної сировини (м. Львів), на практиці виявилася недосконалою та вкрай неефективною, а саме з 1 тонни калійних руд, внаслідок флотаційного збагачення утворювалося 700–800 кг залишку, зокрема майже половина калію і магнію.

Таблиця 2

Хімічний склад твердої фракції хвостів – залишку від збагачення у мас. %

Глибина відбору, м	MgSO ₄	CaSO ₄	Na ₂ SO ₄	KCl	NaCl	Нерозчинний осад	H ₂ O
1	3,3	13,2	12,1	4,6	4,9	57,1	5,4
2	2,7	12,9	11,3	8,7	28,2	34,3	3,4
3	0,6	10,9	3,9	3,9	20,5	44,2	17,0
4	1,2	9,8	6,5	4,9	41,8	25,0	12,0
5	3,3	13,2	12,1	4,6	4,8	57,1	5,4
6	2,7	12,9	11,3	8,7	28,2	34,3	3,4
7	3,0	7,8	4,9	4,0	8,5	58,0	15,1
8	4,3	7,5	7,1	4,9	26,9	32,2	15,0

При цьому в залишок потрапляли не тільки нерозчинний залишок глинисто-мулистого складу, а й недорозчинені лангбейніт та полігаліт, а також галіт та ропа з високим вмістом хлористого натрію і калійно-магнієвих солей. Фактично хлорид натрію в процесі збагачення потрапляв не тільки в залишок від збагачення, а й у значних кількостях потрапляв у готовий продукт «Каліймаг», що містив підвищений вміст галіту.

Тривале функціонування цієї технології призводило до утворення значних об'ємів залишку від збагачення, які призводили до пришвидшеного переповнення хвостосховища, що опосередковано стало причиною аварії та регіональної екологічної катастрофи, внаслідок прориву його дамби 15 вересня 1983 р. та виливу в р. Дністер 4,5 млн м³ висококонцентрованої ропи.

Крім того, для процесу збагачення були притаманні значні енергетичні затрати, а побічним наслідком температурного та реагентного (кислотного) впливу на хлоридні солі стало забруднення атмосферного повітря хлором.

Флотація ґрунтується на різній змочуваності калійних і некалійних мінералів, вимагає дорогих і дефіцитних флотореагентів, зокрема жирних кислот і, як наслідок, цей метод досить чутливий до вмісту в руді дрібнодисперсних глинистих домішок, що мають велику адсорбційну ємність коагулянту – поліакриламід. Це приводить до підвищеної витрати флотореагентів і погіршує ефективність флотації. Жирні кислоти та інші флотореагенти не тільки втрачаються безповоротно, а й забруднюють кінцеві продукти. Це унеможливає використання хлориду натрію в харчовій промисловості, а отже, неможливе й комплексне, безвідходне перероблення руди. Тому флотаційний метод, затверджений як основне технічне рішення для Стебницької фабрики, не виправдав себе переважно через надзвичайно великий вміст глинисто-мулистого-піскової фракції в полімінеральних рудах Стебницького родовища. До того ж калійні мінерали мають різні поверхневі властивості і їх важко виділяти одночасно. Тому коефіцієнт витягу сульфатних мінералів не перевищував 50 %.

Для Стебницької збагачувальної фабрики, після її зупинки в 1983 році на реконструкцію, була розроблена технологія перероблення руди галургійним методом з попередньою її гідратацією (шенітизацією) з метою поліпшення розчинності й підвищення коефіцієнта витягу калію до 70...80 %. Однак показники вихідних даних не були підтверджені при реальній роботі фабрики, оскільки реконструкція так і не була здійснена.

Через аварію хвостосховища 15 вересня 1983 року об'єми видобутку та збагачення скоротили, а в 1988 році через низьку ефективність, високу енергоємність, значний відсоток втрат (40–50 %) корисних компонентів, переповнення хвостосховища її робота

повністю припинена й виведена з експлуатації в очікування на реконструкцію, яка через економічні проблеми так і не відбулася.

На підприємстві Стебницьке ГХП «Полімінерал» заскладовані значні об'єми проміжних продуктів збагачення, у яких уміст калію та магнію вдвічі менший, ніж у первинних полімінеральних рудах, а також рідка фаза і твердий залишок від збагачення, які, з огляду на особливості застосованих методик збагачення, можуть бути використані для продукування протижелезних засобів, низькосортних калійно-магнієвих добрив та інших застосувань.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Схема флотаційного реалізована на Стебницькому калійному комбінаті зі збагачення і переробки полімінеральних руд, рекомендована ВНДІГ, і прийнята та реалізована на практиці виявилася недосконалою та вкрай неефективною.

2. Із тонни калійних руд унаслідок флотаційного збагачення утворювалося 700–800 кг залишку, зокрема майже половина калію і магнію, у залишок від збагачення потрапляли не тільки нерозчинний осад глинисто-мулисто-піщаного складу, а й недорозчинені лангбейніт та полігаліт, а також галіт і ропа з високим умістом хлористого натрію та калійно-магнієвих солей.

3. Готовий продукт «Каліймаг» містив підвищений уміст галіту, а хлорид натрію в значних об'ємах ішов у залишок від збагачення, утворювалися значні об'єми цього продукту, які призводили до пришвидшеного переповнення хвостосховища, що опосередковано стало причиною аварії та регіональної екологічної катастрофи, унаслідок прориву його дамби 15 вересня 1983 р. та виливу в р. Дністер 4,5 млн м³ висококонцентрованої ропи.

4. Для процесу збагачення були притаманні значні енергетичні затрати.

5. Побічним наслідком температурного та реагентного (кислотного) впливу на хлоридні солі стало забруднення атмосферного повітря хлором.

6. Флотаційний метод вимагає дорогих і дефіцитних флотореагентів, зокрема жирних кислот, і, як наслідок, цей метод досить чутливий до вмісту в руді дрібнодисперсних глинистих домішок. Це приводить до підвищеної витрати флотореагентів і погіршує ефективність флотації. Жирні кислоти та інші флотореагенти не тільки втрачаються безповоротно, а й забруднюють кінцеві продукти. Це внаслідок використання хлориду натрію в харчовій промисловості, а отже, неможливе й комплексне, безвідходне перероблення руди. Тому флотаційний метод, затверджений як основне технічне рішення для Стебницької фабрики, не виправдав себе переважно через надзвичайно великий уміст глинисто-мулисто-піскової фракції в полімінеральних рудах Стебницького родовища. До того ж калійні мінерали мають різні поверхневі властивості і їх важко виділяти одночасно. Тому коефіцієнт витягу сульфатних мінералів не перевищував 50 %.

7. Для Стебницької збагачувальної фабрики, після її зупинки в 1983 році на реконструкцію, була розроблена технологія перероблення руди галургійним методом з попередньою її гідратацією (шенітизацією) з метою поліпшення розчинності і підвищення коефіцієнта витягу калію до 70...80 %. Однак показники вихідних даних не були підтверджені при реальній роботі фабрики, оскільки реконструкція так і не була здійснена.

8. На підприємстві Стебницьке ГХП «Полімінерал» заскладовані значні об'єми проміжних продуктів збагачення, у яких уміст калію та магнію вдвічі менший, ніж у первинних полімінеральних рудах, а також рідка фаза і твердий залишок від збагачення, які, з огляду на особливості застосованих методик переробки, можуть бути використані для продукування протижелезних засобів, низькосортних калійно-магнієвих добрив та інших застосувань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоніжка П. Хімічний та мінеральний склад відходів збагачення калійних руд Стебницького родовища та їхній вплив на довкілля / П. Білоніжка, В. Дяків. *Вісник Львівського ун-ту. Серія геол.* 2009. Вип. 23. С. 162–174. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geology/article/view/3452>
2. Білоніжка П., Дяків В. Стебницьке родовище калійних солей: розроблення, відходи збагачення руд, проблеми охорони довкілля Праці наукового товариства ім. Шевченка. Т. XXX. Геологічний збірник. Львів., 2012. С. 199–209.
3. Дяків В., Кицмур І. Природно-техногенні причини та еколого-геохімічні наслідки гідродинамічної аварії 15 вересня 1983 р. на Стебницькому хвостосховищі. *Вісник Львівського ун-ту. Серія геол.* 2016. Вип. 30. С. 106–124. URL: <https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/01/10-pp106-124.pdf>
4. Кицмур І. І., Дяків В. О. Ретроспективний геоекологічний аналіз гідродинамічної аварії 15 вересня 1983 р. на Стебницькому хвостосховищі та геохімічних наслідків катастрофічного виливу розсолів у басейн верхнього Дністра. Матеріали Третьої наук.-практ. конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». Трускавець, 4–7 жовтня 2016 р. ДСГІН України, ДКЗ України. Київ, 2016. С. 297–302.
5. Хевпа З., Кицмур І., Дяків В. Хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал»: сучасний стан, шляхи покращення стану довкілля та забезпечення екологічної безпеки. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна.* 2023. Вип. 37. С. 56–71. URL: <https://journals.lnu.lviv.ua/index.php/geology/article/view/368/346>
6. Гайдін А. М., Дяків В. О., Зозуля І. І. Розсоли в затоплених калійних рудниках Передкарпаття. *Хімічна промисловість України.* 2012. № 3 (110). С. 32–38.
7. Семчук Я. М. Вивчення міграції високомінералізованих розсолів у районі хвостосховища Калуського виробничого об'єднання «Хлорвініл» на фізичній моделі. Удосконалення технології видобутку та переробки калійних руд Прикарпаття: Збірник. Черкаси : ОН ТЕХІМ, № 952ХІІ-Д84, 1985. С. 86–95.
8. Шестопалов В. М., Лисиченко Г. В. та ін. Висновок щодо комплексних геолого-гідрогеологічних, інженерно-геологічних та гідротехнічних досліджень ділянки руйнування дамби секції № 2 хвостосховища Стебниківського калійного заводу. *Тимчасова комісія АН УРСР.* Київ, 1984. 137 с.
9. Гребенюк Д. В., Яремчук Б. М. Технологічні схеми переробки полімінеральних калійних руд Прикарпаття. *Хімічна промисловість України.* 1995. № 2. С. 41–45.
10. Ерайзер Л. М., Іванченко Л. В. Перероблення полімінеральних руд Прикарпаття в калійні добрива методом сульфатного вилуговування: [монографія]. Одеса : Екологія, 2015. 136 с.
11. Кропивницька Л. М. Одержання лангбейнітового концентрату з галіто-лангбейнітового залишку калійних руд Прикарпаття : дис. ... канд. техн. наук: 05.17.01. Львів, 2002. 130 с.
12. Карпець М. В., Костів І. Ю. Полімінеральні калійні руди Прикарпаття. Перероблення з розчиненням у воді. *Хімічна промисловість України.* 2007. № 2. С. 29–32.
13. Перекупко Т. В. Розчинення лангбейнітового концентрату у водних розчинах хлоридної кислоти з наступним переробленням їх у шеніт. *Хімічна промисловість України.* 2005. № 6. С. 3–7.
14. Хацевич О. М., Костів І. Ю., Хабер М. В. Полімінеральні калійні руди Прикарпаття. Нова технологія переробки. *Хімічна промисловість України.* 2005. № 4. С. 3–7.
15. Яворський В. Т., Перекупко Т. В., Кропивницька Л. М. Нова технологія переробки галіто-лангбейнітового залишку виробництв калійних добрив. *Хімічна промисловість України.* 2002. № 2. С. 3–8.
16. Яремчук Б. М., Варивода З. В. Деякі нові підходи до переробки полімінеральних калійних руд Прикарпаття. *Хімічна промисловість України.* 1995. № 2. С. 45–49.

REFERENCES

1. Bilonizhka, P. (2009). Khimichnyy ta mineral'nyy sklad vidkhodiv zbahachennya kaliynykh rud Stebnyts'koho rodovyshcha ta yikhniy vplyv na dovkillya [Chemical and mineral composition of potash ore enrichment wastes of the Stebnytsky deposit and their impact on the environment] / P. Bilonizhka, V. Dyakiv. *Visnyk L'viv's'koho un-tu. Seriya heol.* Vyp. 23. S. 162–174. Retrieved from: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geology/article/view/3452>
2. Bilonizhka, P. (2012). Stebnyts'ke rodovyshche kaliynykh soley: rozroblennya, vidkhody zbahachennya rud, problemy okhorony dovkillya [Stebnytsky deposit of potash salts: development, ore enrichment wastes, environmental protection problems] / P. Bilonizhka, V. Dyakiv. *Pratsi naukovoho tovarystva im. Shevchenka. T. KHKHKH. Heolohichnyy zbirnyk. L'viv.* S. 199–209.
3. Dyakiv, V. (2016). Pryrodno-tekhnohenni prychyny ta ekoloho-heokhimichni naslidky hidrodynamichnoyi avariyi 15 veresnya 1983 r. na Ctebnyts'komu khvostoskhovyshchi [Natural and man-made causes and ecological and geochemical consequences of the hydrodynamic accident of September 15, 1983 at the Stebnytsky tailings dam] / V. Dyakiv, I. Kytsmur. *Visnyk L'viv's'koho un-tu. Seriya heol.* Vyp. 30. S. 106–124. Retrieved from: <https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/01/10-pp106-124.pdf>
4. Kytsmur, I.I. (2016). Retrospektyvnyy heoekolohichnyy analiz hidrodynamichnoyi avariyi 15 veresnya 1983 r. na Stebnyts'komu khvostoskhovyshchi ta heokhimichnykh naslidkiv katastrofichnoho vylyvu rozsoliv u baseyn verkh'n'oho Dnistra [Retrospective geoecological analysis of the hydrodynamic accident of September 15, 1983 at the Stebnytsky tailings dam and geochemical consequences of the catastrophic release of brines into the upper Dniester basin] / I.I. Kytsmur, V.O. Dyakiv. *Materialy Tret'oyi nauk.-prakt. konferentsiyi «Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektyvy investuvannya». Truskavets', 4-7 zhovtnya 2016 r. – DS·HiN Ukrainy, DKZ Ukrainy.* Kyiv, S. 297–302.
5. Khevpа, Z. (2023). Khvostoskhovyshche Stebnyts'koho HKHP «Polimineral»: suchasnyy stan, shlyakhy pokrashchennya stanu dovkillya ta zabezpechennya ekolohichnoyi bezpeky [Stebnytsky tailings dam of the Polymetal Coal and Petroleum Production Plant: current state, ways to improve the environment and ensure environmental safety] / Z. Khevpа, I. Kytsmur, V. Dyakiv. *Visnyk L'viv's'koho universytetu. Seriya heolohichna.* Vyp. 37. S. 56–71. Rezhym dostupu v merezhi Internet: Retrieved from: <https://journals.lnu.lviv.ua/index.php/geology/article/view/368/346>
6. Haydin, A.M., Dyakiv, V. O., Zozulya, I.I. (2012). Rozsoly v zatoplenykh kaliynykh rudnykakh Peredkarpattya [Brine in flooded potash mines of the Precarpathian region. Chemical Industry of Ukraine]. *Khimichna promyslovist' Ukrainy.* № 3 (110). C.32–38.
7. Semchuk, Ya.M. (1985). Vyvchennia mihratsii vysokomineralizovanykh rozsoliv u raioni khvostoskhovyshcha Kaluskoho vyrobnychoho obiednannia «Khlorvinil» na fizychnii modeli [Study of migration of highly mineralized brines in the area of the tailings of the Kalush production association "Chlorvinil" using a physical model]. *Udoskonalennia tekhnolohii vydobutku ta pererobky kaliynykh rud Prykarpattia: Zbirnyk.* Cherkasy: ON TEKhIM, № 952XII-D84, S. 86–95.
8. Shestopalov, V.M., Lysychenko, H.V. (1984). ta in. Vysnovok shchodo kompleksnykh heoloho-hidroheolohichnykh, inzhenerno-heolohichnykh ta hidrotekhnichnykh doslidzhen' dilyanky ruynuvannya damby sektsiyi № 2 khvostoskhovyshcha Stebnykivs'koho kaliynoho zavodu [Conclusion on comprehensive geological-hydrogeological, engineering-geological and hydraulic engineering studies of the dam collapse area of section No. 2 of the tailings dam of the Stebnyky Potash Plant]. *Tymchasova komisiya AN URSR. K.,* 137 s.
9. Hrebenyuk, D.V. (1995). Tekhnolohichni skhemy pererobky polimineral'nykh kaliynykh rud Prykarpattya [Technological schemes for the processing of polymetal potash ores of the

- Carpathian region]/D.V. Hrebenyuk, B.M. Yaremchuk. *Khimichna promyslovist' Ukrainy*. № 2. S. 41–45.
10. Erayzer, L. M. (2015). Pereroblennya polimineral'nykh rud Prykarpattya v kaliyni dobryva metodom sul'fatnoho vyluhovuvannya [Processing of polymineral ores of the Carpathian region into potash fertilizers by the sulfate leaching method]: [monohrafiya]/ L. M. Erayzer, L. V. Ivanchenko. Odesa : Ekolohiya, 136 s.
 11. Kropyvnyts'ka, L.M. (2002). Oderzhannya lanhbeynitovoho kontsentratu z halito-lanhbeynitovoho zalyshku kaliynykh rud Prykarpattya [Production of langbeinite concentrate from the halite-langbeinite residue of potash ores of the Carpathian region]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.17.01 /L.M. Kropyvnyts'ka. L'viv, 130 s.
 12. Karpets', M.V. (2007). Polimineral'ni kaliyni rudy Prykarpattya. Pereroblennya z rozchynenniam u vodi [Polym mineral potash ores of the Carpathian region. Processing with dissolution in water]/M.V. Karpets', I.YU. Kostiv. *Khimichna promyslovist' Ukrainy*. № 2. S. 29–32.
 13. Perekupko, T.V. (2005). Rozchynennya lanhbeynitovoho kontsentratu u vodnykh rozchynakh khlorydnoyi kysloty z nastupnym pereroblenniam yikh u shenit [Dissolution of langbeinite concentrate in aqueous solutions of hydrochloric acid with subsequent processing into shenite]/T.V. Perekupko. *Khimichna promyslovist' Ukrainy*. № 6. S. 3–7.
 14. Khatsevych, O.M. (2005). Polimineral'ni kaliyni rudy Prykarpattya. Nova tekhnolohiya pererobky [Polym mineral potassium ores of the Carpathian region]/O.M. Khatsevych, I.YU. Kostiv, M.V.Khaber. *Khimichna promyslovist' Ukrainy*. № 4. S. 3–7.
 15. Yavors'kyy, V.T. (2002). Nova tekhnolohiya pererobky halito-lanhbeynitovoho zalyshku vyrobnytstv kaliynykh dobryv [New technology for processing halite-langbeinite residue from potash fertilizer production]/V.T. Yavors'kyy, T.V. Perekupko, L.M. Kropyvnyts'ka. *Khimichna promyslovist' Ukrainy*. № 2. S. 3–8.
 16. Yaremchuk, B.M. (1995). Deyaki novi pidkhody do pererobky polimineral'nykh kaliynykh rud Prykarpattya [Some new approaches to processing polymineral potassium ores of the Carpathian region]/B.M. Yaremchuk, Z.V. Varyvoda [ta in.]. *Khimichna promyslovist' Ukrainy*. № 2. S. 45–49.

MINERAL COMPOSITION OF ORE OF STEBNYTSKY KOTASSIUM SALT DEPOSIT, ENRICHMENT TECHNOLOGIES, WASTES, THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT AND WAYS TO SOLUTION THE PROBLEM

**Zenon Khevpa¹, Vasyl Dyakiv², Ihor Kytsmur²,
Volodymyr Petryshyn^{2,3}**

¹ State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", Academician Palladin Ave., 34A, Kyiv, Ukraine, 02000
e-mail: zenonzxv@gmail.com

² Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com

³ State Commission for Reserves of Ukraine, General Almazov Str., 18/7B, Kyiv, Ukraine, 01133
e-mail: geology1982@ukr.net

The geological structure, mineral composition of potash ores of the Stebnytsky deposit, solubility of the most common minerals, main specific features of salt rocks extracted from the bowels, applied enrichment technologies, chemical composition of the enrichment residue and prospects for its use are

described. It was established that the ores of the Stebnytsky deposit are characterized by heterogeneity of mineral composition, dominance of mainly kainite-langbeinite ores, relatively low content of potassium in polymineral ores (10–12% in terms of K_2O), limited (poor) solubility of one of the main potassium-containing minerals (langbeinite), and a fairly significant content of clay-silt-sand fraction. All these specific features significantly complicated the applied enrichment technologies.

It has been proven that the scheme implemented at the Stebnytsky Potash Plant for enrichment and processing of polymineral ores turned out to be imperfect and extremely inefficient in practice, namely, from 1 ton of potash ores, as a result of flotation enrichment, 700–800 kg of residue were formed, including almost half of potassium and magnesium. At the same time, not only an insoluble residue of clay-silt-sand composition, but also poorly dissolved langbeinite and polyhalite, as well as halite and brine with a high content of sodium chloride and potassium-magnesium salts, got into the residue. In fact, sodium chloride in the enrichment process got not only into the residue from enrichment, but in significant quantities got into the finished product “Kaliimag”, which contained an increased content of halite.

The long-term operation of this technology led to the formation of significant volumes of enrichment residue, which led to the accelerated overflow of the tailings pond, which indirectly caused the accident and regional ecological disaster, as a result of the breach of its dam on September 15, 1983 and the discharge of 4.5 million m^3 of highly concentrated brine into the Dniester River.

The Stebnytskyi factory “Polymineral” enterprise stores significant volumes of intermediate enrichment products, in which the potassium and magnesium content is half that of primary polymineral ores, as well as the liquid phase and solid enrichment residue, which, based on the characteristics of the enrichment methods used, can be used to produce anti-iron agents, low-grade potassium-magnesium fertilizers and other applications.

Key words: Stebnytskyi potash ore deposit, geological structure, mineral composition, kainite, langbeinite, halite, flotation, enrichment residue, tailings pond, environmental problems.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ САВРАНСЬКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (СЕРЕДНЄ ПОБУЖЖЯ, УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

**Олександр Шваєвський, Олександр Бобров,
Микола Павлунь, Тарас Шваєвський**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: oleksandr.shvayevskyy@lnu.edu.ua*

Стаття розкриває особливості полі циклічного перебігу процесів формування метаморфічних комплексів Дністровсько-Бузького геоблоку загалом та Саврансько-Синицівської площі зокрема. З'ясовано, що вони мають різну інтенсивність прояву термальних ендегенних процесів у просторово зближених та близьких за складом породах. На рівні мінерального складу це відображається у відсутності тих чи інших мінералів, або деяких генерацій мінералів, а також в анатомії кристалів акцесорних мінералів-геохронометрів – циркону та монациту; що є додатковим джерелом інформації при датуванні основних геологічних процесів.

Особлива увага приділена встановленню часу формування гранітних масивів та пегматоїдних тіл у межах родовища Майське як процесів, що передували формуванню рудної мінералізації. Установлено, що вік апліто-пегматоїдних гранітів Південного масиву становить $(2,379 \pm 0,076)$ млрд років [1], тоді як U-Pb вік жильних пегматоїдних гранітів становить $(2,040 \pm 0,050)$ млрд років [2]. Великий розрив у часі (понад 300 млн років) між формуванням масиву апліто-пегматоїдних та жильних пегматоїдних гранітів суперечить геологічним спостереженням, за якими пегматоїдні граніти є жильною фацією лейкократових апліто-пегматоїдних гранітів. Найвірогідніше, цифра $(2,379 \pm 0,076)$ млрд років для циркону-I відповідає раннім стадіям формування Південного масиву апліто-пегматоїдних гранітів. Формування гранітних масивів, пегматоїдних утворень та інтенсивна метасоматична проробка товщі близько 2,0 млрд років підтверджується як цифрами U-Pb віку монациту з чарнокітів у районі м. Первомайськ $(2,06 \pm 0,001)$ млрд років [2], так і даними Re-Os віку молибденітів з пегматитів, що становить $(2,06 \pm 0,009)$ млрд років та 2,02 млрд років – з біотит-кварц-олігоклазових метасоматитів Майського родовища [3].

Проаналізовано перебіг процесів кремнево-лужного метасоматозу, палінгенезу та кислотного вилугування і їх роль у рудоутворенні. Установлено, що для родовищ із глибинами формування від 8 до 15 км (родовище Майське) притаманна прожилкова та жильна мінералізація з переважанням у складі руд піриту, арсенопіриту, піротину; навколорудні зміни представлені зонами карбонатизації, мусковітизації, біотитизації, альбітизації.

Ключові слова: рудне поле, мінералізація, суперкрудна формація, гранулітовий комплекс, метасоматоз, навколо рудні зміни.

Постановка проблеми. Формування рудної мінералізації Савранського рудного поля загалом і родовища Майське зокрема завершує довготривалі петрогенетичні процеси, що відбувалися протягом палеоархею (більш ніж 3,6 млрд років) – палеопротерозою (від 1,9 до 1,8 млрд років). Моделювання умов етапу накопичення первинної речовини суперкрудальних формацій надзвичайно ускладнене внаслідок повного перетворення первинних порід в процесі наступних процесів метаморфізму та гранітизації.

Аналіз досліджень. У 1986 р. в межах Савранської ділянки Правобережною експедицією виявлено рудопрояв нікелю із золото-срібною мінералізацією. Ця знахідка поклала початок систематичним розвідувальним роботам у межах ділянки, унаслідок яких були відкриті рудопрояви золота Савранський, Полянецький і Чимерпільський.

Майське родовище розташоване на південно-східній околиці смт Саврань (Одеська обл.). Об'єкт відкрито у 1989 р. ПЗЕ № 46 КП «Кіровгеологія» Пошуково-оцінювальні роботи (гірничо-бурова розвідка) силами ПЗЕ № 46 проводили протягом 1993–2000 рр. З моменту відкриття родовище вивчалася групою дослідників ІГМР НАН України (м. Київ) під керівництвом доктора геолого-мінералогічних наук С. В. Нечасва. Результати робіт викладені в низці праць, у яких уперше детально схарактеризовано геолого-структурну позицію, петрологію та мінералогію родовища. У період з 1994 до 1998 рр. Майське родовище та всю площу вивчала група дослідників Львівського державного університету під керівництвом докторів геолого-мінералогічних наук А. О. Сіворонова та О. Б. Боброва.

Більшість геологів приймають теорію вулканогенно-осадового генезису суперкрусальних товщ монофазіальних гранулітових комплексів.

Багатофакторне моделювання з метою ефективного прогнозу сприятливих умов локалізації промислового зруденіння потребує використання всього наявного фактичного матеріалу (як суто геологічного, так геофізичного та аналітичного), що отриманий під час проведення пошуково-оціночних робіт. У процесі багаторічних досліджень на золото геологічними організаціями України різного підпорядкування такий матеріал накопичено. Водночас є значні труднощі з його інтерпретацією та створенням відповідних моделей.

Мета роботи – на прикладі родовища Майське та низки рудопроявів Савранського рудного поля розробити багатофакторну геолого-генетичну модель формування основних промислових типів золоторудних родовищ Дністерсько-Бузького геоблоку Українського щита для їх локального прогнозу.

Виклад основного матеріалу. Саврансько-Синіцівська площа розташована в північно-східній частині Дністерсько-Бузького геоблоку та займає північну ланку субмеридіонально орієнтованої зони зчленування Гайворонського та Голованівського блоків. Аналіз наявних матеріалів з геології району вказує, що між цими блоками розміщений крупний елемент латеральної неоднорідності Дністерсько-Бузького геоблоку, який характеризується як індивідуальними особливостями тектонічного режиму розвитку на завершальних етапах докембрійської історії, так і характером супутніх ендегенних процесів. Цей елемент має субмеридіональне простягання та, за ширини від 15 до 16 км у долині р. Південний Буг, звужується на північ і розширюється в південному напрямку. Вірогідно, зі сходу та заходу структура обмежена розломами, хоча через недостатню вивченість просторове положення контурів не всюди надійно визначається.

Характеристика петрогенетичних процесів у межах Саврансько-Синіцівської площі на етапі метаморфізму, ультраметаморфізму та гранітизації в умовах гранулітової фації стикається зі значними труднощами, оскільки гранулітові утворення майже повністю знищені подальшими процесами динамометаморфізму та діафторезу в супроводі інтенсивного метасоматозу та спостерігаються тільки у вигляді локальних реліктів. Первинні (первинно-вторинні) включення в мінералах-індикаторах гранулітової фації (гранат, піроксен, кварц) належать до кристалофлюїдного класу без суттєвих ознак присутності води. Склад флюїдів представлений газовими фазами CO , CO_2 , CH_4 , N , H_2 . Тверда фаза включень представлена мінералами, що утворились із силікатного розплаву. За термобарогеохімічними даними на етапі гранулітового метаморфізму температура сягала меж від 850 до 1 100 °C, а тиск перевищував 450 МПа [4]. Очевидно, що навіть в умовах відносної «сухості» флюїдної системи за таких температур процеси метаморфізму могли супроводжуватися частковим плавленням.

Склад флюїдних включень у мінералах ультраметаморфогенних гранітів Побужжя близький до складу метаморфічних флюїдних включень, для яких характерні відсутність водної фази, широке розповсюдження кристалофлюїдних включень та подібний температурний режим метаморфічних та ультраметаморфічних перетворень (у межах від 850 до 1100 °C) хоча ультраметаморфізм характеризується меншим тиском (понад 220 МПа). Вірогідно, регіональний субізохімічний процес, який призводить до перетворення гнейсового субстрату в гранітоїдні породи, пов'язаний з розрядкою тектонічних напружень упродовж формування склепінно-купольних структур.

Початок етапу діафторезу, динамометаморфізму та ультраметаморфізму в умовах амфіболітової фації пов'язаний із закладенням потужної субмеридіональної зони розломів, що поділили Голованівський та Гайворонівський блоки Дністерсько-Бузького геоблоку. Ітенсивні рухи призвели до багаторазових пластичних деформацій порід з утворенням бластокатаклизитів і бластомілонітів. Процеси діафторезу в РТ-умовах амфіболітової фації характеризуються появою у флюїдній системі води (рис. 1).

Ультраметаморфізм з формуванням палінгенно-метасоматичних гранітоїдів призвів до перетворення суперкрудальних і плутоно-метаморфічних порід у мігматити, диференційовані метабластичні гнейси та пегматоїдні породи. На етапі кремнево-лужного метасоматозу, палінгенезу та кислотного вилугування відбувалося формування метабластичних гнейсів, плагіомігматитів та біотит-кварц-олігоклазових метасоматитів. Процеси характеризувалися привнесенням K, SiO₂, Na, на фоні інтенсивного виносу Ca, Mg, Fe. Ознаками кислотного вилугування є поява силіманіту на стиках зерен олігоклазу та кварцу, а також вкрапленість альмандину.

Центри кремнево-натрієвого метасоматозу успадковувались такими процесами пегматитоутворення та палінгенезу на стадії калієвого метасоматозу до формування біотитів, двопольовошпатових мігматитів і пегматоїдних гранітів з апатитом та турмаліном. Завершальні стадії постультраметаморфічного вилугування характеризуються окварцюванням та утворенням лінзоподібних та жилоподібних кварцових мобілізатів. Перерозподіл заліза при біотитизації та окварцюванні на фоні високої активності кисню зумовлював формування магнетитової мінералізації по амфіболітах та основних кристалосланцях.

Процеси кремнево-лужного метасоматозу, палінгенезу та кислотного вилугування призвели до формування пачок порід із поступовими переходами від біотитових плагіогнейсів та амфіболітів у крайових частинах до кварц-олігоклазових, олігоклаз-кварцових, кварцових, калішпат-кварцових, кварц-калішпатових пегматоїдних мобілізатів, а також лінзовидних тіл та жил пегматоїдів, крупнозернистих пегматоїдних гранітів і пегматитів. Різка зміна параметрів середовища від майже безводних до гідротермальних на стадії формування біотит-кварц-олігоклазових метасоматитів та магнетиту маркується руйнуванням силіманіту й заміщенням його мусковітом. Температура формування цього етапу (за температури більш ніж 600 °C) визначається за структурами розпаду твердих розчинів (шпінель-ільменіт) у магнетиті та складом домішок у магнетиті. Попри чітку просторову приуроченість рудної мінералізації до зон інтенсивної метасоматичної проробки, ці процеси є передрудними.

Морфологія рудних тіл, мінеральний склад порід і руд та особливості навколорудних змін свідчать про формування рудної мінералізації Майського родовища в умовах великих (більш ніж 15 км) глибин [4]. Так, для родовищ із глибинами формування від 8 до 15 км притаманна прожилкова та жильна мінералізація з переважанням у складі руд піриту, арсенопіриту, піротину; навколорудні зміни представлені зонами карбонатизації, мусковітизації, біотитизації, альбітизації, потужністю від 1 до 10 см. У процесі формування рудної мінералізації не відбувається перекристалізації або кородування породотворюючих

мінералів. Розвиток сульфідної і рудної мінералізації відбувається виключно по тріщинах у породі та площинах спайності в породоутворювальних мінералах. Такі особливості зумовлені зростанням щільності порід від малоглибинних до глибинних родовищ і, відповідно, зростанням співвідношень «розчин – порода», яким зумовлюється інтенсивність розвитку гідротермального й рудного процесу. Однак на момент формування власне золоторудного парагенезису формування облямівок піриту-II на раніше сформованих сульфідах, розвиток друз піриту-II по тріщинах у породі, утворення карбонат-гідрослюдистих середньозернистих агрегатів свідчать, що осадження золота відбувалося в умовах зростання співвідношення «розчин – порода».

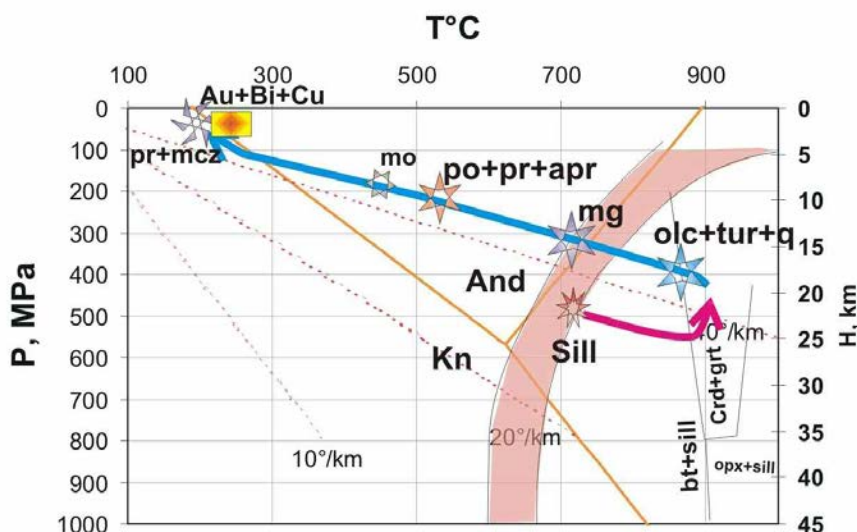


Рис. 1. Еволюція фізико-хімічних параметрів системи в процесі формування вмісних породних комплексів та рудної мінералізації Саврансько-Синицівської площі

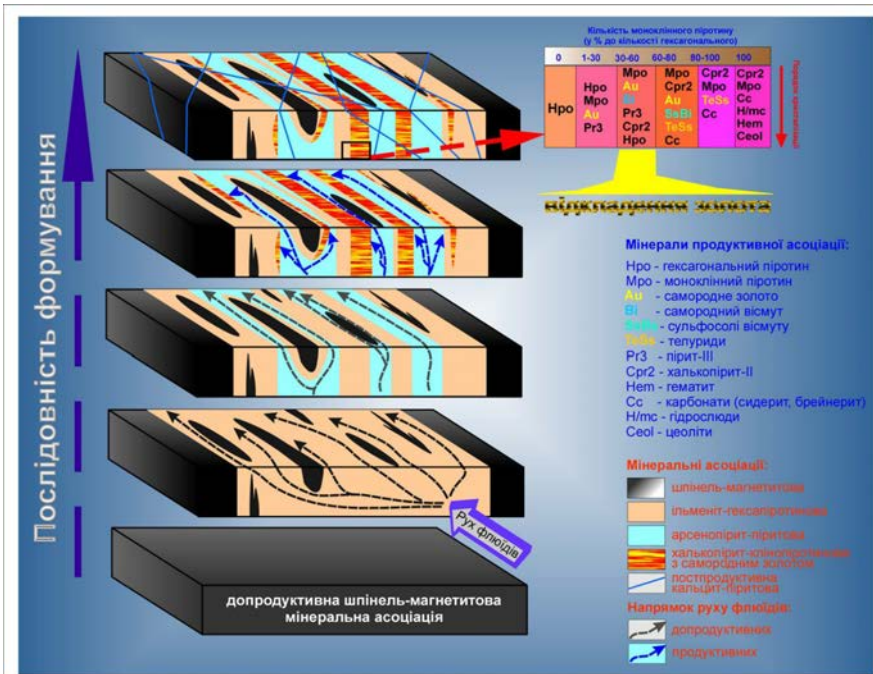
Необхідним фактором формування рудної мінералізації є наявність збагачених залізом порід на шляху рудних розчинів. Для Майського родовища такими породами є мігматити по амфіболітах або кристалосланцях з інтенсивною магнетитовою мінералізацією на контакті з біотит-кварц-олігоклазовими метасоматитами. Від’ємний коефіцієнт кореляції ($K_k \text{ Fe/Au} = -0,031$) між золотом та магнетитом свідчить про відсутність генетичного зв’язку магнетитової мінералізації з осадженням золота. Однак саме магнетит слугує субстратом для формування сульфідно-арсенідної мінералізації із самородним золотом при взаємодії рудних флюїдів із вміщувальними породами.

Гексагональний піротин є найбільш раннім мінералом високотемпературних сульфідних парагенезисів, що заміщує магнетит. Нами доведено вирішальну роль піротинової мінералізації в процесі формування сульфідної мінералізації та осадженні самородного золота на Майському родовищі. Переважання піротинової мінералізації над піритовою відмічалось багатьма дослідниками родовищ золота у високометаморфізованих комплексах. Деякими дослідниками виокремлена просторова асоціація рудних ділянок із сульфідизованими ділянками, що збагачені піротином [5]. Однак саме наші дослідження встановили роль піротину як у формуванні наступних сульфідних парагенезисів, так і в осадженні

піротину поширення сульфідної і золотої мінералізації по магнетиту не виявлено (рис. 2)

від 300 до 150 МПа.

й відбувається на етапі формування власне золоторудної асоціації.



Майського родовища

Дослідження залежності габітусу кристалів піриту від умов їх росту, зокрема, температури мінералоутворювального середовища та ступеня перенасиченості розчинів указують, що формування кубічних та октаедричних кристалів піриту відбувається за температур 500–450 °C у умовах високої fS [6]; наявність скелетних форм та однорідна будова масивних агрегатів свідчить про дифузійний механізм формування піриту-I. Формування халькопіриту при наявності гексапіротину цього складу може відбуватися за температур вище 450 °C. Наявність у халькопіриті-I кубаніту як продукту розпаду твердих розчинів також підтверджує високотемпературний режим середовища; температура розпаду твердого розчину коливається в межах 350 °C (за Рамдором – 557 °C). Отже, пірит-арсенопіритова асоціація сформувалася після гексапіротин-льолінгітової в температурному діапазоні від 350 до 500 °C в умовах дедалі більшої активності сірки.

Стадія вуглекисотно-водного метасоматозу передбачає продуктивний (халькопірит-клінопіротинового із самородним золотом) та післяпродуктивний (марказит-піритового) періоди. Тепловий та баричний режими флюїдної системи на цій стадії носили регресивно-еволюційний характер, що відповідає загальним тенденціям затухання постпалінгенно-метасоматичних процесів. Параметри мінералоутворення продуктивного періоду визначалися на основі дослідження включень у кварці з рудних ділянок. Газова фаза характеризується підвищеним умістом H_2 та значними концентраціями CO_2 та CH_4 . Мінералоутворення відбувалося в умовах гетерогенної гідротермальної флюїдної системи з ліквідацією рідкої CO_2 (від 1,2 до 0,8 г/см³), а потім газоподібної CO_2 (від 0,4 до 0,1 г/см³); концентрація солей не перевищувала 3 %. Температури мінералоутворення під час продуктивного періоду змінювались від 300 до 100 °C. Д. К. Возняк оцінює Р-Т параметри продуктивного періоду на південно-східному фланзі Майського родовища як: варіації температури: від 250 до 200 °C і тиску >250 МПа. Зрідка у кварці спостерігаються розтріскані включення рідкої CO_2 , що інтерпретується як накладення на середньотемпературні золото-сульфідні парагенезиси більш високо-температурної мінералізації [4].

Перехід флюїдної системи з гомогенного стану в гетерогенний є закономірним фізико-хімічним явищем, що зображується проходженням режимного вектора через область критичного стану системи H_2O-CO_2 з орієнтацією, що близька до кривих її двохфазової рівноваги (при вмісті CO_2 від 40 до 41 %) [5]. Саме за цих умов у флюїдних включеннях спостерігаються ознаки гетерогенізації розчинів з відокремленням CO_2 у самостійну фазу. З падінням температури та тиску щільність CO_2 змінювалася від 1,2 г/см³ (рідка CO_2) до 0,1 г/см³ (газоподібна CO_2). Гетерогенізація та природна дегазація флюїдної системи не потребує традиційних апеляцій до тектонічних факторів (різкий приріст робочого об'єму системи, ритмічні перепади тиску, температури та ін.); двофазовий стан вуглекисотно-водної системи (вміст CO_2 коливається від 40 до 41 %) є до природним у даних РТ-умовах. Не відкидаючи ролі тектонічного фактору, слід зазначити, що для родовищ типу Майське він не відіграє вирішальної ролі в процесі формування рудної мінералізації, як це спостерігається на жильних родовищах. В умовах тривалого існування нерівноважного двофазового стану та повільної дегазації флюїдної системи вирішальну роль у формуванні рудної мінералізації відіграє комплекс потенціалрегулювальних факторів (зміна Eh- та pH-режимів).

Фізико-хімічні параметри формування пірит-халькопірит-клінопіротинової асоціації із самородним золотом, вісмутом та телуридами, визначені на основі термобаро-геохімічних досліджень, підтверджуються на основі мінералів-індикаторів (клінопіротину, самородного вісмуту, асоціацій телуридів, карбонатів, хлориту, гідрослюд тощо). Важливими індикаторами параметрів мінералоутворювальних розчинів на момент формування золоторудної мінералізації є телуриди та сульфосолі вісмуту, золота та срібла. Останні експерименти з фракціонування Au між гідротермальними розчинами і рідким Bi

демонструють, що за температур вище 271 °C рідкий Ві є активним осаджувачем Ау з перенасичених золотом гідротермальних розчинів, особливо коли fS_2 нижча за піротин-піритовий буфер [6]. Про пересиченість Ау мінералоутворювальних розчинів свідчать дендритні наростання на кристалах золота, а наступне зниження fS_2 , що сприяє осадженню халькогенідів, можна розглядати як наслідок переходу гексагональний $\rightarrow$ моноклінний піротин.

Зростання золота і вісмуту з криволінійними границями фаз є показником того, що низькотемпературна мальдонітова (Au_2Bi) евтектика 113 °C була досягнута під час рудоутворення, однак відсутність мальдоніту в проростаннях золота і вісмуту у вигляді стабільної фази або в асоціації із самородним вісмутом є доказом, що на Майському родовищі температура осадження Ау-Ві із флюїду була вищою за 113 °C. Верхня температурна межа формування золоторудного парагенезису обмежується температурами стабільності моноклінного піротину (від 160 до 273 °C). У межах такого температурного діапазону перебувають і температури кристалізації деяких мінеральних асоціацій золоторудного парагенезису: самородний вісмут+вісмутин з евтектикою при 270 °C у системі Ві-S, самородний вісмут+хедлєйт з евтектикою 266 °C. Зростання калавериту або телуровісмутиту із самородним телуrom відповідає температурам від 420 до 400 °C. Однак ці цифри вказують на найвищу можливу температуру для даної асоціації, що є стабільною і за температури 270 °C.

Формування асоціації тетрадиміт, гесит, густавіт з гематитом відображує подальшу еволюцію розчину. Тетрадиміт, у якому відношення $Me/(Fe+S) < 1$ має широке стабільне поле і може утворюватися навіть у порівняно високих fO_2 – низьких fS_2 умовах за достатньої кількості Те в розчині. Однак співіснування самородного вісмуту і тетрадиміту всередині пластинок гематиту вказує, що формування цієї асоціації відбувалося при a_{Bi} близькій до попередньої, але в умовах зростання активності кисню та зниження fS_2 нижче стабільності піротину та піриту. Так, Ау-Те-Ві мінералізація кристалізується з розчинів у температурному діапазоні 273–160 °C в умовах достатньо різних змін параметрів мінералоутворювальних розчинів від слаболужних кислих зі зростанням активності сірки та кисню.

Мінералоутворення післярудного періоду проходило в умовах гомогенно-гідротермальної системи з низькими вмістами солей (від 1 до 0,5 %) за температур від 190 до 50 °C та тисків від 70 до 50 МПа. Дисульфідизація гексапіротину з утворенням сульфідів та тіосульфатів заліза відмічає падіння температур < 178 °C [4]. Наявність низькотемпературних мінералів в агрегатах дисульфідизації (бравойту, смайтиту, гетиту), а також розвиток марказиту, віолариту, мілериту при перекристалізації продуктів дисульфідизації вказують на подальше зростання fO_2 , що може бути зумовлено привнесенням у систему низькотемпературних окислених розчинів

Перекристалізація агрегатів продуктів дисульфідизації, вірогідно, ініціюється незначним підвищенням температури; формування марказит-піритових агрегатів відбувається за температур 240–140 °C. Розчини на момент формування пірит-марказитових агрегатів характеризувалися підвищеною кислотністю ($pH < 5,0$) в умовах високої активності кисню.

Висновки. Рудно-петрологічні моделі з визначенням фізико-хімічних параметрів петро- та рудоутворення побудовані на основі петрографічних, мінералогічних і термобарогеохімічних досліджень, а також за результатами геохронологічних визначень.

Формування рудної мінералізації Майського родовища та всього Савранського рудного поля загалом завершує довготривалі петрогенетичні процеси, що відбувалися протягом палеоархею (більш ніж 3,6 млрд років) – палеопротерозою (від 1,9 до 1,8 млрд років). Основним механізмом утворення рудних покладів на об'єкті є зміна параметрів рудних розчинів (a_{S_2} , pH, або fO_2) внаслідок взаємодії флюїду із вміщувальними породами. Взаємодія розчинів із компонентами вміщувальної породи, що збагачені Fe (з піротином), викликає трансформацію гексагонального піротину в моноклінний, формування піриту та осадження золота.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобров О. Б., Сіворонов А. О., Степанюк Л. М., Довбуш Т. І., Меркушин І. Є., Гнутенко Н. О., Бакуменко І. Т., Сергієнко В. М. Геологічна позиція та вік гранітів Майського золоторудного родовища (Середнє Побужжя). *Мин. журн.* 1999. т. 21, № 4. С. 83–86.
2. Степанюк Л. М., Грінченко О. В., Загнітко В. М., Бартницький Є. М. Уран-свинцевий вік жильних гранітоїдів Середнього Побужжя. *Доп. Нац. АН України.* 1996. №11. С. 129–133.
3. Stein H., Markey R., Sundblad C., Bobrov A.B., Sivoronov A.A., Merkushin I.E. Precise ^{187}Re – ^{187}Os Ages for Au Deposits in Ukrainian Shield. *Proc. Symp. EUG 10. Strasbourg, France: Terra Nova.* 1998. P. 528.
4. Бобров О. Б., Ляхов Ю. В., Павлунь М. М., Сіворонов А. О. Флюїдний режим процесів петро- та рудогенезу та термобарогеохімічні критерії оцінки золотоносних зон Майського родовища (Савранське рудне поле, Побужжя). *Мінералогічний збірник*, 2001, № 51 вип. 1. С. 12–21.
5. Ridley J.R., Groves D.I., Hagemann S.G. Exploration and deposit models for gold deposits in amphibolite/granulite facies terrains: MERIWA, Report. 1995, № 142, 151p.
6. Craig J.R., Scott S.D. Sulfide phase equilibria. In: Ribbe P.H. (ed.): *Sulfide mineralogy*, 1974, p. 1–110

REFERENCES

1. Bobrov, O. B., Sivoronov, A.O., Stepaniuk, L.M., Dovbush, T.I., Merkushyn, I.Ye., Hnutenko. N.O., Bakumenko, I.T., Serhiienko, V.M. (1999). Heolohichna pozysitiia ta vik hranitiv Maiskoho zolotorudnoho rodovyshcha (Serednie Pobuzhzhia) [Geological position and age of granites of the Maysky gold deposit (Middle Pobuzhye)]. *Мyn. zhurn.* t. 21, №4. S. 83–86.
2. Stepaniuk, L.M., Hrinchenko, O.V., Zahnitko, V.M., Bartnytskyi, Ye.M. (1996). Uran-svyntsevyi vik zhylnykh hranitoidiv Serednoho Pobuzhzhia [Uranium-lead age of vein granitoids of the Middle Pobuzhye]. *Dop. Nats. AN Ukrainy.* №11. S. 129–133.
3. Stein, H., Markey, R., Sundblad, C., Bobrov, A.B., Sivoronov, A.A., Merkushin, I.E. (1998). Precise ^{187}Re - ^{187}Os Ages for Au Deposits in Ukrainian Shield *Proc. Symp. EUG 10. – Strasbourg, France: Terra Nova.* P. 528.
4. Bobrov, O.B., Liakhov, Yu.V., Pavlun, M.M., Sivoronov, A.O. (2001) Fluidnyi rezhym protsesiv petro- ta rudohenezu ta termobarogeochemichni kryterii otsinky zolotonosnykh zon Maiskoho rodovyshcha (Savranske rudne pole, Pobuzhzhia) [Fluid regime of petro- and ore-genesis processes and thermobarogeochemical criteria for evaluating gold-bearing zones of the Maysky deposit (Savranskoye ore field, Pobuzhye)]. *Mineralohichnyi zbirnyk*, №51 vyp. 1. S. 12–21.
5. Ridley, J.R., Groves, D.I., Hagemann, S.G. (1995) Exploration and deposit models for gold deposits in amphibolite/granulite facies terrains: MERIWA, Report № 142, 151p.
6. Craig, J.R., Scott, S.D. (1974). Sulfide phase equilibria. In: Ribbe P.H. (ed.): *Sulfide mineralogy*, p. 1–110

PHYSICAL AND CHEMICAL FEATURES OF THE SAVRAN ORE FIELD (UKRAINIAN SHIELD)

Oleksandr Shvaievskiy, Oleksandr Bobrov, Mykola Pavlun, Taras Shvaievskiy

Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: oleksandr.shvayevskyy@lnu.edu.ua

The article reveals the features of the polycyclic course of the processes of formation of metamorphic complexes of the Dniester-Bug geoblock in general, and the Savran-Synitsivska area in particular. It is found that they have different intensity of manifestation of thermal endogenous processes in spatially close and similar in composition rocks. At the level of mineral composition, this is reflected in the absence of certain minerals, or certain generations of minerals, as well as in the crystal anatomy of accessory minerals-geochronometers - zircon and monazite; which is an additional source of information when dating the main geological processes.

Particular attention is paid to establishing the time of formation of granite massifs and pegmatoid bodies within the Mayske deposit, as processes that preceded the formation of ore mineralization. It has been established that the age of aplite-pegmatoid granites of the Southern massif is (2.379 ± 0.076) billion years [1], while the U-Pb age of vein pegmatoid granites is (2.040 ± 0.050) billion years [2]. The large time gap (over 300 million years) between the formation of the massif of aplite-pegmatoid and veined pegmatoid granites contradicts geological observations, according to which pegmatoid granites are a veined facies of leucocratic aplite-pegmatoid granites. Most likely, the figure (2.379 ± 0.076) billion years for zircon-I corresponds to the early stages of the formation of the Southern massif of aplite-pegmatoid granites. The formation of granite massifs, pegmatoid formations and intensive metasomatic processing of the stratum at about 2.0 billion years is confirmed by the U-Pb age of monazite from charnockites in the Pervomaik region (2.06 ± 0.001) billion years [2] and Re-Os data of the age of molybdenites from pegmatites is (2.06 ± 0.009) billion years, and 2.02 billion years – from biotite-quartz-oligoclase metasomatites of the Maiskoye deposit [3].

The course of the processes of silicic-alkaline metasomatism, palingenesis, and acid leaching and their role in ore formation are analyzed. It has been established that deposits with formation depths of 8 to 15 km (Mayske deposit) are characterized by vein and vein mineralization with a predominance of pyrite, arsenopyrite, and pyrrhotite in the composition of ores; peri-ore changes are represented by zones of carbonatization, muscovitization, biotitization, and albitization.

Key words: ore field, mineralization, supercrustal formation, granulite complex, metasomatism, surrounding ore changes.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ВІДТВОРЕННЯ СКЛАДУ КРЕМЕНЕВИХ ГУБОК ТА ЇХ УМОВ ІСНУВАННЯ В РАННЬОСЕНОМАНСЬКИЙ ЧАС НА СХІДНОМУ СХИЛІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Юлія Клименко

*Інститут геологічних наук НАН України, вул. Олеся Гончара, 55-б, Київ, Україна, 01054
e-mail: yulia_k77@ukr.net*

Наведено результати мікропалеонтологічного дослідження отримані за спікулами кременевих губок з нижньосеноманських відкладів на території східного схилу Українського щита в районі Канівських дислокацій. В досліджуваних розрізах виділено комплекси спікул губок, які характеризують нижньосеноманський вік порід. На підставі проведеного аналізу систематичного складу спікул губок, що були виявлені в нижньосеноманських відкладах Канівських дислокацій встановлено, що вони належать до губок з класу Demospongea. В класі Demospongea встановлено губки, що належать до представників ряду Tetraxonida. Серед спікул з ряду Tetraxonida визначено такі, що відносяться до губок з незв'язаним скелетом – підряд *Astrophora* і до губок зі зв'язаним лігистидним скелетом, що складається з різнобудованих десм – підряд *Desmophora*. Серед підрядів *Astrophora* і *Desmophora* встановлено наступні родини: *Isoraphiniidae*, *Phymatellidae*, *Jereidae*, *Discodermidae*, *Stellettidae*.

За характерними спікулами визначено низку родів губок, що ймовірно існували в ранньосеноманському басейні території досліджень. За відтвореним складом асоціації губок, які населяли палеобасейн в ранньосеноманський час на досліджуваній території, зроблена спроба реконструювати деякі умови їх існування.

Ключові слова: комплекс спікул губок, морфовиди, ранній сеноман, Канівські дислокації, умови існування, палеобасейн.

Вступ. Канівські дислокації здавна привертали увагу своїми мальовничими краєвидами не лише туристів, а й багатьох дослідників, оскільки тут на денну поверхню виходять дислоковані породи утворюючи «Канівські гори». На початку XX століття район Канівських дислокацій відносився до Дніпровсько-Донецької западини. За новими даними цей район розташований на східному схилі Українського щита [6]. Геологічна будова району почала вивчатись ще в XIX столітті наступними дослідниками Дюбуа де Монпере (1832), К.М. Феофілактовим (1851, 1872), О.П. Карпінським (1883), І.Я. Армашевським (1896). В подальшому регіон досліджувався П.А. Тутковським (1900), В.Д. Ласкаревим (1905), Д.М. Соколовим (1926-1933), М.О. Мельником (1928), О.С. Фещенко (1933), В.Г. Бондарчуком (1941), М.П. Балуховським (1945), Г.Є. Рябухіним (1947), М.М. Клошніковим (1948), І.Г. Підоплічко (1947, 1952, 1955), О.К. Каптаренко-Черноусовою (1957), В.І. Славіним (1957), Є.М. Матвієнко (1961), В.А. Голубєвим (1964) та іншими. Стратиграфічні та палеонтологічні дослідження мезозойських відкладів в районі Канівських дислокацій проводили: А.В. Рогович (1871), О.Д. Карицький (1883-1889), Г.А. Радкевич (1896), Р.Р. Виржиківський (1916), В.В. Різниченко (1923-1929), К.А. Цитович (1927, 1928), Н.В. Піменова (1939), Є.І. Соколова (1945), Л.Г. Дайн (1947), І.М. Ямниченко (1947-1948), Є.А. Краєва (1959), І.І. Нікітін (1964, 1969), О.В. Іванніков (1966, 1968), О.В. Паришев

(1968a, 1968b), М.П. Долуденко (1963, 1984, 1987, 1988), Д.М. П'яткова (1985), І.А. Шилкіна (1985), О.А. Шевчук (2007, 2008, 2015 а, 2015 б) [5, 7, 8, 9], Л.М. Матлай (2009) [4], Ю.Б. Доротяк (2009, 2015 а, 2015 б) [1; 5; 8] та інші. Однак питання щодо геологічної будови Канівських дислокацій, з'ясування послідовності геологічних подій та процесів, які сприяли та впливали на формування осадових утворень на сьогодні все ще є актуальним та дискусійним.

У даній публікації ми доповнюємо характеристику сеноманських відкладів даними отриманими за мікрофауністичним аналізом.

Метою дослідження є відтворення складу угруповання кременевих губок та їх умов існування в ранньосеноманський час на території східного схилу Українського щита в районі Канівських дислокацій.

Матеріали та методи досліджень. Матеріалом для проведення досліджень слугували зразки порід ранньосеноманського віку, які були відібрані на території Канівщини з відслонень: Меланчин потік, Мар'їн та Холодний яри.

При дослідженні спікул кременевих губок з нижньосеноманських відкладів Канівських дислокацій було застосовано мікропалеонтологічний та біостратиграфічний методи. При відтворенні умов існування губок використано метод актуалізму.

При вивченні та визначенні морфородів і морфовидів кременевих губок з ізольованими спікулами було застосовано паратаксономічну класифікацію розроблену доктором наук, професором М.М. Іваніком (Іванік М.М., 2003).

Результати досліджень. Відомо, що на території східного схилу Українського щита в районі Канівських дислокацій осадовий чохол складений тріасовими, юрськими, крейдовими, палеогеновими, неогеновими, четвертинними утвореннями.

Крейдові відклади на досліджуваній території представлені альбським та сеноманським ярусами.

Альбський ярус в районі Канівських дислокацій представлений верствами «Виржиківського». Також тут присутня континентальна товща потужністю 0,5-2,0 м, яка встановлена між відкладами юри і крейди (яр Меланчин потік).

Верстви Виржиківського складені сірувато-зеленими глауконітовими пісками і гравієм з домішкою каолінового матеріалу, інколи білими кварцовими пісками з лінзами каолінів [6]. Вони незгідно залягають на бурих глинах келовейського віку, а перекриваються гезо-спонголітовою пачкою верхньоальбсько-нижньосеноманського віку. Потужність складає 0,5-2,0м. Встановлено альбський спорово-пилковий комплекс *Ophioglossum* sp., *Gleichenioidites* sp., *Cyathidites* sp., Pinaceae (*Pinuspollenites* sp.) та Podocarpaceae (*Podocarpidites* sp.). Спори складають 30%, пилок голонасінних рослин – 55%, покритонасінних – до 10%. За палінологічними даними ці відклади визначаються як альбські. [7; 9].

Верхньоальбські-нижньосеноманські відклади на території досліджень представлені гезо-спонголітовою пачкою, яка складена морськими відкладами альбу – різнозернистими пісками з прошарками і стяжіннями зеленувато-сіруватого глауконітового пісковику з рештками рослин, уламками деревини і морською фауною; вище – сеноманським глауконіт-кварцовим піском дрібно-середньозернистим з 40% вмістом глауконіту. Залягає на верствах Виржиківського або на глинах келовею. Потужність 20-25 м [6].

Встановлено макрофауну – *Pervinqueria inflata* Sow. (зональний вид середньої зони раннього альбу), *Elobiceros browni* Haas, *Lucina downesi* Woods, *Exogyra arduennensis* Orb., *Chlamys gaultina* Woods та ін. [6]. Визначено диноцисти – *Odontochitina operculata* (O. Wetz.) Defl. and Cooks., *Odontochitina costata* Alb., *Spiniferites* spp., нижньокрейдові *Pareodinia* spp. та спорово-пилковий комплекс – *Gleichenioidites* spp., *Cyathidites* sp., *Ophioglossum* sp., *Corniculatisporites* sp., *Osmundacidites* sp., *Pinuspollenites* spp., *Piceapollenites* spp.,

Cedripites spp., *Podocarpidites* spp., Ginkgocycadaceae, *Clavatipollenites* sp. [7; 9]. Датована пізнім альбом – раннім сеноманом за макрофауною та новими палінологічними даними.

Сеноманський ярус представлений бурімською світою, яка відслонюється в ярах: Пекарському, Холодному, Мар'їному. Поділяється на нижню (альб) і верхню (сеноман) частини. Нижня частина світи складена кварцово-глауконітовими пісками вапнистими з включеннями кременистих пісковиків. Потужність до 20 м. Світа залягає на нижньокрейдових відкладах, перекривається згідно мергельно-крейдовою товщею середнього-верхнього сеноману.

Тут встановлено макрофауну: *Mortoniceras inflatum* (Sov.), *Amphidonte conicum* Sow., *Chlamys aspera* (Lam.); форамініфери *Gavelinella slavutichi* (Kapt.) та спорово-пилковий комплекс альбського віку. У складі спорово-пилкового комплексу пилки голонасінних (65%) значно переважає над спорами папоротеподібних (20%) та пилком покритонасінних рослин (3–5%). Зустрічаються також цисти динофітових водоростей (до 10%) та органічна складова мікрофорамініфер. Спори становлять до 20% всього палінокомплексу. Головну роль в їх складі відіграють *Gleicheniidites* sp., *Cyathidites* sp., *Ophioglossum* sp., *Osmundacidites* sp. Серед голонасінних важливе значення має пилка хвойних (65%): *Pinuspollenites* spp., *Piceapollenites* spp., *Cedripites* spp. та *Podocarpidites* spp. Характерною ознакою альбу є присутність пилки покритонасінних рослин *Clavatipollenites* sp. Встановлені диноцисти характерні для пізньоальбського віку *Odontochitina costata* Alb. Також визначені цисти *Spiniferites* spp., *Pareodinia* sp. – представники цих родів вже не зустрічаються у відкладах верхньої крейди.

Верхня частина світи складена пісками вапнистими, глинистими, кременистими з фосфоритами і зеленувато-сірими кварцово-глауконітовими пісковиками карбонатними, глинистими слюдистими з жовнами фосфоритів, галькою та гравієм кременю і кварцу в підшві. Потужність 40–60 м. Охарактеризована фауною верхнього альбу – нижнього сеноману: *Amphidonte conicum* Sow., *Chlamys aspera* (Lam.) і форамініферами *Gavelinella senomanica* (Brotz.), *Lingulogavelinella praeformosa* (Kapt.), *Thalmaninella appeninica* (Renz.). Встановлено сеноманський спорово-пилковий комплекс, який характеризується участю спор папоротеподібних – до 23%, пилку голонасінних (57%) і покритонасінних – до 20%. Трапляються бобоподібні спори *Polipodiumsporites* sp., що характерні для верхньої крейди. Встановлений комплекс диноцист – *Diconodinium cristatum*, *Spiniferites ramosus*, *Chlamydophorella nyei*, *Cleistosphaeridium* sp., *Odontochitina costata*, *Cribrasperidium cooksonae*, *Oligosphaeridium* sp., *Callaiosphaeridium* sp., *Coronifera oceanica*. За таксономічним складом диноцист, видовим і кількісним вмістом спор та пилку вік вміщуючих відкладів датується як сеноманський [6].

Світа датована пізнім альбом – раннім сеноманом за макрофауною, форамініферами та палінологічними даними.

Крейдові відклади, які представлені нижньосеноманським підярусом в районі Канівських дислокацій було досліджено нами у відслоненнях Меланчин потік, Мар'їн та Холодний яри [2; 3].

У відслоненні Меланчин потік відклади нижнього сеноману представлені товщею пісків світло-зеленувато-сірих глауконіт-кварцових з прошарками пісковиків. Тут було виявлено комплекс спікул губок. В комплексі переважають спікули губок морфовидів: *Monocrepidites elephantiformis* Iv. et Kl., *M. dilatatus* Iv. et Kl., *Monotrabecla insaia* Iv. et Kl., *Tricrepidites elephanticoncavus* Iv. et Kl., *Desma* sp. indet. Присутні поодинокі чотирипроменеві ізольовані спікули губок: *Plagiodichotriaena* ex gr. *transitiva* Iv., *Orthodichotriaena* ex gr. *minuta* Iv., *O.* ex gr. *intermedia* Iv., *O. transitoria* Iv. et Kl., *Plagiotriaena* sp. indet, *Triaena* sp. indet, *Dichotriaena* sp. indet. Мікросклери представлені поодинокими *Sphaeraster* ex gr. *torosus* Iv. [2;3].

Нижньосеноманські відклади у відслоненні Холодний яр складені товщею пісків зеленувато-сірих, глауконіт-кварцових дрібно-середньозернистих, в яких виявлено спікули губок морфовидів: *Monocrepides elephantiformis* Iv. et Kl., *M. dilatatus* Iv. et Kl., *Desma* sp. indet. Присутні також чотирипроменеві спікули губок: *Plagiotriaena* ex gr. *magnifica* Iv., *P.* sp. indet, *Orthodichotriaena* ex gr. *intermedia* Iv., *O. transitoria* Iv. et Kl., *Triaena* sp. indet. [2; 3].

Нижньосеноманські відклади у відслоненні Мар'їн яр представлені товщею пісків та пісковиків світло-зеленувато-сірих глауконіт-кварцових мілкозернистих. Тут було виявлено комплекс спікул. В комплексі присутні представники морфопідродини Desmatinae: *Monocrepides elephantiformis* Iv. et Kl., *M. dilatatus* Iv. et Kl., *Desma* sp. indet, які відносяться до спікул зі зв'язаним скелетом. Виявлено поодинокі чотирипроменеві спікули *Plagiotriaena* ex gr. *magnifica* Iv., *P.* sp. indet, *Plagiodichotriaena* ex gr. *transitiva* Iv., *Orthodichotriaena transitoria* Iv. et Kl., *Triaena* sp. indet.

Отже, в складі комплексу спікул губок з нижньосеноманських відкладів Канівських дислокацій переважають спікули літистидних губок морфовидів: *Monocrepides elephantiformis* Iv. et Kl., *M. dilatatus* Iv. et Kl., *Monotrabecula insaia* Iv. et Kl. В комплексі присутні також поодинокі спікули чотирипроменевих губок та сферастри.

Відтворення складу асоціації губок у ранньосеноманський час.

Відомо, що Український щит (УЩ) у сеномані був тектонічно стабільною структурою платформної України. Блокова структура УЩ визначала палеореельєф суходолу та положення берегової смуги. У сеноманський вік море вкривало більшу його частину. Підвищені ділянки, які знаходились у центральній частині УЩ, утворювали великі та малі острови. На території УЩ існували протоки, що з'єднували басейн ДДЗ з басейнами Причорномор'я та Приазов'я. Їх положення визначалось розломними та депресійними зонами. Ранньосеноманський етап являв собою загалом регресивний етап розвитку басейну. Найбільші глибини були характерні для депресійних і крайових частин щита. Море, що вкривало УЩ, характеризувалося виключно мілководними умовами седиментації. Тут відкладались піски зеленувато-сірі, дрібнозернисті, кварцові і глауконіт-кварцові, галечники та пісковики загальною потужністю до 40м [10]. Серед фауни були присутні амоніти, белемніти, двостулкові молюски, гастроподи, морські їжаки, форамініфери, морські лілії губки та ін.

За результатами проведеного аналізу систематичного складу виявленого комплексу спікул губок можливо припустити, що в ранньосеноманському басейні району Канівських дислокацій переважали губки, що мали літистидний скелет, оскільки в комплексі виявлені різнобудовані десми. Також в комплексі виявлені поодинокі спікули, що належать чотирипроменевим губкам. На присутність в ранньосеноманському басейні Канівських дислокацій губок триби Megamorina роду *Isoraphinia* родини Isoraphiniidae вказує наявність монокрепідних та трикрепідних десм, що з'єднані сплосченими розширеними кінцями та дихотрієн. В комплексі також виявлено десми з гладкою поверхнею, що є характерними для губок роду *Siphonia* родини Phymatellidae, а також для роду *Jerea* родини Jereidae [3]. На ймовірну присутність губок роду *Discodermia* та роду *Rhagadinia* родини Discodermidae, вказує наявність тетраклон з горбкуватими гілками, що є характерними для цієї родини [3]. Також імовірно існували поодинокі чотирипроменеві губки роду *Stelletta* родини Stellettidae оскільки в комплексі присутні макросклери-плагіотрієни, дихотрієни, а також мікросклери представлені сферастрами. Не виключена присутність представників роду *Penares* родини Stellettidae, так як в комплексі виявлено поодинокі дихотрієни та сферастри [3].

Висновки. За проведеним аналізом встановленого систематичного складу комплексу спікул губок з нижньосеноманських відкладів Канівських дислокацій відтворено

склад асоціації губок, що населяла палеобасейн в ранньосеноманський час. Оцінено зміни у розвитку та складі угруповання губок на дослідженій ділянці палеобасейну впродовж ранньосеноманського часу в залежності від умов існування.

За результатами проведених досліджень можливо припустити, що в ранньосеноманському басейні східної частини УЩ в районі Канівських дислокацій існували переважно губки з літистидним скелетом з підряду *Desmophora*, це представники триби *Megamorina* з роду *Isoraphinia* родини *Isoraphiniidae*. Також присутні губки роду *Siphonia* з родини *Phymatellidae*, роду *Jerea* з родини *Jereidae*, а також роду *Discodermia* та роду *Rhagadinia* родини *Discodermidae*, що належить до триби *Tetracladina*. Поряд з ними в значно меншій кількості були присутні чотирипроменеві губки роду *Stelletta* та роду *Penares* з родини *Stellettidae*, що належать до підряду *Astrophora*.

Всі встановлені родини та роди губок належать до ряду *Tetragonida*. Відомо, що більшість представників сучасних *Tetragonida* належать до теплолюбних тварин та є чутливими до коливань солоності морських вод. Тому можливо зробити висновок про те, що на території Канівських дислокацій ранньосеноманський морський палеобасейн був відносно теплим.

Сучасні губки, що мають літистидний скелет надають перевагу камінню та твердим ґрунтам, вони мешкають в прибіжній полосі та верхніх горизонтах субліторалі. Тому присутність їх в ранньосеноманській асоціації губок вказує на те, що ймовірно досліджувана ділянка в ранньосеноманський час знаходилась в прибережній і мілководній частині морського басейну.

У встановленій асоціації губок присутні губки родів *Penares* і *Stelletta*. Відомо, що сучасні губки роду *Penares* з родини *Stellettidae* надають перевагу мілководдю, а рід *Stelletta* мешкає переважно на глибині 100-250м при температурі водних мас 0-7°C. Присутність їх в ранньосеноманському басейні пояснюється існуванням в мілкому епіконтинентальному морі районів куди проникали прохолодні течії та наявністю більш глибоководних ділянок.

Так як сучасні губки мешкають у слабоопрісненій воді або у воді з нормальною солоністю, а встановлені представники ряду *Tetragonida* досить чутливі до коливань солоності морської води, то можливо припустити, що солоність ранньосеноманського морського басейну на дослідженій ділянці району Канівських дислокацій була близькою до нормальної.

Оскільки губки мають іригаційну систему харчування, та мешкають на морському дні, де течії не є занадто інтенсивними, тому ймовірно гідродинамічна активність придонних вод на дослідженій ділянці палеобасейну була помірною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клименко Ю. В., Доротяк Ю. Б. Спікули кремeneвих губок та форамініфери з келовейських відкладів Канівських дислокацій. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. Випуск 2. 2009. С. 185–189.
2. Клименко Ю. В. Нові дані до палеонтологічної характеристики сеноманських відкладів Канівських дислокацій. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. Київ, 2011б. Випуск 4. С. 67–70.
3. Клименко Ю. В. Спікули губок з юрських та крейдових відкладів платформної України : автореф. дис. ... канд. геол. наук: 04.00.09. Київ. 2021. 24 с.
4. Матлай Л. М. Вапняковий нанопланктон з келовейських відкладів району Канівських дислокацій. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. Випуск 2. 2009. С. 200–206.

5. Олена Шевчук, Юлія Доротяк, Юлія Клименко. Келовейські мікрофосилії різного походження як показники клімату й умов осадко накопичення на території центральної України. Матеріали VI всеукраїнської наукової конференції «Проблеми геології фанерозою України» (Львів, 24-26 вересня 2015 р.). Львів. 2015а. С. 10–15.
6. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України. Том 1.: Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. Гол. ред. П.Ф. Гожик. Київ.: Логос, 2013. 638 с.
7. Шевчук О. А. Перші палінологічні дані до характеристики келовейських та пізньоальбських відкладів околиць м. Канева. Від геології до біосфери. Проблеми теперішнього, майбутні перспективи (до 70-річчя від дня народження професора С.А. Мороза). Київ. 2007. С. 30–31.
8. Шевчук О. А., Веклич О. Д., Доротяк Ю. Б. Microforaminifers of the Callovian and Cretaceous sediments of Ukraine. Геологічний журнал. № 2 (351). Київ. 2015б. С. 57–70.
9. Шевчук О. А. Палеогеографічні умови на території східного схилу Українського щита в келовейський та ранньокрейдовий часи (за палінологічними даними). Біостратиграфічні основи побудови стратиграфічних схем фанерозою України. Київ. 2008. С. 101–106.
10. Якушин Л. Біостратиграфія осадових утворень, палеогеографія та палеоекологія пізньокрейдового басейну платформної України (за макрофауною) : Автореф. дис. д-ра геол. наук. Київ. 2010. 43 с.

REFERENCES

1. Klymenko, YU. V., Dorotyak, YU. B. (2009). Spikuly kremenevykh hubok ta foraminifery z keloveys'kykh vidkladiv Kanivs'kykh dyslokatsiy [Spicules of flint sponges and foraminifera from the Callovian deposits of the Kaniv dislocations]. *Zbirnyk naukovykh prats' Instytutu heolohichnykh nauk NAN Ukrainy*. Vypusk 2. P. 185–189 [in Ukrainian].
2. Klymenko, YU. V. (2011b). Novi dani do paleontolohichnoyi kharakterystyky senomans'kykh vidkladiv Kanivs'kykh dyslokatsiy [New data on the paleontological characteristics of the Cenomanian deposits of the Kaniv dislocations]. *Zbirnyk naukovykh prats' Instytutu heolohichnykh nauk NAN Ukrainy*. Kyiv. Vypusk 4. P. 67–70 [in Ukrainian].
3. Klymenko, YU. V. (2021). Spikuly hubok z yurs'kykh ta kreidovykh vidkladiv platformnoyi Ukrainy: avtoref. dys. ... kand. heol. nauk [Spicules of sponges from Jurassic and Cretaceous sediments of platform Ukraine. Extended abstract of candidate's thesis. Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv. 24 p. [in Ukrainian].
4. Matlay, L. M. (2009). Vapnyakovyy nanoplankton z keloveys'kykh vidkladiv rayonu Kanivs'kykh dyslokatsiy [Calcareous nanoplankton from Callovian deposits of the Kaniv dislocation area]. *Zbirnyk naukovykh prats' Instytutu heolohichnykh nauk NAN Ukrainy*. Vypusk 2. P. 200–206 [in Ukrainian].
5. Olena Shevchuk, Yuliya Dorotyak, Yuliya Klymenko (2015a). Keloveys'ki mikrofosyliyi riznoho pokhodzhennya yak pokaznyky klimatu y umov osadko nakopychennya na terytoriyi tsentral'noyi Ukrainy [Callovian microfossils of various origins as indicators of climate and sedimentary accumulation conditions in the territory of central Ukraine]. *Materialy VI vseukrayins'koyi naukovoï konferentsiyi «Problemy heolohiyi fanerozoïy Ukrainy» (L'viv, 24-26 veresnya 2015 r.)*. L'viv.. P. 10–15 [in Ukrainian].
6. Stratyhrafiiya verkhnoho proterozoïu ta fanerozoïu Ukrainy. T. 1: Stratyhrafiiya verkhnoho proterozoïu, paleozoïu ta mezozoïu Ukrainy [Stratigraphy of the Upper Proterozoic and the Phanerozoic of the Ukraine. Vol. 1. Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of the Ukraine] (2013). (Ed. P. V. Gozhik). Kyiv: Logos. 638 p. [in Ukrainian].

7. Shevchuk, O. A. (2007). Pershi palinologichni dani do kharakterystyky keloveys'kykh ta pizn'oal'bs'kykh vidkladiv okolyts' m. Kaneva [First palynological data for the characterization of Callovian and Late Albian deposits in the vicinity of Kanev]. Vid heolohiyi do biosfery. Problemy teperishn'oho, maybutni perspektyvy (do 70-richchya vid dnya narodzhennya profesora S.A. Moroza). Kyiv. P. 30-31 [in Ukrainian].
8. Shevchuk, O. A., Veklych, O. D., Dorotyak, YU. B. (2015b). Microforaminifers of the Callovian and Cretaceous sediments of Ukraine. Heolohichnyy zhurnal. № 2 (351). Kyiv. P. 57–70 [in Ukrainian].
9. Shevchuk, O. A. (2008). Paleoeohrafichni umovy na terytoriyi skhidnoho skhylyu Ukrayins'koho shchyta v keloveys'kykh ta rann'okreydovykh chasy (za palinologichnyimi danyimi) [Paleogeographic conditions on the territory of the eastern slope of the Ukrainian Shield in the Callovian and Early Cretaceous times (according to palynological data)]. Biostratyhrafichni osnovy pobudovy stratyhrafichnykh skhem fanerozoju Ukrayiny. Kyiv. P. 101–106 [in Ukrainian].
10. Yakushyn, L. (2010). Biostratyhafiya osadovykh utvoren', paleoeohrafiya ta paleoekolohiya pizn'okreydovoho baseynu platformnoyi Ukrayiny (za makrofaunoyu) [Biostratigraphy of sedimentary formations, paleogeography and paleoecology of the Late Cretaceous basin of platform Ukraine (by macrofauna)] : Avtoref. dys. d-ra heol. nauk. Kyiv. 43 p. [in Ukrainian].

REPRODUCTION OF THE COMPOSITION OF SILICIUM SPONGES AND THEIR CONDITIONS OF EXISTENCE IN THE EARLY CENOMANIAN TIMES OF THE EASTERN SLOPE OF THE UKRAINIAN SHIELD

Yulia Klymenko

*Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Olesya Honchara Str., 55-b, Kyiv, Ukraine, 01054*

The article presents the results of micropaleontological studies based on flint sponge spicules from Lower Cenomanian sediments on the territory of the eastern slope of the Ukrainian Shield in the area of the Kaniv dislocations. In the studied sections, sponge spicule complexes characterizing the Lower Cenomanian age of rocks were identified. Based on the analysis of the systematic composition of sponge spicules found in the Lower Cenomanian sediments of the Kaniv dislocations, it was established that they belong to the sponges of the class Demospongia. Sponges belonging to the representatives of the order Tetraxonida have been identified in the class Demospongia. Among the spicules of the order Tetraxonida, we identified those belonging to sponges with an unconnected skeleton - suborder Astrophora and to sponges with a connected lithistid skeleton consisting of differently arranged desmata - suborder Desmophora. The following families were identified among the orders Astrophora and Desmophora: Isoraphiniidae, Phymatellidae, Jereidae, Discodermidae, Stelletidae.

Based on the characteristic spicules, a number of sponge genera were identified that probably existed in the Early Cenomanian basin of the study area. Based on the reconstructed composition of the association of sponges that inhabited the paleobasin in the Early Cenomanian in the studied area, an attempt was made to reconstruct some of the conditions of their existence.

Key words: sponge spicules, morphospecies, living conditions, paleobasin, Early Cenomanian, Kaniv dislocations.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ІСТОРІЯ НАУКИ

УДК 378.4.096:55(477.83-25)(091) (035)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.39.19>

З ІСТОРІЇ ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА (ДО 80-РІЧЧЯ ВІД ЗАСНУВАННЯ)

Петро Білоніжка

*Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4,
Львів, Україна, 79005*

У публікації наводиться коротка 80-літня історія геологічного факультету на тлі поступу Львівського національного університету імені Івана Франка. Згадується, що спочатку у Львівському університеті було чотири факультети, зокрема філософський, де засновано кафедру мінералогії (1864 р.), геології (1905 р.), геофізики і метеорології (1921 р.), кристалографії (1922 р.). З 1924 р. в результаті реорганізації філософського факультету кафедри геологічного спрямування увійшли до складу природничо-математичного факультету, який у 1939 р. був розділений на фізико-математичний і природничий. У 1945 р. за наказом ректора на тлі природничого факультету організовані видатні професійні, педагогічні, організаторські здібності професора, декана, ректора Львівського університету Є. Лазаренка, який усебічно сприяв розквіту геологічного факультету. Наголошується на важливій ролі об'єднання геологів західного регіону України, ініційованого Є. Лазаренком, у Львівське геологічне товариство (1947 р.). Окреслено наукові та науково-дослідні досягнення працівників факультету, їх організаційна робота та участь у наукових конференціях, видавничу діяльність факультету, внесок у пізнавальний та освітній процес трьох музеїв, які працювали на факультеті. Схарактеризовано процес підготовки українських та іноземних фахівців на факультеті. Зазначено, що за 80 років факультет випустив майже 6 000 спеціалістів. Підкреслено, що як освітня та наукова інституція, факультет високо цінує надбання попередників, розвиває сучасні інноваційні підходи та робить важливий внесок у майбутнє фундаментальних природничих наук про Землю.

Ключові слова: Є. Лазаренко, геологія, освітній процес, наукова діяльність геологічний факультет Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна.

Вступ. У 2025 р. виповнюється 80 років від часу заснування геологічного факультету Львівського університету.

Університет у Львові – найстаріший в Україні. У 1661 р. польський король Ян II Казимир надав Львівській єзуїтській Колегії статус Академії права і гідності університету [3; 4; 11]. Тоді будівля Університету розташовувалася на вул. Краківській. Під час революційних подій у 1848 р. вона згоріла, і в полум'ї було знищено все майно університету, зокрема бібліотека, яка налічувала понад 50 тисяч томів найдавнішої літератури. Навчання в університеті відновилося в січні 1850 р., коли університет одержав 14 кімнат у будинку міської ратуші. У 1881 р. університету надали в оренду корпус на вул. Святого Миколая (тепер вул. М. Грушевського, 4), який у цьому ж році перейшов у його власність [7]. Тоді студентів університету називали академіками, а простору вулицю з алеєю, якою вони гуляли, – Академічною (тепер проспект Т. Шевченка).



**Рис. 1. Корпус геологічного та біологічного факультетів ЛНУ імені Івана Франка.
Львів, вул. М. Грушевського, 4**

Спочатку у Львівському університеті було чотири факультети: філософський, правничий (юридичний), богословський і медичний. На філософському факультеті 1864 р. проф. Фердинанд Ціркель заснував кафедру мінералогії. Велика його заслуга в тому, що для вивчення гірських порід і мінералів він застосував мікроскопічний метод дослідження й опублікував підручник «Zerduch der Petrographie» [10].

На філософському факультеті були ще кафедри: геології (1905), геофізики і метеорології (1921) та кристалографії (1922). У 1924 р. вони і кафедра мінералогії увійшли до складу новоствореного математично-природничого факультету, який у 1939 р. розділили на фізико-математичний і природничий факультети [10].

У жовтні 1944 р. Євген Лазаренко був призначений деканом природничого факультету, на якому діяли геологічне, географічне, хімічне й біологічне відділення. На базі геологічного й географічного відділень він організував геолого-географічний факультет, який уже в 1945 р. наказом ректора був розділений на геолого-грунтознавчий і географічний факультети, став першим деканом геологічного факультету.

Є. Лазаренко шукав молодь, яка на той час мала хоч якусь геологічну освіту, і запрошував до навчання на новостворений факультет. І вже в 1946 р. геологічний факультет Львівського університету закінчили Б. Мерліч, Е. Свірська, І. Смолянська, а в 1947 р. – О. Анастасьєва, С. Белякова, І. Венгліньський, В. Гвоздєва, С. Мартинова, О. Просняков.

Спочатку на геологічному факультеті була одна спеціальність – інженер-геолог. З 1955 р. геологічний факультет готував фахівців уже за двома, а з 1956 р. – за трьома спеціальностями: геологічна зйомка і розшуки родовищ корисних копалин; геохімія; розвідка родовищ корисних копалин. Факультет розгорнув широку підготовку спеціалістів денної і заочної форми навчання; велике значення у вирішенні кадрових питань мала аспірантура [3; 4; 6; 10].

Разом зі студентами і співробітниками факультету Є. Лазаренко відновлював зруйновані під час війни кафедру мінералогії і мінералогічний музей. Для розвитку факультету потрібні були кошти, у перші післявоєнні роки їх було мало.

Є. Лазаренко вирішив об'єднати зусилля геологів Львівського університету, нафтового й геологорозвідувального факультетів Львівського політехнічного інституту, трестів Західукргеологія, Укрнафтогазрозвідка, Львівської ГРЕ і створити Львівське геологічне товариство (далі – ЛГТ).

Збори геологів відбулися у вересні 1945 р., на яких було обрано організаційне бюро, очолене Є. Лазаренком.

Почалася активна робота [1]. ЛГТ виконувало госпдоговірні теми різних геологічних організацій та одержувало кошти. Статут Товариства був затверджений у травні 1947 р. Головним управлінням університетів Міністерства вищої освіти.

На геологічний факультет Є. Лазаренко запрошував молодих викладачів, учених з Харкова, Одеси та інших міст. Молоді викладачі, вчені, аспіранти активно працювали, захищали кандидатські дисертації, ставали доцентами. Це К. Сидоренко, Л. Колтун, В. Лесняк, М. Сливко, Б. Мерліч, Є. Лавренко та ін. Доценти захищали докторські дисертації і одержували звання професора – Є. Лазаренко, Д. Бобровник, В. Горецький, Д. Горжевський, М. Єрмаков, В. Козеренко, Я. Кульчицький, Є. Лазько, Д. Резвой, С. Субботін [3; 4]. Вони працювали й завідувачами кафедр. На факультеті були члени-кореспонденти АН УРСР – С. Субботін, Є. Лазаренко, В. Глушко та академіки АН УРСР – О. Вялов, В. Порфір'єв, В. Соболев. Такої кількості професорів, членів-кореспондентів й академіків не було на жодному іншому факультеті Львівського університету.

У 1949–1959 рр. Є. Лазаренка обрали проректором з наукової роботи, а в 1951–1963 рр. – ректором Львівського університету. Він організував Проблемну геохімічну лабораторію, оснастив її і геологічний факультет новою лабораторною базою.

Студенти здобували високу теоретичну і практичну підготовку. Під керівництвом відповідальних спеціалістів самі виготовляли шліфи гірських порід для мікроскопічних досліджень, пришліфовки мінералів для вивчення включень, здійснювали розшифровки спектрограм порід і мінералів, інтерпретацію рентгенограм мінералів, визначали їх густину, робили термічні аналізи мінералів та ін. Студенти працювали в наукових гуртках з кристалографії, мінералогії, палеонтології, корисних копалин. Під керівництвом кураторів кожного тижня проводили виховну годину, на якій розглядали питання успішності й поведінки студентів, аналізували актуальні міжнародні події. Випускали стінгазети, у яких висвітлювали найважливіші епізоди студентського життя. Кожного року проводили загальні збори студентів разом з викладачами факультету.

Першу навчальну практику студенти проходили в Передкарпатті, Карпатах (піднімалися на гору Говерлу) і в Закарпатті, не мали транспорту, необхідні речі носили в рюкзаку, проходячи разом з керівниками багатокілометрові геологічні маршрути і здійснюючи переходи між пунктами ночівлі. Не були забезпечені транспортом і на другій навчальній практиці в Криму. Жили у квартирах в с. Прохолодне, де не було електричного світла. За потреби світили каганці. Їжу студентам готували в котлі на колесах, подарованому військовою частиною. Студенти стояли в черзі, кожний зі своєю алюмінієвою мискою і ложкою, одержували їжу, стояли або сідали на траву і споживали. Ніхто не жалівся на незручності. Недаремно молоді того часу називають «дні війни».

На другій навчальній практиці студентів навчали добре орієнтуватися на місцевості за допомогою топографічної карти і компаса, наносити точки спостереження на карту, описувати відслонення, писати звіт та ін. Частково матеріали по будові Гірського Криму опубліковано в монографії «Нариси з мінералогії Гірського Криму» [5].

У вихідні дні студентів Кримської практики направляли в колгосп збирати пелюстки садової троянди, для кожного студента була норма – 300 кг.

Виробничі практики студенти за бажанням проходили в Забайкаллі, на Далекому Сході, Камчатці, Казахстані, Якутії, Україні, на Тянь-Шані й Памірі та в інших регіонах. У геологічних організаціях вони працювали у виїзних експедиціях переважно на посаді

колектора (техніка), іноді робочого, й одержували добру зарплату та 60 % польових й інші надбавки.

Студенти ходили в геологічні маршрути самостійно, хоча було доволі небезпечно, бо в тайзі, степу, горах час від часу зустрічалися хижі звірі.

Про будні виробничих практик і польові геологічні дослідження у своїх поетичних збірках писали В. Литвинов, Е. Портнягін, М. Приходько та ін. Вірші багатьох інших випускників нашого факультету опубліковані в збірнику «Вірші геологів...вітру і сонцю брат» (заг. ред. В. І. Лашманова, 2010 р., 144 с.).

Геологів в експедиціях зачаровувала навколишня краса природи, досконалість мінеральних форм, різнокольорових парагенетичних асоціацій гірських порід і руд та надихала на художню творчість. В. Литвинов виготовляв чудові мозаїки з гірських порід і мінералів і створював художні картини, які відображали природні пейзажі. Ю. Дорошенко одержував художні картини шляхом шліфування і полірування халцедону й опалу. І. Попівняк, Ю. Ляхов виготовляли своєрідні мистецькі вироби з дерева і коріння. М. Сливко і В. Шевчук писали чудові картини.

На геологічному факультеті проводили міжнародні, всесоюзні, республіканські наукові конференції і наради. Зокрема, у 1953 р. проведено IV з'їзд Карпато-Балканської геологічної асоціації (далі – КБГА); Засідання Комісії з мінералогії і геохімії КБГА (1961) (рис. 2); всесоюзні конференції: «Мінералогія осадових утворень» (1955), «Вивчення і використання глин» (1956), VII Всесоюзна нарада з мінералогічної кристалографії (1966), III Всесоюзна вулканологічна нарада (1969), VII нарада з рентгенографії мінеральної сировини (1977), «Тектоніка та нафтогазоносність системи Прип'ятська та Дніпрово-Донецька западини і геоструктури східного продовження» (1981), школа з обміну досвідом Викладання мінералогії і кристалографії у вузах СРСР (1984), «Проблеми екологічної мінералогії» (1989), «Проблеми золотоносності надр України» (1973), «Проблеми геологічної науки та освіти в Україні» (1995), «Фундаментальне значення і прикладна роль геологічної освіти і науки» (2015), «Геотуризм: практика і досвід» (2014, 2016, 2018, 2020, 2022, 2024), «Геологічні музеї і колекції, їхня роль в науці та туризмі» (2023, 2025), «Наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка» (2018, 2020, 2022, 2024), «Проблеми геології фанерозою України» (2010–2022), «Проблеми геології України (2023, 2024) та багато інших. Більшість з них супроводжувалися геологічними екскурсіями в Передкарпаття, Карпати і в Закарпаття.



Рис. 2. Є. К. Лазаренко (у центрі) серед учасників засідання Комісії мінералогії і геохімії КБГА. Карпати. 1961

У 1976–1993 рр. на факультеті працювала студентська міжкафедральна науково-дослідна група «Шельф», організатором і науковим керівником якої був В. Хмелевський. Вона досліджувала донні відклади оз. Пісочне і пам'ятки історії на Волині. Результати їх досліджень опубліковані.

На факультеті проводили зустрічі випускників з викладачами.

Геологічний факультет видавав і продовжує друкувати професійні періодичні збірники: «Мінералогічний збірник» (з 1947), «Геологічний збірник» (з 1954), «Питання геології», «Питання мінералогії осадових утворень» (1954), «Палеонтологічний збірник» (з 1961), «Питання літології та петрографії» (1969, 1973), «Вісник Львівського університету. Серія геологічна» [3; 4; 10]. Для підготовки висококваліфікованих кадрів викладачі факультету опублікували низку підручників і навчальних посібників [3; 4; 10].

Значна робота була проведена в архівах для встановлення списку випускників геологічного факультету. У довідково-інформаційних виданнях [3; 4] опубліковано списки випускників 1946–2003 рр., а в наступному виданні [11] – за 2011–2020 рр. Слід зауважити, що списки випускників надруковані у «Віснику геологічного університету, Серія геологічна». Цю роботу продовжили і в наступних Вісниках опублікували список випускників 2004–2011, 2012–2020, 2021–2025 рр. На сьогодні відомо, що протягом 1946–2010 рр. геологічний факультет підготував понад 4 600 спеціалістів-геологів, геохіміків та екологів. У 2011–2020 рр. організації України поповнили 810 спеціалістів і магістрів-геологів та екологів, які успішно працюють. З 2021 до 2025 рр. навчання на факультеті завершили 208 бакалаврів та 156 магістрів-геологів і геологів з інженерної геології та гідрогеології. Отже, 5 774 випускники за 80 років.

На геологічному факультеті в 1952/1953 навчальному році створено Мінералогічний музей, а в 1945 р. – Геологічний музей, який у 2004 р. перейменовано на Палеонтологічний. У 2022 р. Палеонтологічний музей отримав статус національного надбання. У 1973–1984 рр. інженер кафедри пошуків і розвідки родовищ корисних копалин В. Корнілов під керівництвом завідувача кафедри професора Є. Лазька і з допомогою викладачів кафедри організував Музей рудних формацій (перший і єдиний у Світі) [3; 4].

В ознаменування заслуг геологів у створенні мінерально-сировинної бази країни 31 березня 1966 р. засновано професійне свято – День геолога, який відзначали в першу неділю квітня. Відбувалися засідання геологів Західного наукового центру у Львівському театрі опери і балету. Відзначали геологів виробничих і наукових установ державними нагородами і грошовими преміями за досягнення в розвитку геології. По радіо звучали геологічні пісні, відбувались концерти. Час з 1945 до 1990 року назвали «Золотою ерою геології».

Будучи ректором Львівського університету, Є. Лазаренко намагався, щоб викладачі геологічного та інших факультетів читали лекції, проводили практичні та лабораторні заняття, писали наукові праці українською мовою. Це не сподобалося багатьом російським професорам, і вони старалися звільнити його з посади ректора через партком університету й обком партії. І це їм вдалося. У травні 1963 р. цк кпу після жорсткої критики звільнив Є. Лазаренка з посади ректора Львівського університету.

Після того йому вже важко було працювати завідувачем кафедри мінералогії, і в 1969 р. разом з родиною він поїхав до Києва. Відомості про педагогічну, наукову й організаторську діяльність Є. Лазаренка висвітлено в літературі [1–4; 8–10].

У 1987 р. на засіданні товариства «Просвіта» професор Василь Глушко запропонував організувати «Наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка». Перше засідання цього читання організував О. Матковський аж у 1997 р., коли вже політична ситуація в Україні більш-менш стабілізувалася.

У 1984–1991 на нашому факультеті навчалися студенти з Алжиру, Чехословаччини, В'єтнаму, Монголії, Лаосу, Німеччини, Куби, країн Африки, Ангола, Кот-Д'Івуару, Екватору, Бразилії. Наша студентка Хажідсуренгейн Болормаа стала дружиною Цахіягійн Елбегдорж – майбутнього четвертого президента Монголії. Вони в липні 2010 р. запросили приїхати в Монголію викладачів геологічного факультету: О. Матковського, Ю. Дорошенка,

М. Павлуня, А. Сіворонова, П. Білоніжку (не зміг поїхати). А в червні 2011 р. наші випускники з Монголії разом з Президентом країни Ц. Елбегдоржом приїхали у Львів (рис. 3). На геологічному факультеті відбулася зустріч, де Президент нагородив цих викладачів медаллю «800 років Монголії» за підготовку національних кадрів.



Рис. 3. Зустріч монгольських і українських випускників з викладачами. Львів. 2011

З 2003 р. змінилися навчальна структура студентів: почали готувати спеціалістів і магістрів з геології, геохімії, екології, а з 2016 р. – тільки магістрів за спеціальністю 103 «Науки про Землю» за освітніми програмами «Геологія», «Геохімія та мінералогія», «Геологія нафти і газу», «Інженерна геологія і гідрогеологія»

Останніми роками внаслідок зменшення кількості студентів на геологічному факультеті відбулася оптимізація науково-педагогічних та лабораторно-інженерних співпрацівників і об'єднання кафедр і лабораторій. Замість семи кафедр у кінці 2019 р. створено чотири: геології корисних копалин і геофізики; мінералогії, петрографії і геохімії; загальної та регіональної геології і палеонтології; екологічної та інженерної геології і гідрогеології [11].

Аналізуючи історію геологічного факультету, не можна не згадати деканів, які тією чи іншою мірою впливали на його розвиток. Це С. Лазаренко (1945–1949), М. Єрмаков (1949–1952), В. Козеренко (1952–1958), Л. Колтун (1958–1965), Ю. Пекун (1965–1969), Л. Колтун (1969–1971), І. Марушкін (1971–1973), Ю. Мисник (1973–1980), О. Матковський (1980–1996), Ю. Федоришин (1996–1998), Р. Лещух (1998–2003), М. Павлуня (2004–2023), В. Фурман (2011–2013).

Тепер декан геологічного факультету – Сергій Ціхонь.

Наші студенти, випускники факультету стали на оборону України в загарбницькій війні, яку вже четвертий рік веде президент росії путін проти України. У ній загинули Сергій Балагура, Роман Огірчак, Святослав Лукашук, Олександр Козбур, Василь Гуцуляк, Віктор Бурка, Степан Петрівський, Сергій Тинянов, Володимир Дублянко, Олег Гоза. Їхні портрети є на стіні при вході на геологічний факультет.

Велика їм шана – горить лампада, є живі квіти. Наша пам'ять про них не згасне!

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоніжка П. М. Вклад Є. К. Лазаренка в організацію, наукову та видавничу діяльність Львівського геологічного суспільства. В кн.: *Історія мінералогічних досліджень на Україні*. Київ : Наук. думка. 1991. С. 138–142.
2. Білоніжка П. М. Євген Лазаренко – вчений, педагог, громадський діяч. Серія «Дрібненька Бібліотека». Львів. 2002. 38 с.
3. Білоніжка П., Матковський О., Павлунь М., Сливко Є. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка (1945–2005): Довідково-інформаційне видання. Львів : Видав. центр Львів. нац. ун-ту. 2008. 375 с.
4. Білоніжка П., Матковський О., Павлунь М., Сливко Є. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка (1945–2010): Довідково-інформаційне видання. Вид. друге, перероб. і допов. Львів : Видав. центр Львів. нац. ун-ту. 2010. 520 с.
5. Білоніжка П. Нариси з мінералогії Гірського Криму (межіріччя Бодрака і Качі). Львів, 2017. 166 с.
6. Колтун Л. І. До історії геологічного факультету у Львівському університеті. *Вісник львівського ун-ту. Серія геол.* 1962. вип. 1. С. 3–12.
7. Лазаренко Є.К. 300 років Львівського університету. Львів : Вид-во Львів. ун-ту. 1961. 82 с.
8. Матковський О., Білоніжка П., Павлишин В. Академік Євген Лазаренко. Нарис про життєвий і творчий шлях, спогади, фотоальбом. Львів : Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка. 2005. 304 с.
9. Матковський О., Білоніжка П., Павлишин В. Євген Лазаренко – видатна постать ХХ століття. Львів : Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка. 2012. 242 с.
10. Матковський О. Розвиток мінералогічних досліджень у Львівському національному університеті імені Івана Франка. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 194 с.
11. Павлунь М., Матковський О., Сливко Є., Білоніжка П., Іваніна А. Геологічному факультету Львівського національного університету імені Івана Франка 75 років. Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2020. 208 с.

REFERENCES

1. Bilonizhka, P., Matkovskyi, O., Pavlun, M., Slyvko, Ye. (2008). Heolohichnyi fakultet Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka (1945–2005): dovidk.-inform. vyd. [Faculty of Geology of Ivan Franko Lviv National University (1945–2005): reference-inform. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 375 p. [in Ukrainian].
2. Bilonizhka, P., Matkovskyi, O., Pavlun, M., & Slyvko Ye. (2010). Heolohichnyi fakultet Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka (1945–2010): dovidk.-inform. vyd. [Faculty of Geology of Ivan Franko Lviv National University (1945–2010): reference-inform. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 518 p. [in Ukrainian].
3. Bilonizhka, P. (1991). Vklad E. K. Lazarenka v orhanizatsiiu, naukovu ta vydavnychu diialnist Lvivskoho heolohichnoho suspilstva [The contribution of E. K. Lazarenko to the organization, scientific and publishing activities of the Lviv Geological Society]. In the book: History of mineralogical research in Ukraine. Kyiv: Nauk. Dumka. P.138–142. [in Ukrainian].
4. Bilonizhka, P. (2002). Yevhen Lazarenko – vchenyi, pedahoh, hromadskyi diiach [Yevhen Lazarenko – scientist, teacher, public figure]. Series "Small Library". Lviv. 38 p. [in Ukrainian].
5. Bilonizhka, P. (2017). Narysy z mineralohii Hirskoho Krymu (mezhyrichchia Bodraka i Kachi) [Essays on the mineralogy of the Mountainous Crimea (interfluve of the Bodrak and Kachi rivers)]. Lviv. 166 p. [in Ukrainian].
6. Koltun L.I. (1962). Do istorii heolohichnoho fakultetu u Lvivskomu universyteti [To the history of the geological faculty at Lviv University]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii heolohichna – Visnyk of Lviv University. Series Geology*. Vyp. 1. S. 3–12. [in Ukrainian].
7. Lazarenko, Ye.K. (1961). 300 rokiv Lvivskoho universytetu [300 years of Lviv University]. Lviv: Lviv University Publishing House. 82 p. [in Ukrainian].
8. Matkovskyi, O., Bilonizhka, P., Pavlyshyn, V. (2005). Akademik Yevhen Lazarenko. Narys pro zhyttievyi i tvorchyi shliakh, spohady, fotoalbom [Academician Yevhen Lazarenko.

- Essay on his life and creative path, memories, photo album]. Lviv: Publishing Center of Ivan Franko National University of Lviv. 304 p. [in Ukrainian].
9. Matkovskiy, O., Bilonizhka, P., Pavlyshyn, V. (2012). Yevhen Lazarenko – vydatna postat KhKh stolittia [Yevhen Lazarenko – an outstanding figure of the 20th century]. Lviv: Publishing Center of Ivan Franko National University of Lviv. 242 p. [in Ukrainian].
 10. Matkovskiy, O. (2021). Rozvytok mineralohichnykh doslidzhen u Lvivskomu natsionalnomu universyteti imeni Ivana Franka [Development of mineralogical research at the Ivan Franko National University of Lviv]. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv. 194 p. [in Ukrainian].
 11. Pavlun, M., Matkovskiy, O., Slyvko, Ye., Bilonizhka, P., & Ivanina, A. (2020). Heolohichnomy fakultetu Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka 75 rokiv : dovidk.-inform. vyd. [Seventy-five years of the Faculty of Geology of the Ivan Franko National University of Lviv: reference-inform. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 208 s. [in Ukrainian].

FROM THE HISTORY OF THE GEOLOGICAL FACULTY OF THE IVAN FRANKO NATIONAL UNIVERSITY OF LVIV (TO THE 80TH ANNIVERSARY OF ITS FOUNDATION)

Petro Bilonizhka

Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005

The publication provides a brief 80-year history of the Faculty of Geology against the background of the progress of the Ivan Franko National University of Lviv. It is recalled that initially there were four faculties at Lviv University, including the Faculty of Philosophy, where the Department of Mineralogy (1864), Geology (1905), Geophysics and Meteorology (1921), and Crystallography (1922) were founded. Since 1924, as a result of the reorganization of the Faculty of Philosophy, the departments of the geological direction became part of the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, which in 1939 was divided into the Faculty of Physics and Mathematics and the Faculty of Natural Sciences. In 1945, by order of the rector, the geological and geographical faculties were organized on the background of the natural sciences faculty. Ye. Lazarenko became the dean of the geological faculty. The outstanding professional, pedagogical, and organizational abilities of the professor, dean, and rector of Lviv University Ye. Lazarenko, who comprehensively contributed to the flourishing of the geological faculty, are emphasized. The important role of the association of geologists of the western region of Ukraine, initiated by Ye. Lazarenko, into the Lviv Geological Society (1947) is emphasized. The scientific and research achievements of the faculty staff, their organizational work and participation in scientific conferences, the publishing activities of the faculty, the contribution to the cognitive and educational process of the three museums that worked at the faculty are outlined. The process of training Ukrainian and foreign specialists at the faculty is characterized. It is noted that over 80 years the faculty has graduated almost 6,000 specialists. It is emphasized that as an educational and scientific institution, the faculty highly values the achievements of its predecessors, develops modern innovative approaches and makes an important contribution to the future of fundamental natural sciences about the Earth.

Key words: E. Lazarenko, geology, educational process, scientific activity, Faculty of Geology, Ivan Franko National University of Lviv, Ukraine.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ХРОНІКА

УДК 55(092)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.39.20>

ПОСТУП КАФЕДРИ ЗАГАЛЬНОЇ ТА ІСТОРИЧНОЇ ГЕОЛОГІЇ І ПАЛЕОНТОЛОГІЇ ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА (2020–2025)

**Антоніна Іваніна, Лариса Генералова, Галина Гоцанюк,
Ярина Тузяк, Леонід Хом'як, Ігор Шайнога, Мілена Богданова**

*Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. М. Грушевського, 4,
Львів, Україна, 79005*

e-mail: antonina.ivanina@lnu.edu.ua; larysa.heneralova@lnu.edu; halyna.

*hotsanyuk@lnu.edu.ua; yarynatuzyak@gmail.com; khomyak.leonid@lnu.edu.ua; ihor.
shaynoha@lnu.edu; milena.bogdanova@lnu.edu.ua*

Схарактеризовано діяльність кафедри загальної та історичної геології і палеонтології геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка впродовж 2020–2025 рр. Головними функціями кафедри є освітня, навчально-методична, наукова та виховна. Окреслено діяльність науково-педагогічних працівників у зазначений період. Співробітники кафедри забезпечують проведення лекційних, лабораторних занять, навчальних польових і навчально-виробничих практик бакалаврів і магістрів за спеціальністю 103 «Науки про Землю».

Кафедра зберігає та розвиває стратегічний напрям розвитку в сучасних геополітичних умовах, який орієнтований на зміцнення мінерально-сировинної бази України. Професорсько-викладацький склад кафедри бере активну участь у державних та міжнародних наукових конференціях, семінарах і підтримує наукові зв'язки з багатьма геологічними установами України й закордоння. На кафедрі діють палеонтолого-стратиграфічна школа і школа геології та металогенії докембрію і п'ять наукових напрямів: нафтогазовугільний, геотуристичний, мікропалеонтологічний, геологічних досліджень Українських Карпат, формаційно-тектонічний аналіз геологічних структур. Науковий доробок працівників кафедри за звітний період налічує понад 325 наукових праць. Видано навчальні посібники та навчально-методичні рекомендації для підготовки спеціалістів геологічного напрямку; численні наукові статі. Кафедра провадить активну студентську наукову роботу та розширює профорієнтаційну діяльність серед школярів і молоді.

Кафедра організовує і проводить щороку (з 2010 р.) Всеукраїнську наукову конференцію «Проблеми геології України»; курує видавництво єдиного в Україні «Палеонтологічного збірника» та «Вісника Львівського університету, серія геологічна» – періодичних видань категорії «Б». Популярним туристичним об'єктом для різних категорій відвідувачів є Палеонтологічний музей.

Ключові слова: кафедра загальної та історичної геології і палеонтології, геологічний факультет, Львівський національний університет імені Івана Франка, освітній процес, наукова діяльність, «Палеонтологічний збірник», «Вісник Львівського університету, серія геологічна», Палеонтологічний музей.

Постановка проблеми. Кафедра загальної та історичної геології і палеонтології – структурний підрозділ геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка. Утворена внаслідок оптимізації та реорганізації факультету у 2020 р. Кафедра є провідним структурним підрозділом й одним із лідерів у царині підготовки фахівців

завдяки високим стандартам навчання студентів відповідно до сучасних викликів, запитів ринку праці, трансформації вищої освіти й умов воєнного стану. Забезпечує підготовку висококваліфікованих і конкурентоспроможних фахівців відповідно до стандартів вищої освіти, затверджених МОН України. Працівники кафедри реалізують наукові дослідження, що стають основою вдосконалення освітніх програм, забезпечують програму безперервного професійного вдосконалення на засадах інтеграції освіти, наукових досліджень та інновацій, розвиває партнерство з провідними світовими навчальними закладами й науковими установами, створює умови для мобільності студентів і викладачів.

Метою дослідження є висвітлення результатів наукової, освітньої і виховної діяльності кафедри загальної та історичної геології і палеонтології геологічного факультету за період 2020–2025 рр.

Історія попередніх досліджень. Історія кафедри загальної та історичної геології і палеонтології, її освітня й наукова діяльність та здобутки висвітлені в численних статтях і довідково-інформаційних виданнях [1–4; 9; 13; 16; 17], присвячених власне кафедрі, геологічному факультету, Палеонтологічному музею, палеонтолого-стратиграфічній школі, що її в останні десятиліття очолював Р. Й. Лещух [5], формаційно-тектонічному напрямку досліджень геологічних структур (Д. П. Резвой [14], А. О. Сіворонов [7; 8]); у відомих періодичних виданнях «Палеонтологічний збірник» та «Вісник Львівського університету, серія геологічна», а також про вагомі внески в розвиток кафедри зазначено в автобіографічних повідомленнях визначних особистостей, які працювали й очолювали структурний підрозділ у різні періоди [6; 11; 12 тощо]. Нижче наводимо головні досягнення діяльності кафедри впродовж 2020–2025 рр. – періоду трансформації, євроінтеграції та умовах невизначеності.

Методологія дослідження. Під час написання статті використано загальнофілософські, загальнонаукові та конкретнонаукові методи щодо досліджень діяльності кафедри за період 2020–2025 рр. Ефективність методів забезпечували методологічні принципи об'єктивності, сутнісного аналізу, логічного та історичного методів за провідної ролі практики. Методологічними підходами слугували хронологічний, термінологічний, професійно-діяльнісний та інформаційний, які дали змогу проаналізувати становлення і розвиток освітньої, методичної та наукової діяльності кафедри.



Рис. 1. Завідувачка кафедри загальної та історичної геології і палеонтології доцент А. В. Іваніна. 2025 р.

Результати. Кафедра загальної та історичної геології і палеонтології утворена 2020 р. внаслідок оптимізації штатної структури науково-педагогічних працівників і лабораторно-інженерного складу геологічного факультету Львівського університету. Вона має давні традиції у виконанні освітньої, навчально-методичної, наукової і виховної роботи з підготовки фахівців-геологів. Її сформовано шляхом поєднання найдавніших та провідних структурних підрозділів – кафедри загальної та регіональної геології (1905) і кафедри історичної геології та палеонтології (1924), на яких започатковано виклад курсів, що і нині формують комплекс базової підготовки фахівців. Після реорганізації 2020 р. кафедру очолила доцент Антоніна Іваніна (рис. 1).

Кафедра проводить навчання згідно з навчальними планами і програмами

з нормативних і вибіркових навчальних дисциплін для молодших бакалаврів ВСП «Педагогічний фаховий коледж ЛНУ ім. Івана Франка» – дві дисципліни для 2 і 3 курсів спеціальності 101 Екологія (2020/21); 101 Екологія (ОПП Екологія, біологічний факультет) – одна (з 2021/22); бакалаврів геологічного факультету спеціальностей: 103 Науки про Землю (ОПП Геологія. Комп'ютерні технології в науках про Землю) – 16 (2020/21); 18 (з 2022/23) дисциплін; 101 Екологія (ОПП Екологія геологічного і суміжних середовищ (2020/2021); Комп'ютерні технології в екології та управління якістю довкілля 2020/21–2024/25) – одна; магістрів спеціальності 103 Науки про Землю (ОПП Геологія, ОПП Геологія нафти і газу) – 10; аспірантів – спеціальності 103 Науки про Землю – три (2020/21); п'ять (з 2022/23) дисципліни. Загалом працівники кафедри реалізують викладання 34 навчальних дисциплін. Діяльність кафедри забезпечує проведення лекцій, лабораторних занять, навчальних польових, навчально-виробничих практик бакалаврів і магістрів, наукових досліджень із загальної, регіональної, історичної, четвертинної, структурної геології, тектоніки, стратиграфії, палеонтології, біостратиграфії, нафтогазової та вугільної геології тощо. Проводить підготовку фахівців за освітньо-науковим рівнем доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 103 «Науки про Землю» (Геологія).

Унаслідок зменшення набору українських студентів значну підтримку впродовж 2020–2024 рр. кафедра отримала завдяки залученню іноземних студентів і перехресного вступу до магістратури. З метою залучення більшої кількості абітурієнтів і відповідно до сучасних викликів сьогодення впроваджено нові освітні програми (ОП) «Інженерна геологія» (з 2024 року) та «Надрокористування» бакалаврського рівня освіти (набір 2025 р.). У підготовці фахівців за цими ОП також беруть участь науково-педагогічні працівники кафедри.

Загалом за останні п'ять років на кафедрі підготовлено 50 бакалаврів-геологів (спеціальність 103 Науки про Землю ОП Геологія. Комп'ютерні технології в науках про Землю), 45 магістрів спеціальності 103 Науки про Землю (ОП Геологія (23), Геологія нафти і газу (22)), один магістр спеціальності 101 Екологія (ОПП Екологічний менеджмент і геотуризм).

Теоретично-прикладна підготовка студентів поєднана з проведенням індивідуального наукового дослідження – курсової роботи, та з різними видами практик. Практичні вміння і навички студенти закріплюють у процесі підготовки творчих дослідницьких проєктів – курсових (2 курс та 4 курс бакалаврату, перший курс магістратури), кваліфікаційних бакалаврських і магістерських робіт. Також важливим складником опанування теоретичних знань здобувачами є проходження практик. Так, працівники кафедри забезпечують керівництво і проводять першу навчальну геологічну практику (перший курс бакалаврату); геокартувальну польову практику (другий курс); навчальну практику за вибором кафедри (третій курс бакалаврату); магістерські навчальні й виробничі практики. У 2020 році (у зв'язку з пандемією) та з початком повномасштабного вторгнення росії в Україну (2022) всі практики проводили дистанційно за індивідуальним завданням. З 2023 року польові практики ревіталізовано і наразі більшість з них провадять на базі польової лабораторії еколого-геологічних досліджень у с. Верхнє Синьовидне Львівської обл. (рис. 2, 3).

У червні 2024 р. польова геологічна практика третього курсу базувалась у с. Карпати поблизу смт Чинадієво. Головним завданням практики були тематичні геологічні дослідження вулканітів Вигорлат-Гутинського пасма та Флішових Карпат (рис. 4).

Відповідно до штатного розпису Львівського університету 2020–2025 рр. науково-педагогічну діяльність кафедри забезпечують висококваліфіковані фахівці (один член-кореспондент, професор, п'ять кандидатів геологічних і геолого-мінералогічних наук з ученим званням доцента, один асистент та два сумісники кандидати геологічних наук, доценти (0,5 ставки) (рис. 5). Це доценти А. В. Іваніна (завідувачка кафедри), Л. В. Генералова, Г. І. Гоцанюк, І. В. Шайнога, Л. М. Хом'як, Я. М. Тузяк (0,5 ст.) ; асистенти:

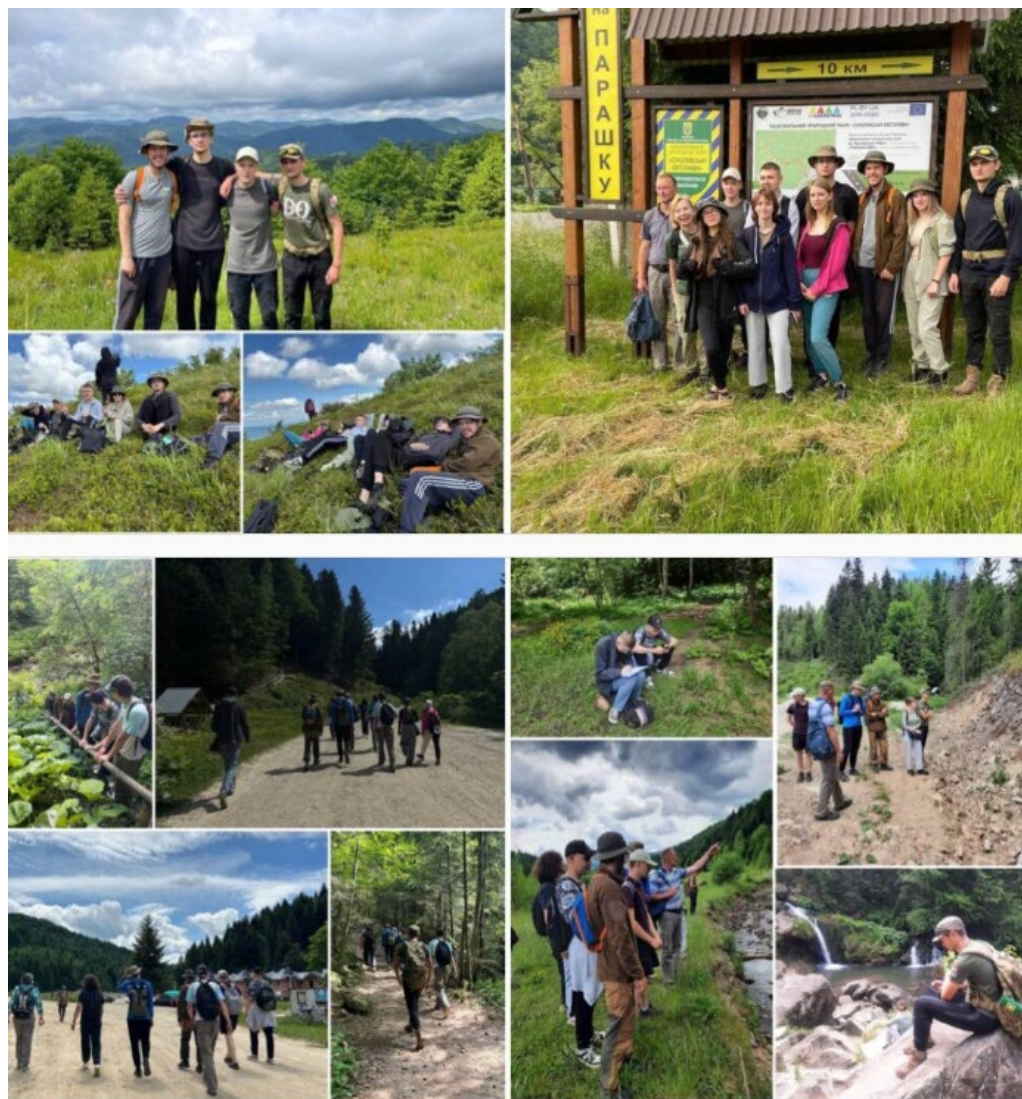


Рис. 2. Перша навчальна геологічна практика: фотозвіт маршрутних експедицій, червень 2024. Керівник практики доцент кафедри Л. М. Хом'як (праворуч, верхній ряд), поруч з ним – асистент М. І. Богданова

М. І. Богданова; К. О. Наварівська (0,5 ст.; 2023–2025 рр.). З 2024/25 навчального року когорта кафедри поповнилася членом-кореспондентом, доктором геологічних наук, професором Н. Я. Радковець (0,5 ставки). До 2021 р. в науково-педагогічного складі кафедри працював професор, доктор геолого-мінералогічних наук Р. Й. Лешух.

Навчально-допоміжний персонал кафедри: інженер I категорії (Т. Доброскок) і старший лаборант (Т. В. Сметанюк). Кафедрі організаційно підпорядковані Палеонтологічний музей (два працівники: завідувач музею, кандидат геологічних наук Я. М. Тузяк і зберігач фондів О. Г. Кірчанова) і Лабораторія стратиграфічних досліджень, геологічної



Рис. 3. Друга навчальна польова геологічна (геокартувальна) практика. Друге червня, 2025 – початок практики. Пригирлова частина потоку Зелем'янка, правого притоку р. Опір. Кар'єр Гребенівський (Південний). Науковий керівник доцент І. В. Шайнога (праворуч), другий ліворуч асистент Ю. Р. Дацюк, фото асистента О. В. Швасівського

карти та космоаерометодів у складі завідувача лабораторії Н. О. Ісаченкової та інженера II категорії Н. Р. Нікорак. Разом на кафедрі і підлеглих їй структурних підрозділах працюють 14 людей (рис. 5).

Навчально-методична робота кафедри. З усіх курсів розроблені силабуси, є навчально-методичне забезпечення для дистанційного навчання (тексти лекцій, презентації, лабораторні завдання, завдання для самостійної роботи, завдання для модульного і підсумкового контролю), який розміщений частково або повністю на платформі Moodle або Teams. Створено методичне забезпечення для гнучкого дистанційного навчання: Blended learning (змішане навчання) E-learning (електронне навчання), Flipped classroom (перевернуті класи). Головними засобами онлайн-навчання є освітні платформи Teams або Zoom, які забезпечують широкий спектр інструментів для повноцінного викладу матеріалу. Популярністю серед студентів користуються заняття на природних відслоненнях у м. Львів та околицях, так звані зелені пари. Під час таких занять студенти можуть познайомитися з гірськими породами, які використовують для брукованого покриття вулиць Львова, знайти урбаністичні скам'янілості – двостулкові молюски або морську зірку в бордюрі тротуару; дослідити дно міоценового моря, складене фосиліями (регіональний ландшафтний парк «Знесіння»); з'ясувати геологічні та геоморфологічні особливості г. Лева



**Рис. 4. Третя навчальна польова геологічна практика. Червень, 2024.
Науковий керівник Л. В. Генералова**

(парк «Знесіння») та багато іншого. Головне – це реальні геологічні об’єкти, вивчаючи які студенти використовують свій теоретичний багаж для виконання емпіричних завдань. Під час лабораторних пар для набуття практичних навичок науково-педагогічні працівники проводять різноманітні тренінги з використанням кейс-методу, перевірку теоретичних знань у вигляді тестів, самостійного виконання здобувачами практичних завдань.

На кафедрі діють палеонтолого-стратиграфічна школа і школа геології та металогенії докембрію і п’ять наукових напрямів: нафтогазовугільний, геотуристичний, мікропалеонтологічний, геологічних досліджень Українських Карпат, формаційно-тектонічний аналіз геологічних структур. За ними провадять наукові дослідження і готують до друку наукові матеріали.

Громадська діяльність науково-педагогічних працівників кафедри та членство в організаціях. Доцент А. В. Іваніна – головний редактор Палеонтологічного збірника; член редколегії матеріалів Всеукраїнської наукової конференції «Проблеми геології України», член палеозойської секції Національного стратиграфічного комітету України, член Європейської асоціації зі збереження геологічної спадщини ProGEO, член Українського палеонтологічного товариства, член Наукового товариства імені Тараса Шевченка, член



Рис. 5. Науково-педагогічний склад кафедри 2024 р.

Спілки геологів України, член Вченої ради геологічного факультету, член робочої групи з підготовки акредитаційних матеріалів по ОП «Геологія нафти і газу» для магістерського рівня, адміністратор сторінок кафедри загальної та історичної геології і палеонтології, геологічного факультету в соцмережах.

Професор, член-кореспондент НАН України Н. Я. Радковець – член редколегії журналу «Геологія і геохімія горючих копалин», член редколегії періодичного видання «Вісник Львівського Університету. Серія геологічна», член редколегії збірника наукових праць Всеукраїнської. наукової конференції «Проблеми геології України».

Доцент Г. І. Гоцанюк – член мезозойської секції Національного стратиграфічного комітету України, заступник редактора Палеонтологічного збірника; член редколегії збірника наукових праць Всеукраїнської. наукової конференції «Проблеми геології України», член мезозойської секції Національного стратиграфічного комітету України, член Наукового товариства імені Тараса Шевченка, член Європейської асоціації зі збереження геологічної спадщини ProGEO, експерт НАДЗЯО з акредитації освітніх програм по спеціальності 103 «Науки про Землю» (онлайн-робота в експертній групі НАЗЯГО під час проведення акредитаційної експертизи за спеціальністю «103 Науки про Землю» трьох освітніх програм за першим рівнем вищої освіти у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка), член вченої ради геологічного факультету, член робочої групи з підготовки акредитаційних матеріалів по ОП «Геологія» для магістерського рівня, заступник декана геологічного факультету з навчально-методичної та виховної роботи, куратор групи ГЛГ-41, член стипендіальної комісії геологічного факультету.

Доцент Л. В. Генералова – заступник головного редактора періодичного видання факультету «Вісник Львівського Університету. Серія геологічна»; член редколегії Палеонтологічного збірника; член редколегії Мінералогічного збірника; член редколегії матеріалів Всеукраїнської наукової конференції «Проблеми геології України», член Тектонічного комітету України, член Видавничої ради Львівського національного університету імені Івана Франка, член робочої групи з підготовки акредитаційних матеріалів по ОП «Геологія» за першим та другим рівнем вищої освіти.

Доцент Я. М. Тузяк – член номенклатурної комісії НСК ІГН НАН України; член мезозойської стратиграфічної комісії НСК ІГН НАН України; член Українського палеонтологічного товариства, член Спілки геологів України.

Доцент І. В. Шайнога – секретар вченої ради геологічного факультету, член комісії з прийняття господарських тем, голова профкому кафедри, секретар «Палеонтологічного збірника», член Наукового товариства імені Тараса Шевченка, член редколегії збірника наукових праць Всеукраїнської наукової конференції «Проблеми геології України», член робочої групи з підготовки акредитаційних матеріалів по ОП «Геологія нафти і газу» для магістерського рівня.

Асистент М. І. Богданова – секретар кафедри загальної та історичної геології і палеонтології; член організаційного комітету проведення Всеукраїнської наукової конференції «Проблеми геології України»; активний учасник і популяризатор сторінок геологічного факультету і кафедри загальної та історичної геології та палеонтології у фейсбучі, інстаграмі.

Науково-педагогічний персонал кафедри плідно працює в царині науково-дослідної тематики. За останні п'ять років виконано дослідження за шістьма науковими темами, які були присвячені вивченню нерозчинної дисперсної органіки середньопалеозойських відкладів Волино-Поділля для підвищення ефективності розшуків у них вуглеводнів; літолого-фаціального та біостратиграфічного довивчення розрізів фанерозою заходу та півдня України для оптимізації пошуків вуглеводнів; реконструкції геодинамічних комплексів пізньомезозойської конвергенції в Українських Карпатах; еволюції глибоководних фацій карпатського флішового палеобасейну в контексті становлення покривів мезокайнозойської конвергенції; аудиту даних еталонних таксонів викопних організмів Палеонтологічного музею Львівського національного університету імені Івана Франка з метою надання науковому об'єкту статусу такого, що становить національне надбання; дослідження колекцій фосилій рослинних і тваринних решток Палеонтологічного музею Львівського національного університету імені Івана Франка.

Сьогодні працівники кафедри беруть активну участь у дослідженнях особливостей геологічної будови, механізму формування, літогенезу нафтогазоносних товщ фанерозою осадово-порідних басейнів Карпатського та Причорноморського регіонів; виконують літолого-фаціальне та стратиграфічне моделювання розрізів фанерозою заходу України для оптимізації пошуків корисних копалин; розробляють технології пошуків та екологічної конверсії вуглеводневої і рудної критичної та стратегічної сировини південно-західної частини Східноєвропейського кратону й Українських Карпат.

Результати зазначених досліджень висвітлено в наукових публікаціях фахових видань України, категорії Scopus, WofS, монографіях, матеріалах наукових конференцій та інших виданнях.

Результати наукових досліджень працівників кафедри висвітлені у 325 наукових публікаціях, які надруковані протягом 2020–2024 років. Це: дві монографії, один навчально-методичний посібник (рис. 6); 23 статті у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних Web of Science, Scopus; 55 статей у фахових журналах України; 84 статті в інших виданнях України; 159 тез доповідей на міжнародних і всеукраїнських конференціях. Суттєвий доробок працівників кафедри становлять підготовка до друку



Рис. 6. Навчально-методичний посібник В. І. Узюк, І. В. Шайнога «Мікроструктурний анатомо-морфологічний визначник вуглетворних рослин карбону і прогнозу якості вугілля Донбасу (мікропалеоботаніка вугілля карбону), 2025 р.



Рис. 7. Виступ доцента кафедри загальної та історичної геології і палеонтології Л. В. Генералової на загальноуніверситетському філософському семінарі «Філософія науки». Квітень 2023. У кадрі слухачі: асистент О. В. Шваєвський, декан геологічного факультету, професор М. М. Павлунь, доцент О. В. Костюк

та видавництво методичних указівок та рекомендацій, курсів лекцій, електронних видань.

Упродовж п'ятирічного періоду науково-педагогічний персонал кафедри виконував рецензування та опонування дисертацій, аналіз і розгляд авторефератів, складання експертних висновків.

Важливим елементом діяльності працівників кафедри було наукове стажування. Усі співробітники отримали сертифікати з курсів «Вдосконалення викладацької майстерності» та продовжують підвищувати рівень знань за іншими програмами. Перелік стажувань і сертифікати викладачів розміщені за посиланням <https://geology.lnu.edu.ua/department/kafedra-zahalnoi-ta-rehionalnoi-heolohiji>.

Профорієнтаційна діяльність. Організовано щорічні дні відкритих дверей для майбутніх абітурієнтів, а також різнопланову агітаційну й рекламну кампанії, спрямовані на популяризацію кафедри, геології та геологічного факультету. У 2023 р. доцент Л. В. Генералова провела загальноуніверситетський філософський семінар «Філософія науки» та виступила з доповіддю «Сучасна парадигма геотектонічного розвитку Землі» (рис. 7).



Рис. 8. Завідувач Палеонтологічного музею, доцент Я. М. Тузяк та доцент кафедри загальної та історичної геології і палеонтології Л. В. Генералова на науково-популяризаційному заході Львівського національного університету імені Івана Франка від геологічного факультету «Наукові пікніки – 2023»

Кафедра бере участь в організаціях різних заходів з профорієнтації – наукових пікніків, днів науки, днів відкритих дверей, промоціях у медіа, підготовці й розміщенні рекламної інформації на сайті факультету, університету, у соцмережах тощо. Так, за період 2020–2025 рр. працівники кафедри брали участь у науково-популяризаційних заходах геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка, як-от: «Фестиваль науки OpenLab» (2023), «Наукові пікніки» (2020, 2021, 2022, 2023) (рис. 8); науково-технічний фестиваль Science & Tech Fest OL (2021, 2022, 2023, 2024, 2025), «Дні відкритих дверей»; (2020, 2021, 2022, 2023, 2024); у підготовці презентації факультету в соціальних мережах «360 градусів у діяльності Львівського університету» (2021), у соціальних мережах Facebook, Instagram.

Кафедра проводила круглі столи і відкриті лекції та запрошує знаних фахівців на гостьові лекції. Серед них слід згадати відкриті лекції «Світ геології» в Палеонтологічному музеї для студентів І курсу факультету іноземних мов ЛНУ ім. І. Франка (2022, 2023, Я. Тузяк, Л. Генералова); студентів І курсу біологічного факультету (екологів) ЛНУ ім. І. Франка, 2024 (Л. Генералова, Я. Тузяк). У лютому 2023 р. та жовтні 2024 р. вже вдруге Г. І. Гоцанюк організувала гостьову лекцію для студентів та співробітників геологічного факультету за участі завідувача відділу стратиграфії і палеонтології мезозойських відкладів ІГН НАН України доктора геологічних наук, доцента Л. М. Якушина (м. Київ) (рис. 9).

У квітні 2023 р. кафедрою ініційовано та проведено науковий захід – круглий стіл, присвячений пам'яті професора Я. О. Кульчицького (100 років від дня народження) (рис. 10).

Починаючи з 2023 року за активної участі заступника декана Г. І. Гоцанюк у читальній залі Наукової бібліотеки ЛНУ імені Івана Франка організовують урочистості з нагоди вручення дипломів освітнього ступеня «Бакалавр» випускникам геологічного факультету, спеціальностей 103 Науки про Землю і 101 Екологія (рис. 11).

25 червня 2025 р. асистентка кафедри К. О. Наварівська успішно захистила дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора філософії на тему «Стратиграфія і умови нагромадження верхньокрейдових відкладів Пенінської та Мармароської зон Українських Карпат за форамініферами» (спеціальність 103 Науки про Землю), науковий керівник – доц. А. В. Іваніна (рис. 11).

На кафедрі у 2024 році діяли наукові студентські гуртки: палеонтологічний, геотуристичний, гурток із загальної геології, гурток зі структурної геології. За результатами роботи в наукових гуртках у 2020 р. опубліковано три праці; у 2022 р. студентами разом з науково-педагогічними працівниками кафедри опубліковано сім друкованих праць. У 2022/23 студенти



Рис. 9. Гостьова лекція завідувача відділу стратиграфії і палеонтології мезозойських відкладів ІГН НАН України доктора геологічних наук, доцента Л. М. Якушина, лютий 2023 р. Доповідача представляє заступник декана геологічного факультету доцент Г. І. Гоцанюк



Рис. 10. Доцент Г. І. Гоцанюк доповідає про життєвий і творчий шлях професора кафедри історичної геології і палеонтології (тепер кафедри загальної та історичної геології і палеонтології) Я. О. Кульчицького. Квітень, 2023. Слухачі – викладачі кафедри (зліва направо) : доцент Л. В. Генералова, асистент М. І. Богданова, доцент В. І. Шайнога та студенти геологічного факультету



Рис. 11. Вручення дипломів бакалавра в читальній залі Університету. Липень 2024.
У центрі – декан геологічного факультету С. І. Ціхонь, справа заступник декана факультету – Г. І. Гоцанюк (у світлому)



Рис. 12. Захист дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії К. О. Наварівською. Червень 2025 р.

брали участь у Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт. У квітні 2023 р. впродовж тижня в межах внутрішнього міжуніверситетського обміну проводилося навчання п'яти найкращих студентів у ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка. За навчальний рік 2020/21 опубліковано зі студентами та аспірантами – чотири статті, 2021/22 – дві статті, 2022/23 – п'ять статей, 2023/24 підготовлено до друку зі студентами чотири праці. У 2024/25 роках кафедра провела перший етап Всеукраїнської студентської олімпіади на геологічному факультеті ЛНУ імені Івана Франка та виконала підготовку до другого всеукраїнського туру. Однак другий тур Всеукраїнської студентської олімпіади, з огляду на воєнний стан та з міркувань безпеки, МОН України проводити не рекомендувало.

Здобутки працівників кафедри високо оцінені керівництвом Університету.

Працівники отримали грамоти та подяки: подяки від Ректора Львівського

національного університету імені Івана Франка за багаторічну й сумлінну працю та вагомі здобутки в науково-педагогічній діяльності отримали І. В. Шайнога (2022), Л. В. Генералова (2023), Г. І. Гоцанюк (2023), Грамотами Львівської обласної організації профспілки працівників освіти і науки України за значні здобутки в навчальній, науковій, виховній та громадській роботі, за вагомий внесок у розвиток факультету нагороджені І. В. Шайнога (2022), Л. В. Генералова (2023), Г. І. Гоцанюк (2023). Грамоту Львівської обласної ради за вагомі внески в розвиток вітчизняної освіти і науки, підготовку висококваліфікованих спеціалістів та з нагоди Дня науки в Україні отримала Л. В. Генералова (2022).

Співробітники кафедри підтримують наукові зв'язки з низкою галузевих наукових та науково-виробничих установ, зокрема з Інститутом геологічних наук НАН України (м. Київ), Інститутом геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України (м. Київ), Інститутом геології і геохімії горючих копалин (м. Львів), Національним природничим та етнографічним музеєм Молдови (Лешух Р.), Гірничо-металургійною академією, м. Краків, (Польща) (А. В. Іваніна, Г. І. Гоцанюк).

Працівники кафедри розвивають співпрацю із закордонними науковими установами та фірмами. Вони брали участь у міжнародних конференціях; «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». Сьома міжнародна наук.-практ. конференція, 2021 р., м. Львів. (А. Іваніна, Г. Гоцанюк, І. Шайнога, Л. Генералова, Л. Хом'як); 11th European Palaeobotany and Palynology Conference. Stockholm, 19–22 June, 2022 (доц. Іваніна А.); XXII International Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association. 7–11 September 2022, Plovdiv, Bulgaria, 2022 (Іваніна А., Гоцанюк Г.); V Міжнародна конференція «Геотуризм: практика і досвід». 20–22 жовтня 2022 р., Львів, 2022. (А. Іваніна, М. Богданова, Л. Генералова, Л. Хом'як.; Conference Proceedings, Third EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and Impact on Communities, Sep 2021, Odessa (Я. Тузяк); Сучасні проблеми гірничої геології та геоєкології, Київ, 29–30 листопада 2021 р. (доц. Я. Тузяк); International scientific conference “Prospects for Earth exploration: current state and rational use of resources”: conference proceedings, (December 28–29, 2021, Lublin, Poland (Тузяк Я.); EGU General Assembly, 23–27 May 2022. Vienna, Austria (L. Heneralova), 4 International Congress on Stratigraphy “Strati 2023”, 11–13 July, 2023, Lille, France (Ivanina A.), Eleventh International Workshop on Agglutinated foraminifera (K. Navarivska, L. Heneralova); Fourth EAGE Workshop on assessment of landslide hazards and impact on communities based on the monitoring and modelling of these processes using integrated techniques, online, 18-21 September 2023 (Ivanina A.); V International Scientific and Practical Conference “Theoretical and empirical scientific research: concept and trends, Oxford, June 23, 2023 (Тузяк Я.); IV Akademia Kartografii i Geoinformatyki nt. “Modelowanie czasoprzestrzenne”, Wrocław, Polska (Тузяк Я.); 16th EGU Emile Argand Conference on Alpine Geological Studies Alpine (16–18 September 2024, Siena, Italy) (М. Bohdanova); 23rd Czech–Slovak–Polish Paleontological Conference, Banská Bystrica, Slovakia. October 15–17, 2024 (Тузяк Я.); Natural sciences and their importance for society (March 6–7, 2024. Riga, the Republic of Latvia); Геотуризм: практика і досвід. Матеріали VI Міжнародної науковопрактичної конференції (25–28 квітня 2024, Львів) (А. Іваніна, Г. Гоцанюк, І. Шайнога, Л. Генералова, Л. Хом'як, Я. Тузяк); III Міжнародної науково-практичної конференції Таврійського національного університету, Київ, Україна, 12–13 березня 2024 (Я. Тузяк); Геологічні музеї і колекції: їх роль в науці, освіті та туризмі. Львів, 6–8 грудня 2023 року (А. Іваніна, Г. Гоцанюк, І. Шайнога, Л. Генералова, Л. Хом'як, Я. Тузяк).

Протягом звітнього періоду кожного року на початку жовтня кафедра організовувала на геологічному факультеті Львівського національного університету імені Івана Франка Всеукраїнську наукову конференцію “Проблеми геології України”. Вона з 2022 р. наслідує конференцію “Проблеми геології фанерозою України” з розширенням тематики досліджень.

15–17 жовтня 2024 року на геологічному факультеті Львівського національного університету імені Івана Франка відбулася XV щорічна Всеукраїнська наукова конференція «Проблеми геології України» (рис. 12). Під час конференції заслухано й обговорено понад 20 усних очних і дистанційних доповідей провідних фахівців вищих навчальних закладів, науково-дослідних та виробничих організацій України (Львівський національний університет імені Івана Франка, Київський національний університет ім. Т. Г. Шевченка, Інститут геологічних наук НАН України, Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, ТОВ «Науково-виробниче технічне підприємство «Геологічні технології», Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України, Інститут геофізики НАН України тощо) та колег з інших країн, зокрема Канади, Італії. Тематика конференції збережена з минулих років й охоплює низку проблемних питань у геології. Збірник наукових праць конференції «Проблеми геології України», у якому висвітлено результати наукових досліджень 82 науковців України, видано в електронному вигляді й опубліковано на сайті геологічного факультету.



Рис. 13. XV Всеукраїнська наукова конференція «Проблеми геології України» (Львів, 15 жовтня 2024). Виступають член-кореспондент, професор Н. Я. Радковець (уверху), професор інституту «Геологія» Київського національного університету В. В. Огар (внизу). Головує доцент кафедри загальної та історичної геології і палеонтології І. В. Шайнога

Науково-педагогічний колектив кафедри курує наукову роботу Палеонтологічного музею і поповнює його фонди. Музей заснований 1905 р. проф. Р. Зубером і є найдавнішим в Україні, його колекції налічують понад 18 тис. унікальних палеонтологічних експонатів із різних куточків світу. Одна з найвагоміших подій пройденого п'ятиріччя, якому передувала велика робота з підготовки пакету документів, є надання 04.11.2022 року статусу національного надбання України «Колекції фосилій рослинних і тваринних решток Палеонтологічного музею ЛНУ імені Івана Франка» з метою збереження природних об'єктів, що мають наукове та культурне значення. У 2025 р. Палеонтологічний музей відзначає важливу ювілейну дату – 120 років своєї діяльності. З 2021 р. обов'язки завідувача музею виконує кандидат геологічних наук Я. Тузяк (рис. 13), їй допомагає провідний зберігач фондів О. Г. Кірчанова (рис. 14).



А



Б

Рис. 14. Завідувачка Палеонтологічного музею, кандидат геологічних наук Я. Тузяк (А). Буклет до 120-річчя Палеонтологічного Музею Львівського національного університету імені Івана Франка «Від палеонтологічних колекцій до наукового об'єкта національного надбання» (Б)

Останніми роками Палеонтологічний музей веде активну екскурсійну діяльність. Він входить до переліку громадських музеїв Львова і є популярним туристичним об'єктом для різних категорій відвідувачів (рис. 15–17). В епоху розвитку інноваційних цифрових технологій для поліпшення доступності до музейних колекцій, розширення аудиторії музею, збереження палеонтологічної спадщини та для використання в освіті й дослідженнях Палеонтологічний музей працює над створення 3D-моделей експонатів, які становлять основу віртуальних турів [15].

Кафедра загальної та історичної геології і палеонтології організовує роботу видань «Палеонтологічний збірник» та «Вісник Львівського університету, серія геологічна». «Палеонтологічний збірник» (відповідальний редактор А. Іваніна)



Рис. 15. Оксана Кірчанова, провідний зберігач фондів з 1986 р.



Рис. 16. День вишиванки в Палеонтологічному музеї (2023)



Рис. 17. Екскурсія в Палеонтологічному музеї для Співки екскурсоводів м. Львів (2025)



Рис. 18. Екскурсія для студентів 4 курсу факультету міжнародних відносин (2025)

є єдиним періодичним науковим виданням палеонтологічного спрямування в Україні. Воно започатковане в 1961 р. Львівським геологічним товариством при Львівському університеті [1; 2; 4]. У 2023 р. «Палеонтологічний збірник» відновлено в переліку друкованих наукових періодичних видань категорії «Б» (наказ МОН України № 491 від 27.04.2023 (Додаток 3)), спеціальність Е4 «Науки про Землю».

«Вісник Львівського університету, серія геологічна» виходить з 1962 р. Він успадкував «Наукові записки, серія геологічна» (1947 р.) та «Геологічний збірник (1954 р.) [1; 2; 14]. У «Віснику» (головний редактор П. К. Волошин, заступник головного редактора Л. В. Генералова) висвітлюють прикладні питання та теоретичні розробки геологічної і суміжних наук. У 2023 р. «Вісник Львівського університету, серія геологічна» занесено до списку друкованих наукових періодичних видань категорії «Б» (наказ МОН України № 1309 від 25.10.2023 (Додаток 4)), спеціальність Е4 «Науки про Землю».

Висновки. Кафедра загальної та історичної геології і палеонтології зберігає та розвиває стратегічний напрям розвитку в сучасних геополітичних умовах, який орієнтований на зміцнення мінерально-сировинної бази України. Кафедра є одним із базових структурних підрозділів геологічного факультету, що здійснює освітню, навчально-методичну, наукову та виховну діяльність, забезпечує викладання фахових дисциплін, проведення лабораторних занять, навчальних польових, виробничих практик бакалаврів і магістрів. Проводить підготовку фахівців за освітньо-науковим рівнем доктора філософії за спеціальністю 103 «Науки про Землю» (Геологія). Професорсько-викладацький склад кафедри бере активну участь у державних та міжнародних наукових конференціях, семінарах і підтримує наукові зв'язки з багатьма геологічними установами України й закордоння. Науковий доробок працівників кафедри за звітний період налічує понад 325 наукових праць. Протягом цього періоду видано навчальні посібники та методичні вказівки для підготовки спеціалістів геологічного напрямку. Сьогодні, в умовах невизначеності, трансформації і складних викликів, які переживає Україна, усі співробітники кафедри загальної та історичної геології і палеонтології сповнені енергії, сил, завзяття та готові працювати заради навчання молодого покоління геологів і підняття престижу професії геолог.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоніжка П., Матковський О., Павлунь М., Сливко Є. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка (1945-2005) : Довідк.-інформ. вид. Львів : ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. 375 с.
2. Білоніжка П., Матковський О., Павлунь М., Сливко Є. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка (1945-2010): Довідк.-інформ. вид.; 2-е вид., перероб. і допов. Львів : ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2010. 520 с.
3. Волошиновська О. І., Гоцанюк Г. І., Лещух Р. Й., Іваніна А. В. Палеонтологія у Львівському національному університеті імені І. Франка (80 років кафедри історичної геології та палеонтології). Проблеми стратиграфії фанерозою України. Київ, 2004. С. 268–271.
4. Гоцанюк Г., Іваніна А., Павлунь М., Ціхонь С. Сторічний літопис кафедри загальної та історичної геології і палеонтології у Львівському національному університеті імені Івана Франка (події, факти, імена і фотодокументи). *Палеонтологічний збірник*. 2024. № 56. С. 6–14.
5. Гоцанюк Г., Шайнога І. Лещух Роман Йосипович (до 80-річчя від дня народження). *Палеонтологічний збірник*, 2023, № 55, С. 113–119.
6. Жабіна Н., Анікеєва О., Супрун І., Вага Д.Д. Вчена та вчителька (пам'яті доктора геолого-мінералогічних наук, професора Аїди Сергіївни Андрєєвої-Григорович). *Палеонтологічний збірник*, 2022, № 54, С. 87–92.
7. Кирилюк В., Богданова М. Світлій пам'яті Сіворонова Альберта Олексійовича. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2017. Випуск 31. С. 221–224.
8. Кирилюк В. П., Матковський О. І., Павлунь М. М., Бобров О. Б., Паранько І. С., Лисак А. М., Яценко Г. М., Пашенко В. Г., Свєшников К. І., Павлов В. І. Сіворонов Альберт Олексійович (до 70-річчя від дня народження). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геологічна*. 2008. Вип. 22. С. 164–168.
9. Лещух Р. Й., Іваніна А. В., Гоцанюк Г. І. та ін. Кафедра історичної геології та палеонтології: довідк.-інформ. вид. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2006. 68 с.
10. Лещух Р. Й., Іваніна А. В., Гоцанюк Г. І., Данилів А. Я. 95 років кафедри історичної геології і палеонтології у Львівському національному університеті імені Івана Франка. *Проблеми геології фанерозою України*. Львів, 2019. С. 3–7.
11. Павлунь М., Генералова Л. Адольф Віталійович Алексєєнко – видатний тектоніст і педагог (до 90-річчя від дня народження). *Геологічний журнал*. 2025. № 2. С. 88–100.
12. Павлунь м., Гоцанюк Г., Ціхонь С. Пам'яті видатного вченого-геолога і педагога – професора Ярослава Кульчицького (до 100-річчя від дня народження). *Палеонтологічний збірник*. 2023. № 55. С. 105–112.
13. Павлунь М., Матковський О., Сливко Є., Білоніжка П., Іваніна А. Геологічному факультету Львівського національного університету імені Івана Франка 75 років. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 208с.
14. Сіворонов А. Генералова Л. Дмитро Петрович Резвой – геолог і вчений (до 100-річчя від дня народження). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геологічна*. 2012. Вип. 26. С. 4–17.
15. Тузьяк Я., Ціхонь С., Шоло Є., Бубняк І. Культурологічні аспекти створення віртуальних турів – сучасні техніки промоції палеонтології. *Палеонтологічний вісник*. 2024. № 56. С. 15–25.
16. Encyclopedia. Львівський національний університету імені Івана Франка: довідк. вид.: у 2-х т. Т. І: АК. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 716 с.
17. Encyclopedia. Львівський національний університет імені Івана Франка. Довідкове видання: в 2 т. Т. II: Л-Я. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2014. 764 с. +224 вкл.

REFERENCES

1. Bilonizhka, P., Matkovskiy, O., Pavlun, M., Slyvko, Ye. (2008). Neolohichnyi fakultet Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka (1945–2005): dovidk.-inform. vyd. [Faculty of Geology of Ivan Franko Lviv National University (1945–2005): reference-inform. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 375 s. [in Ukrainian].
2. Bilonizhka, P., Matkovskiy, O., Pavlun, M., & Slyvko Ye. (2010). Neolohichnyi fakultet Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka (1945–2010): dovidk.-inform. vyd. [Faculty of Geology of Ivan Franko Lviv National University (1945–2010): reference-inform. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 518 s. [in Ukrainian].

3. Voloshynovska, O.I., Hotsaniuk, H.I., Leshchukh, R.Y., & Ivanina, A.V. (2004). Paleontolohiia u Lvivskomu natsionalnomu universyteti imeni I. Franka (80 rokiv kafedri istorychnoi heolohii ta paleontolohii) [Paleontology at the I. Frank Lviv National University (80 years of the Department of Historical Geology and Paleontology)]. *Problemy stratyhafii fanerozoïu Ukrainy*. Kyiv. S. 268–271. [in Ukrainian].
4. Hotsaniuk, H., Ivanina, A., Pavlun, M., Tsikhon, S. (2024). Storichnyi litopys kafedry zahalnoi ta istorychnoi heolohii i paleontolohii u Lvivskomu natsionalnomu universyteti imeni Ivana Franka (podii, fakty, imena i fotodokumenty) [Centennial chronicle of the Department of General and Historical Geology and Paleontology at Ivan Franko National University of Lviv(events, facts, names, and photographic evidence)]. *Paleontolohichnyy zbirnyk – Paleontological collection*, 56. Lviv. S. 6–14. [in Ukrainian].
5. Hotsaniuk, H. Shaynoga, I. (2023). Leshchukh Roman Yosypovych (do 80-richchia vid dnia narodzhennia) [Leshchukh Roman Yosypovych (to the 80th anniversary of the birth)]. *Paleontolohichnyy zbirnyk–Paleontological collection*, 55. Lviv. P. 113–119. [in Ukrainian].
6. Zhabina, N.O., Anikeyeva, O., Suprun, I., Waga, D.D. (2022). Vchena ta vchytelka (pamiaty doktora heoloho-mineralohichnykh nauk, profesora Aidy Serhiivny Andrieievoy-Hryhorovych) [The scientist and the teacher (in loving memory of doctor of geological-and-mineralogical sciences, professor Aida S. Andreeva-Grigorovich)]. *Paleontolohichnyy zbirnyk – Paleontological collection*, 54. Lviv. S. 87–92. [in Ukrainian].
7. Kyryliuk, V., Bohdanova, M. (2017). Svitlii pamiaty Sivoronova Alberta Oleksiiovycha [In memory of Albert Alekseevich Sivoronov]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii heolohichna – Visnyk of Lviv University. Series Geology*. Vyp. 31. S. 221–224. [in Ukrainian].
8. Kyryliuk, V.P., Matkovskiy, O.I., Pavlun, M.M., Bobrov, O.B., Paranko, I.S., Lysak, A.M., Yatsenko, H.M., Pashchenko, V.H., Svieshnykov, K.I., Pavlov, V.I. (2008). Sivoronov Albert Oleksiiovych (do 70-richchia vid dnia narodzhennia) [Albert Alekseevich Sivoronov (70th birthday)]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii heolohichna – Visnyk of Lviv University. Series Geology*. Vyp. 22. S. 164–168. [in Ukrainian].
9. Leshchukh, R.Y., Ivanina, A.V., & Hotsaniuk, H.I. et al. (2006). Kafedra istorychnoi heolohii ta paleontolohii: dovidk.– inform. vyd [Department of historical geology and paleontology: reference – information. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 68 s. [in Ukrainian].
10. Leshchukh, R.Y., Ivanina, A.V., Hotsaniuk, H.I., Danyliv, A.Ya. (2019). 95 rokiv kafedri istorychnoi heolohii i paleontolohii u Lvivskomu natsionalnomu universyteti imeni Ivana Franka [95 years of the Department of Historical Geology and Paleontology at Ivan Franko Lviv National University]. *Problemy heolohii fanerozoïu Ukrainy*. Lviv. S. 3–7. [in Ukrainian].
11. Pavlun, M., Heneralova, L. (2025). Adolf Vitaliiovych Alekseiienko – vydatnyi tektonist i pedahoh (do 90-richchia vid dnia narodzhennia) [Adolf Vitaliyovich Alekseenko – an outstanding tectonist and teacher (to the 90th anniversary of his birth)]. *Heolohichnyi zhurnal – Geological Journal*. № 2. S.88–100. [in Ukrainian].
12. Pavlun, M., Hotsaniuk, H., Tsikhon, S. (2023). Pamiaty vydatnoho vchenoho-heoloha i pedahoha – profesora Yaroslava Kulchytskoho (do 100-richchia vid dnia narodzhennia) [In memory of the outstanding scientist-geologist and teacher - Professor Yaroslav Kulchytsky (on the 100th anniversary of his birth)]. *Paleontolohichnyy zbirnyk – Paleontological collection*, 55. Lviv. S. 105–112. [in Ukrainian].
13. Pavlun, M., Matkovskiy, O., Slyvko, Ye., Bilonizhka, P., & Ivanina, A. (2020). Heolohichnomy fakultetu Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka 75 rokiv : dovidk.-inform. vyd [Seventy-five years of the Faculty of Geology of the Ivan Franko National University of Lviv: reference-inform. view]. Lviv: Vyd. tsentr LNU im. I. Franka. 208 s. [in Ukrainian].
14. Sivoronov, A., Heneralova, L. (2012). Dmytro Petrovych Riezvoi – heoloh i vchenyi (do 100-richchia vid dnia narodzhennia) [Dmitry Petrovich Rezvoy – geologist and scientist (to the 100th anniversary of his birth)]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii heolohichna – Visnyk of Lviv University. Series Geology*. Vyp. 26. S. 4–17. [in Ukrainian].
15. Tuzyak, Y., Tsihon, S., Shylo, Y., Bubnyak, I. (2024). Kulturolohichni aspekty stvorennia virtualnykh turiv – suchasni tekhniki promotsii paleontolohii [Cultural aspects of creating virtual tours – modern paleontology promotion techniques]. *Paleontolohichnyy zbirnyk – Paleontological collection*. 56. Lviv. S. 15–25. [in Ukrainian].

16. Encyclopedia. Lvivskyi natsionalnyi universytetu imeni Ivana Franka: dovidk. vyd.: u 2-kh t. T. 1 (2011): AK [Lviv Ivan Franko National University: reference. ed.: in 2 volumes. T. 1: AK]. Lviv: LNU im. Ivana Franka. 716 s.
17. Encyclopedia. Lvivskyi natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka. Dovidkove vydannia: v 2 t. T. II (2014) [Encyclopedia. Lviv Ivan Franko National University. Reference edition: in 2 vols. T. II] L-Ya. Lviv: LNU im. Ivana Franka. 764 s. +224 vкл. [in Ukrainian].

PROCEDURE OF THE DEPARTMENT OF GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY AND PALEONTOLOGY OF THE FACULTY OF GEOLOGY OF THE IVAN FRANKO NATIONAL UNIVERSITY OF LVIV (2020–2025)

**Antonina Ivanina, Larysa Heneralova, Halyna Hotsanyuk,
Yaryna Tuzyak, Leonid Khomyak, Ihor Shaynoha, Milena Bogdanova**

*Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: antonina.ivanina@lnu.edu.ua; larysa.heneralova@lnu.edu;
halyna.hotsanyuk@lnu.edu.ua; yarynatuzyak@gmail.com;
khomyak.leonid@lnu.edu.ua; ihor.shaynoha@lnu.edu;
milena.bogdanova@lnu.edu.ua*

The activities of the Department of General and Historical Geology and Paleontology at the Ivan Franko National University of Lviv during 2020–2025 are described. The activities of scientific and pedagogical workers during the specified period are outlined. The main functions of the Department of General and Historical Geology and Paleontology are educational, teaching-methodical, scientific and educational. The Department provides lectures, laboratory classes, field training and training-production practices for bachelors and masters in specialty 103 “Earth Sciences” (Geology). The department maintains and develops a strategic direction of development in modern geopolitical conditions, which is focused on strengthening the mineral and raw material base of Ukraine. The professorial and teaching staff of the department actively participates in state and international scientific conferences, seminars and maintains scientific ties with many geological institutions of Ukraine and abroad. The scientific activity of the department staff is developed within the stratigraphic-paleontological school using formational-tectonic analysis. The scientific achievements of the department’s employees for the reporting period include over 325 scientific papers. During this period, textbooks and teaching and methodological recommendations for the training of specialists in the geological field were published. The department conducts active student scientific work and expands career guidance activities among schoolchildren and youth. The department’s employees cooperate with domestic and foreign scientific and industrial institutions, and establish cooperation between employers and participants in the educational process. The department organizes and holds annually (since 2010) the All-Ukrainian scientific conference “Problems of Geology of Ukraine”. The department initiated and oversees the publishing of the only periodical in Ukraine, “Paleontological Collection” and “Bulletin of Lviv University, Geological Series”, which in 2023 were included in the list of printed scientific periodicals of category “B”. The Paleontological Museum is a popular tourist attraction for various categories of visitors.

Key words: educational process, scientific activity, paleontological and stratigraphic school, “Paleontological Collection”, “Bulletin of Lviv University, Geological Series”, Paleontological Museum, Department of General and Historical Geology and Paleontology, Ivan Franko National University of Lviv.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025

ВИПУСКНИКИ ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ (2024 ТА 2025 РОКІВ)

2024 РІК

ДЕННЕ ВІДДІЛЕННЯ

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 103 НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

Бакалавр наук про Землю

Фахівець з геології

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Бардин Галина Андріївна | 9. Івасів Петро Ярославович |
| 2. Бондарчук Валентина Вікторівна | 10. Комарницька Васирина Миколаївна |
| 3. Буяльський Ілля Сергійович | 11. Малетич Максим Миколайович |
| 4. Володимирець Любомир Мирославович | 12. Пильгук Ірена Віталіївна |
| 5. Гужда Софія Володимирівна | 13. Потапенко Юрій Антонович |
| 6. Демус Олександр Тарасович | 14. Сухоставець Софія Олегівна |
| 7. Зубик Василь Ігорович | 15. Тарасов Дмитро Костянтинович |
| 8. Іванюк Марія Михайлівна | 16. Терешкевич Іван Степанович |

Фахівець з комп'ютерних технологій в науках про Землю

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Абдимумінова Ірода | 11. Ільясов Довлет |
| 2. Абраєв Абрай | 12. Мамметдурдієв Овез |
| 3. Абраєв Говшут | 13. Мередов Агагелді |
| 4. Акиєв Сердар | 14. Розимурадов Шаміль |
| 5. Байрамов Агаберди | 15. Рустамов Рамазан |
| 6. Байрамов Сердар | 16. Ханиєв Мухаммет |
| 7. Башімов Аманіаз | 17. Ходжакулієва Узукджемал |
| 8. Велджанов Велназар | 18. Ходжієв Хасан |
| 9. Гарригулов Єгенмат | 19. Чарієв Батир |
| 10. Гурбандурдієв Акмират | 20. Чарієв Езіз |

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 101 ЕКОЛОГІЯ

Бакалавр з екології

Фахівець з комп'ютерних технологій в екології та управління якістю довкілля

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Аннаєв Арслан | 9. Махмутджанов Мамурджан |
| 2. Ахметова Каміла | 10. Нурмухамедова Айджан |
| 3. Бегмірадов Бабамурат | 11. Сарієв Гурбангелді |
| 4. Джумагелдієв Атаджан | 12. Сеїдов Іляс |
| 5. Жепбаров Иглас | 13. Фазілов Жалоліддін |
| 6. Жумаєв Жанмурад | 14. Фазілов Салохіддін |
| 7. Кравець Софія Ігорівна | 15. Чарієв Гурбан |
| 8. Лавренюк Костянтин Олександрович | |

ОР Магістр
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 103 НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ
ОПП Геологія

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Василів Володимир Олегович | 7. Лабінський Даниїл Олегович |
| 2. Возничак Маркіян Орестович | 8. Павелкевич Юрій Андрійович |
| 3. Гайовський Михайло Володимирович | 9. Рацкий Назарій Іванович |
| 4. Гулянич Андрій Станіславович | 10. Ткачук Богдан Віталійович |
| 5. Завербний Андрій Ярославович | 11. Ханас Володимир Володимирович |
| 6. Кілестин Богдан Михайлович | |

ОПП Геохімія та мінералогія

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. Бірук Дмитрій Сергійович | 7. Реснт Володимир Олегович |
| 2. Гріпасов Віктор Євгенович | 8. Стецьків Олександр Вікторович |
| 3. Ільчук Валентин Антонович | 9. Харчук Вадим Васильович |
| 4. Крайник Павло Євстахович | 10. Чернокоз Вадим Едуардович |
| 5. Лукасевич Максим-Владислав Ігорович | 11. Юрків Марко Петрович |
| 6. Мальченко Євген Олексійович | |

ОПП Геологія нафти і газу

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Андріюк Олег Олександрович | 12. Пелипек Іван Іванович |
| 2. Дзева Андрій Богданович | 13. Перелигін Семен Вячеславович |
| 3. Дзева Ярослав Богданович | 14. Поліщук Костянтин Володимирович |
| 4. Думич Юрій Іванович | 15. Пушкар Максим Володимирович |
| 5. Іваницький Юрій Ярославович | 16. Ровенчак Олег Іванович |
| 6. Карпинець Віталій Васильович | 17. Синюта Юрій Володимирович |
| 7. Ковалко Павло Михайлович | 18. Усік Андрій Олександрович |
| 8. Легкий Андрій Васильович | 19. Хмельницький Іван Михайлович |
| 9. Мисько Андріан Володимирович | 20. Хмельницький Тарас Михайлович |
| 10. Олексин Михайло Романович | 21. Черняк Андрій Ярославович |
| 11. Ольшанецький Ігор Романович | 22. Чіпко Юрій Васильович |

ОПП Інженерна геологія та гідрогеологія

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. Звір Андрій Миколайович | 5. Лаврик Олесь-Петро Олегович |
| 2. Кіндрат Володимир Андрійович | 6. Ревер Святослав Андрійович |
| 3. Ковалишин Юрій Орестович | 7. Улинець Василь Петрович |
| 4. Костів Максим Богданович | 8. Хоронжак Роман Юрійович |

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 101 ЕКОЛОГІЯ
ОПП Екологічний менеджмент і геотуризм

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1. Аманова Нурджемал | 4. Сокальська Ольга-Аліна Миколаївна |
| 2. Ісевич Дмитро Сергійович | 5. Несторович Орест Любомирович |
| 3. Сапаров Сніш | |

ЗАОЧНЕ ВІДДІЛЕННЯ
ОР Магістр
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 103 НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ
ОПП Інженерна геологія та гідрогеологія

- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| 1. Бачевський Дмитро Ярославович | 3. Сидор Роман Михайлович |
| 2. Борняк Данило Романович | 4. Федюшко Галина Зіновіївна |

2025 РІК
ДЕННЕ ВІДДІЛЕННЯ
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 103 НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ
Бакалавр наук про Землю

Фахівець з геології

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. Бабій Максим Васильович | 14. Звір Арсен Миколайович |
| 2. Барничко Наталія Василівна | 15. Ірчак Михайло Юрійович |
| 3. Бесараб Максим Миколайович | 16. Курбатова Ангеліна Леонідівна |
| 4. Білай Вероніка Павлівна | 17. Лосева Олександра Олександрівна |
| 5. Білань Михайло Богданович | 18. Манько Любомир Ігорович |
| 6. Білобородов Олександр Олександрович | 19. Мартинюк Дарина Олександрівна |
| 7. Гайовський Дмитро Олегович | 20. Павленко Анастасія Олександрівна |
| 8. Гантулга Монх-Ердене | 21. Польовий Богдан Петрович |
| 9. Гарасевич Ростислав Васильович | 22. Соколов Сергій Михайлович |
| 10. Гладченко Матвій Сергійович | 23. Федюра Ярина Василівна |
| 11. Госедло Андрій Олексійович | 24. Чаргавий Богдан Васильович |
| 12. Гоцуляк Юлія Анатоліївна | 25. Чирик Віолетта Василівна |
| 13. Дулько Ярослав Васильович | 26. Яремич Максим Сергійович |

Фахівець з комп'ютерних технологій в науках про Землю

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. Бабаєва Тавус | 13. Мугиев Вепа |
| 2. Базаров Гуванч | 14. Нарлиев Овезгелді |
| 3. Балтаєв Торекули | 15. Нармурадов Асатбек |
| 4. Бегмирадов Максатмират | 16. Нармурадов Фахридін |
| 5. Бечхімов Абдилла | 17. Оралова Шасенем |
| 6. Джумаєв Кемал | 18. Реджепов Максат |
| 7. Дурдибаєв Гурбанмират | 19. Розимурадова Дженнет |
| 8. Гаррієв Аманнияз | 20. Сеїдов Мерет |
| 9. Гурбанніязов Чари | 21. Тоєв Бердімират |
| 10. Джумаков Джумак | 22. Чарієв Какаджан |
| 11. Жамшидов Шухрат | 23. Шамирадов Езіз |
| 12. Менлієв Багтіяр | 24. Язов Мекан |

ЗМІСТ

ЮВІЛЕЙ

<i>Микола Павлунь, Євгенія Сливко, Олег Гайовський, Сергій Ціхонь, Лариса Генералова</i> ДО 80-РІЧЧЯ ЗАСНУВАННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА.....	3
--	---

СТАТТІ

<i>Микола Павлунь</i> ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА І ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЧНА ЗОНАЛЬНІСТЬ ЗОЛОТОРУДНИХ РОДОВИЩ МЕТАМОРФОГЕННО-ГІДРОТЕРМАЛЬНОГО КЛАСУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА.....	22
<i>Мирон Ковальчук, Олена Ганжа</i> УТВОРЕННЯ ТА МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД УРЗУФСЬКОГО РОЗСИПУ (АЗОВСЬКЕ МОРЕ).....	34
<i>Наталія Бацевич, Ігор Науко</i> МАТЕРІАЛИ ДО ПЕТРОГРАФО-ПЕТРОХІМІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВУЛКАНОМІКТОВИХ УТВОРЕНЬ ЗОРЯНСЬКОЇ ТОВЩІ ТРАПОВОЇ ФОРМАЦІЇ ЗАХІДНОЇ ВОЛИНИ.....	46
<i>Уляна Борняк, Марина Рагуліна, Олег Орлов</i> ТРАВЕРТИНОВІ ГРЕБЕНІ ЗАХОДУ УКРАЇНИ – ЦІННІ ПАМ'ЯТКИ ЖИВОЇ ТА НЕЖИВОЇ ПРИРОДИ.....	61
<i>Ігор Бубняк, Андрій Бубняк, Анатолій Віват, Тарас Марко, Катерина Бойко</i> ЛАЗЕРНЕ СКАНУВАННЯ ПЕЧЕР: НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ПРОСТОРІВ НА ПРИКЛАДІ МЕДОВОЇ ПЕЧЕРИ ТА ПЕЧЕРИ МЛИНКИ.....	69
<i>Ганна Бучацька, Василь Дяків, Віталій Саднік</i> ПРИРОДНІ УМОВИ, ТЕХНОГЕННЕ ПОРУШЕННЯ ТА ГЕОХІМІЧНІ ЗМІНИ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ШЕПТИЦЬКОГО (ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО) ГІРНИЧО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ.....	88
<i>Юрій Віхоть, Соломія Кріль</i> ПРИРОДНИЙ (ГЕОЛОГІЧНИЙ) ВОДЕНЬ ЯК НОВА КОРИСНА КОПАЛИНА: СТАН, ПЕРСПЕКТИВИ, ВИКЛИКИ ТА РИЗИКИ.....	107
<i>Олександр Вовк, Ігор Науко</i> КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТОПАЗІВ ВОЛИНИ ПОРІВНЯНО З БАГАТОГРАНИКАМИ ТОПАЗУ З НИЗКИ РОДОВИЩ СВІТУ.....	122
<i>Петро Волошин, Юрій Андрейчук, Валентина Марусяк</i> ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ КАПЛИЦІ БОЇМІВ У ЛЬВОВІ.....	131
<i>Олександр Деманджара, Ярина Тузяк</i> НОВІ ЗНАХІДКИ СКАМ'ЯНИЛИХ СТОВБУРІВ ДЕРЕВ МІОЦЕНОВОГО ВІКУ В МЕЖАХ РОЗТОЧЧЯ (ВИННИКІВСЬКИЙ ЛІС, УКРАЇНА).....	143

Василь Дяків, Володимир Козловський, Павло Макарук,

Наталія Романюк, Любомир Шеремета

КАРСТОВІ ОЗЕРА ТА ЇХ ТРАНСФОРМАЦІЯ В ТОРФОВИЩА ЯК ПРИРОДНІ
КОМПЕНСАТОРНІ МЕХАНІЗМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЛАНДШАФТУ В МЕЖАХ
СОЛОТВИНСЬКОГО РОДОВИЩА.....152

Лев Ємець

АКТУАЛЬНІСТЬ ВІДБОРУ КЕРНУ ПРИ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ДОСЛІДЖЕННЯХ СВЕРДЛОВИН, ВПЛИВ НА КОРЕЛЯЦІЮ ТА УТОЧНЕННІ
ФІЛЬТРАЦІЙНО-ЄМНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАСТІВ-КОЛЕКТОРІВ
КОМИШНЯНСЬКОГО ГКР.....170

Сергій Мамчур, Василь Шпирка

СТРУКТУРНО-ПАЛЕОГЕОГРАФІЧНІ Й ЛІТОЛОГО-ФАЦІАЛЬНІ
ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ БУРШТИНОНОСНИХ ТОВЩ
І ПОКЛАДІВ БУРШТИНУ ПРИП'ЯТСЬКОГО ОЛІГОЦЕНОВОГО БАСЕЙНУ.....177

Любов Фігура, Мирон Ковальчук

РУДОНОСНІСТЬ ЄМИЛІВСЬКОЇ ДІЛЯНКИ МЕЖИРІЧНОГО
РОДОВИЩА ТИТАНОВИХ РУД.....189

Зенон Хевпа, Василь Дяків, Ігор Кицмур, Володимир Петришин

МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД РУД СТЕБНИЦЬКОГО РОДОВИЩА
КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ, ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ, ВІДХОДИ, ЇХ ВПЛИВ
НА ДОВКІЛЛЯ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ.....205

Олександр Шваєвський, Олександр Бобров, Микола Павлунь, Тарас Шваєвський

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ САВРАНЬСЬКОГО
РУДНОГО ПОЛЯ (СЕРЕДНЄ ПОБУЖЖЯ, УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ).....226

Юлія Клименко

ВІДТВОРЕННЯ СКЛАДУ КРЕМЕНЕВИХ ГУБОК ТА ЇХ УМОВ ІСНУВАННЯ
В РАНЬОСЕНОМАНСЬКИЙ ЧАС НА СХІДНОМУ СХІЛІ
УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА.....235

ІСТОРІЯ НАУКИ

Петро Білоніжка

З ІСТОРІЇ ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА (ДО 80-РІЧЧЯ ВІД ЗАСНУВАННЯ).....242

ХРОНІКА

Антоніна Іваніна, Лариса Генералова, Галина Гоцанюк,

Ярина Тузяк, Леонід Хом'як, Ігор Шайнога, Мілена Богданова

ПОСТУП КАФЕДРИ ЗАГАЛЬНОЇ ТА ІСТОРИЧНОЇ ГЕОЛОГІЇ І ПАЛЕОНТОЛОГІЇ
ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА (2020–2025).....250

ВИПУСКНИКИ ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ (2024 ТА 2025 РОКІВ).....270

CONTENTS

MILESTONE BIRTHDAY

Mykola Pavlun, Yevheniya Slyvko, Oleg Hayovskyy, Serhii Tsikhon, Larysa Heneralova
ON THE 80TH ANNIVERSARY OF THE FOUNDING OF THE GEOLOGY FACULTY
OF THE IVAN FRANKO NATIONAL UNIVERSITY OF LVIV.....3

ARTICLES

Mykola Pavlun

GEOLOGICAL STRUCTURE AND THERMOBAROGEOCHEMICAL ZONING
OF GOLD DEPOSITS OF THE METAMORPHOGENETIC-HYDROTHERMAL CLASS
ON THE UKRAINIAN SHIELD.....22

Myron Kovalchuk, Olena Ganzha

FORMATION AND MINERAL COMPOSITION OF THE URZUF PLACER (AZOV SEA).....34

Nataliia Batsevykh, Ihor Naumko

MATERIALS FOR PETROGRAPHICAL AND PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS
OF VOLCANOMICTIC FORMATIONS OF ZORYANY THICKER OF THE
CONTINENTAL FLOOD BASALTS OF WESTERN VOLYN.....46

Ulyana Bornyak, Marina Ragulina, Oleg Orlov

CALCAREOUS TUFA CHANNELS OF WEST OF UKRAINE – VALUE OBJECTS
OF LIVING AND INANIMATE NATURE.....61

Ihor Bubniak, Andrii Bubniak, Anatolii Vivat, Taras Marko, Kateryna Boiko

LASER SCANNING OF CAVES: ADVANCED TECHNOLOGIES
FOR EXPLORING UNDERGROUND SPACES BASED ON THE EXAMPLES
OF MEDOVA CAVE AND MLYNKY CAVE.....69

Hanna Buchatska, Vasyl Dyakiv, Vitaliy Sadnik

NATURAL CONDITIONS, TECHNOLOGICAL DISTURBANCE AND GEOCHEMICAL
CHANGES OF THE HYDROGEOLOGICAL SYSTEM OF THE SHEPTYTSKY
(CHERVONOGRAД) MINING AND INDUSTRIAL DISTRICT.....88

Yuriy Vikhot, Solomiia Kril

NATURAL (GEOLOGICAL) HYDROGEN AS A NEW MINERAL RESOURCE:
CURRENT STATE, CHALLENGES, PROSPECTS, RISKS.....107

Oleksandr Vovk, Ihor Naumko

CRYSTAL MORPHOLOGICAL FEATURES OF VOLYN TOPAZES COMPARED
TO TOPAZ POLYHEDRA FROM VARIOUS DEPOSITS WORLDWIDE.....122

Petro Voloshyn, Yuriy Andreychuk, Valentyna Marusiak

ENGINEERING AND GEOLOGICAL PROBLEMS OF PRESERVATION
OF THE BOIM IN LVIV CHAPEL.....131

Oleksandr Demandzhara, Yaryna Tuzyak

NEW DISCOVERIES OF FOSSILIZED TREE TRUNKS FROM THE MIOCENE
EPOCH IN THE ROZTOCZE REGION (VYNNYKY FOREST, UKRAINE).....143

Vasyl Dyakiv, Volodymyr Kozlovsky, Pavlo Makaruk, Nataliya Romanyuk, Lubomyr Sheremeta

KARST LAKES AND THEIR TRANSFORMATION INTO PEATLANDS
AS NATURAL COMPENSATORY MECHANISMS OF LANDSCAPE
STABILIZATION WITHIN THE SOLOTVYN FIELD.....152

Lev Yemets

THE RELEVANCE OF CORE SAMPLING IN GEOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL
STUDIES OF WELLS, THE IMPACT ON THE CORRELATION AND REFINEMENT
OF FILTRATION AND CAPACITIVE PROPERTIES OF RESERVOIR FORMATIONS
OF THE KAMYSHTYANSKY GCF.....170

Serhii Mamchur, Vasyl Shpyrka

STRUCTURAL-PALEOGEOGRAPHIC AND LITHOLOGICAL-FACIES
REGULARITIES OF THE FORMATION OF AMBER-BEARING STRATA
AND AMBER DEPOSITS OF THE PRIPYAT OLIGOCENE BASIN.....177

Liubov Figura, Myron Kovalchuk

ORE CAPACITY OF THE EMYLIVSKA SECTION
OF THE MEZHRYCHNY TITANIUM ORE DEPOSIT.....189

Zenon Kheypa, Vasyl Dyakiv, Ihor Kytsmur, Volodymyr Petryshyn

MINERAL COMPOSITION OF ORE OF STEBNIYTSKY KOTASSIUM SALT
DEPOSIT, ENRICHMENT TECHNOLOGIES, WASTES, THEIR IMPACT
ON THE ENVIRONMENT AND WAYS TO SOLUTION THE PROBLEM..... 205

Oleksandr Shvaievskiy, Oleksandr Bobrov, Mykola Pavlun, Taras Shvaievskiy

PHYSICAL AND CHEMICAL FEATURES OF THE SAVRAN ORE FIELD
(UKRAINIAN SHIELD)..... 226

Yulia Klymenko

REPRODUCTION OF THE COMPOSITION OF SILICIUM SPONGES
AND THEIR CONDITIONS OF EXISTENCE IN THE EARLY CENOMANIAN
TIMES OF THE EASTERN SLOPE OF THE UKRAINIAN SHIELD..... 235

HISTORY OF SCIENCE

Petro Bilonizhka

FROM THE HISTORY OF THE GEOLOGICAL FACULTY
OF THE IVAN FRANKO NATIONAL UNIVERSITY OF LVIV
(TO THE 80TH ANNIVERSARY OF ITS FOUNDATION).....242

Antonina Ivanina, Larysa Heneralova, Halyna Hotsanyuk,

Yaryna Tuzyak, Leonid Khomyak, Ihor Shaynoha, Milena Bogdanova

PROCEDURE OF THE DEPARTMENT OF GENERAL AND HISTORICAL
GEOLOGY AND PALEONTOLOGY OF THE FACULTY OF GEOLOGY
OF THE IVAN FRANKO NATIONAL UNIVERSITY OF LVIV (2020–2025).....250

CHRONICLE

GEOLOGICAL FACULTY GRADUATES (2024 AND 2025).....270