

VISNYK
OF THE LVIV
UNIVERSITY

ВІСНИК
ЛЬВІВСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

Series Geology

Серія геологічна

Issue 37

Випуск 37

Scientific journal

Збірник наукових праць

Published 1 issue per year

Виходить 1 раз у рік

Published since 1962

Виходить з 1962 р.

Ivan Franko
National University of Lviv

Львівський національний
університет імені Івана Франка



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

Друкується за ухвалою Вченої Ради
Львівського національного університету
імені Івана Франка
протокол № 59/12 від 19 грудня 2023 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 14609-3580Р від 28.10.2008 р.

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 103 – 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 103 – Earth sciences).

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, геоінформаційних 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. Гнилко*; д-р геол. наук *К. Г. Григорчук*; д-р геол. наук, проф. *М. М. Павлунь*; канд. геол.-мін. наук *А. В. Побережський*; д-р геол. наук, проф. *Н. Я. Радковець*; 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. Ціхонь*.

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: *Ю. Дацюк, Л. Генералова*

Адреса редколегії: Editorial office address:

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

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

Комп'ютерне верстання *Н. Кузнєцова*

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. Інглєзі, 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.

Формат 70x100/16
Ум. друк. арк. 13,65.
Тираж 100 прим. Зам. 0224/116

© Львівський національний
університет імені Івана Франка, 2023

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ДОПОВНЕННЯ СХЕМИ ГЕНЕТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН КЛАСОМ МЕТАМОРФОГЕННО-ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ РОДОВИЩ ГІДРОТЕРМАЛЬНОЇ ГРУПИ

Микола Павлунь

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

У статті розглянуто особливості фізико-хімічного перебігу процесів формування золоторудних родовищ Українського щита (УЩ). Установлено їхню метаморфогенно-гідротермальну природу. Про це свідчить найбільш високобаричний (до гіпербаричного) тиск мінералоутворення (200–300–350 МПа), суббізохоричний тренд перебігу процесів рудогенезу та високий ступінь термостатування й геологічно найзакритіший тип глибинних рудогенерувальних палеогідротермальних систем, де вертикальний палеотемпературний градієнт ($\Delta T/100$ м) змінюється від 8–10°C/100 м (Балка Широка), 5–8°C/100 м (Балка Золота) до 3–5°C/100 м (Майське). Діагностовано високий ступінь густини діоксиду вуглецю у флюїдах (до 0,944–1,02 г/см³) у початковий гіпер- і високобаричний період формування родовищ УЩ. Це проявляється в очевидному домінуванні гомогенізації складних вуглекислотно-водно-сольових, водно-сольових, вуглекислотно-водних і суттєво водних включень за першим типом – у рідину. Натомість гомогенізація в газову фазу за другим типом, у тім числі часткова й повна (для інклюдивів із CO₂), відбувається у зв'язку з фазовими переходами CO₂ в складі генерацій «киплячих» гідротерм (P_{CO₂}-Г-P_{H₂O} і P_{CO₂}-Г) під час та особливо на завершення формування золотоносних парагенезисів. Неординарно висока густина метаморфогенних флюїдів через особливо велику в'язкість рідинної фази інклюдивів проявляється в край повільному (стисненому) процесі часткової й повної гомогенізації (гетерогенізації) інклюдивів, що не властиво магматогенно-гідротермальним родовищам.

Ці та деякі інші ознаки термобарохімічного перебігу процесів рудоутворення, які виключно властиві метаморфогенно-гідротермальним родовищам, дають нам підстави доповнити класифікацію родовищ корисних копалин В. Смірнова новим класом гідротермальної групи – метаморфогенно-гідротермальним.

Ключові слова: класифікація родовищ корисних копалин, термобарогеохімія, родовища золота України, метаморфогенно-гідротермальне зруденіння, генезис.

Процес магматогенно-гідротермального рудогенезу з'ясовано майже достеменно. Він реалізується за двома схемами: 1) екстракція речовини відбувається в процесі магматичної дистиляції флюїдними складовими з відображеними у вигляді зон прожилково-вкрапленої мінералізації жил і штокверків; 2) винесення речовини з магматичних тіл та інтродованих ними порід рами виконують конвективні потоки активізованих метеорних (вадозних) вод глибинної циркуляції в тому чи іншому співвідношенні з ювенільними водами (флюїдами).

Щодо метаморфогенно-гідротермального виникнення нових нагромаджень рудної речовини, то вони теж забезпечуються за двома варіантами перебігу процесу (Петровська,

1976; Шило, 1976; Буряк, 1997). За одним із них джерелом речовини є товщі й комплекси різних метаморфічних порід, а роль транспортувальних агентів тут уже відіграє тріада так званих похованих, метаморфогенних і активізованих метеорних (вадозних) вод глибинної циркуляції. Енергія рудоутворення забезпечується метаморфічними або магматичними процесами. І тут вступає в дію другий варіант такого рудогенезу: він реалізовується шляхом виникнення парамагматитів в умовах ультраметаморфічного переплавлення речовини (палінгенезу чи анатексису) і реалізації рудоутворення за пропонуваними схемами 1 і 2, що наведені вище. Загалом рудогенез у цьому разі може реалізовуватися за різними комбінаціями, що в сумі відповідають метаморфогенно-гідротермальному рудоутворенню. Про природу й діагностичні ознаки термобарогеохімії таких процесів і необхідність доповнення генетичної класифікації В. Смірнова метаморфогенно-гідротермальним класом гідротермальних утворень ідеться в статті.

Процеси класифікації родовищ корисних копалин (далі – РКК) та деталізації й удосконалення класифікаційних систем із розширенням інформаційного кола знань є нескінченними, як і сама наука. Їх складність у галузі рудогенії особливо висока внаслідок різноманітності фізико-хімічних умов і механізмів рудоутворення й безлічі геологічних ситуацій їхнього прояву, нерідко з ознаками комбінованого (накладеного) розвитку зрудення поліформаційного типу. Саме тому не існує двох абсолютно однакових РКК, кожне з яких індивідуальне [8].

Ключовими ознаками перших класифікаційних спроб були ті, які порівняно легко діагностуються візуально: речовинний склад, будова, форма й розміри рудних тіл. Саме це враховувала найдавніша класифікація Георгія Бауера [12]. Подібний напрям так званих морфологічних кваліфікаційних систем розвинуто в працях відомих геологів, зокрема Б. Котта (1859), А. Бадера (1925) та інших.

З удосконаленням уявлень про природу й механізми рудоутворення з'явилося поняття про первинні та вторинні руди, магматичні й післямагматичні, гідротермальні РКК [11]. Розробляли також методологію типізації родовищ, яка, з огляду на помітний розвиток теорії рудогенезу наприкінці XIX і початку XX століття, стала визначальною: класифікація РКК на генетичних принципах і засадах відкриває шлях до їх розшуків і прогностичного оцінювання рудоносних територій. Природно, що стався вибухоподібний процес розробки генетичних класифікаційних систем, що відрізнялися наданням переваг таким чинникам рудогенезу, як характер зв'язків із геолого-енергетичними, фізико-хімічними, гравітаційно-механічними процесами концентрації корисних копалин, а також глибини локалізації зрудення, відстані від його речовинно-генетичного джерела від синрудної палеоповерхні, завдяки чому враховували можливий діапазон зміни термобаричного, окисно-відновного режиму рудоутворювальних систем тощо [8].

Різні аспекти цього процесу висвітлено в багатьох працях, але особливо популярними були класифікаційні системи західноєвропейської вулcano-плутонічної [17] і класифікація за природою рудоутворювального флюїду, способом відкладання руд і за рудними асоціаціями [10]. Але найширшого визнання набула глибинно-температурна класифікація на основі уявлень про генезис руд і середовище мінералоутворення в США [15; 16]. Ця класифікація була дещо видозмінена й доповнена телетермальними [14] і ксенотермальними [13] родовищами. І хоча ці класифікації перевищували інформаційно-аналітичні можливості геології тієї пори, вони суттєво вплинули на логіку, зміст і структуру подальших розробок з генетичної класифікації РКК, особливо на 1/6 площі світу, де геологічна наука й освіта були в справжньому пріоритеті. Зокрема, це добре видно з генетичних праць В. Обручева, О. Ферсмана, П. Татарінова, М. Усова, С. Захарова, І. Магак'яна, Є. Радкевич, В. Котляра, І. Рожкова, особливо В. Смірнова.

Кожна генетична класифікаційна система так чи інакше спрямована на вирішення певного кола проблем, завдань, досягнення конкретної мети. Класифікація поліпшує опис родовищ і в деяких випадках дає змогу робити реальні висновки стосовно їх походження й закономірностей поширення. Класифікація РКК повинна бути складена просто, але головне, щоб нею можна було користуватися в польових умовах [11]. Із цього погляду, а також із погляду дидактичних міркувань у галузі сучасної рудогенії й незаперечного досвіду провідних закладів вищої школи пріоритет належить генетичній класифікації РКК В. Смірнова, яка найконкретніше враховує всі принципово важливі досягнення попередників і разом із тим залишається оригінальною, змістовною та повною (Смірнов, 1969, 1974, 1982).

Зокрема, ця схема генетичної класифікації РКК включає чотири різномасштабні «рівні організації матерії»: генетичну серію, що відображає характер енергетичного-речовинного джерела й можливе місце локалізації зруденіння; генетичну групу, що об'єднує родовища різних корисних копалин, пов'язаних розвитком рудоутворювального процесу певного типу («генетичний тип» зруденіння); генетичний клас родовищ, що відрізняється певною специфікою механізмів прояву того чи іншого рудного процесу; генетичний підклас родовищ об'єднує родовища, що пов'язані з розвитком одного типу процесу, проте за умови своєї геолого-структурної ситуації.

Однак в найпоширенішій сьогодні й майже універсальній генетичній класифікаційній схемі РКК академік В. Смірнов (1982) серед класів родовищ гідротермальної групи не вирізняє метаморфогенно-гідротермальний клас РКК: у схемі генетичної класифікації родовищ є тільки плутоногенно-гідротермальний, вулканогенно-гідротермальний і телетермальний, а новим класом метаморфогенно-гідротермальних родовищ ми доповнили гідротермальну групу.

Чому? Та найвірогідніше через те, що в метаморфогенно-гідротеральному класі рудогенезу значно більше на той час було фізико-хімічної гіпотетики й нестачі саме термобарогеохімічних (далі – ТБГХ) ознак перебігу таких своєрідних процесів і неспростованих геолого-геохімічних і ТБГХ-фактологічних даних на її підтвердження. Про природу й діагностичні ТБГХ-ознаки таких процесів і сформованих при цьому родовищ, зокрема золоторудних на УЩ, і йдеться в повідомленні.

За емпіричними спостереженнями й теоретико-експериментальними даними процес магматогенно-гідротермального рудогенезу здійснюється за кількома різними схемами. За першою з них винос (екстракція) речовини з магматичних тіл відбувається в процесі магматичної дистиляції їхніми флюїдними складовими, а за другою – винос речовини з магматичних тіл та інтродованих ними порід рами виконують конвективні потоки активізованих метеорних (вадозних) вод глибокої циркуляції в тому чи іншому кількісному співвідношенні з магматичними (ювенільними) водами (флюїдами). Модель подібних конвективних систем так званого рециклінгу за період рудоутворення усуває проблему дефіциту транспортувальних агентів, що впливає із зіставлення розрахункових (за розчинністю компонентів) мас флюїдного носія з його розчинністю в магматичних силікатних розплавах.

Що стосується метаморфогенного, особливо метаморфогенно-гідротермального, виникнення нових нагромаджень рудної речовини, то тут вони забезпечуються теж за двома варіантами перебігу процесу (Буряк, 1997). За одним із них, це відбувається шляхом перегрупування розсіяних її концентрацій з виносом у ділянці зі структурно-літологічно (петрографічно) і фізико-хімічно сприятливим для рудовідкладання режимом. У таких процесах джерелом речовини є наявні геологічні утворення – товщі й комплекси різних метаморфічних порід; роль транспортувальних агентів тут здебільшого виконує триада так званих похованих, метаморфогенних та активізованих метеорних (вадозних)

вод глибинної циркуляції. Енергія процесу утворення забезпечується метаморфічними або магматичними процесами. І тут вступає в дію другий варіант такого рудогенезу: він здійснюється шляхом виникнення парамагматитів в умовах ультраметаморфічного переплавлення речовини (палінгенезу чи анатексису) і реалізації рудоутворення за плутоногенними схемами 1 і 2, що наведенні вище. Загалом же рудоутворення в цьому разі може реалізовуватися за різними комбінаціями, що в сумі відповідають метаморфогенно-гідротермальному рудогенезу. Такі процеси зумовлені високотемпературно-баричними перетвореннями порід різного походження, часто з переважанням у їх складі осадових порід, які лише енергетично належать до глибинних утворень, а речовинно – ні. Не випадково така рудна мінералізація часто тяжіє до товщ порід, нерівномірно збагачених карбонатними утвореннями [1; 2]. Це забезпечує дію принципово важливого механізму дегідратації та декарбонатизації відповідних порід: включається потужний засіб формування так званих метаморфогенних вуглекислотно-водних термальних металоносних розчинів, що здатні до нагромадження, перенесення й відкладання значної кількості різних корисних копалин саме у вигляді метаморфогенно-гідротермальних, у тім числі золотоносних, руд.

Що стосується просторової асоціації зруденіння з магматизмом, то це, як ми показали [2], у принципі можливо, але тільки як результат ультраметаморфізму з частковим переплавленням порід, якщо йдеться не про причиново-наслідкові, а паралельні («братські») зв'язки (як це має місце, зокрема, на родовищі Майському формації золотоносних біотит-кварц-олігоклазових метасоматитів на Українському щиті (далі – УЩ)) [3], де анатектичні граніти відіграють роль енергетичної флюїдної системи [4; 5].

Метаморфогенно-гідротермальну природу РКК, зокрема золоторудних родовищ УЩ, ми описали й обґрунтували неодноразово [2–5; 6–7], у тім числі в підручнику [8], де ми вперше поставили питання про доповнення схеми генетичної класифікації РКК В. Смірнова класом метаморфогенно-гідротермальних родовищ, особливо детально розглянули метаморфогенно-гідротермальну природу золоторудних родовищ УЩ за даними ТБГХ [9–10].

Метаморфогенно-гідротермальні родовища поширені в регіонально метаморфізованих докембрійських блоках земної кори. За віком більшість із них пов'язана з процесами метаморфізму докембрійських епох, інколи раннього палеозою.

Вони приурочені до ділянок прадавньої складчастості, де тяжіють до двох геотектонічних структур: граніт (грануліт)-зеленокам'яних ділянок архейських щитів (найчастіше до їх ядерних частин – кратонів) чи протерозойських зон складчастого облямування архейських ядер. Рудовмісними є в ядерних структурах щитів метабазити по туфолововому матеріалу основного складу (метадіабази-дуніти-перидотити), що перетворені в серпентин-тальк-хлоритові кристалічні сланці й подекуди прорвані продуктами процесів гранітизації (ультраметаморфізму) у вигляді складних тіл граніт-порфірів (Канадський щит, Західно-Австралійський щит) або кварцових порфірів, альбітофірів (УЩ, Сурська зеленокам'яна структура); у периферійних зонах облямування ядер домінують гнейси, різноманітні амфібол-гранат-біотитові кристалосланці, важливу рудолокалізуювальну роль відіграють філітоподібні графітізовані сланці [1; 2; 4; 5].

Зв'язки зруденіння з магматичними утвореннями первинно структурно-енергетичні й, вірогідно, зумовлені просторово-віковою спільністю певних циклів активізації метаморфогенних перетворень. Хоча подекуди можливі й парагенетичні зв'язки з кислими дериватами в складі так званих плутоно-вулканічних комплексів, які нерідко завершуються субвулканічною та еруптивною діяльністю. Типовим у цьому контексті є метаріодацит-плагіогранітний комплекс Сурської зеленокам'яної структури УЩ, де простежуються навіть зональний розподіл рідкіснометалевого й золотого зруденіння (родовище Сергіївське, Балка Золота тощо).

Контроль зруденіння зумовлений особливостями розвитку певних зон змінання метаморфогенних порід типу пластичних деформацій, зонами розвитку січних структур. У цьому разі рудолокалізуювальну роль відіграють деякі стратиформні поклади магніто-активних порід типу залізистих кварцитів, магнетитоносних амфіболітів або кристалосланців, що збагачені вуглецем, особливо інтенсивно графітізованих (родовище Балка Широка) [2]. Відповідно, форми рудних тіл метаморфогенно-гідротермального класу суттєво відрізняються від утворень попередніх магматогенно-гідротермальних класів надзвичайною різноманітністю. Головно вони є «неправильними» з чіткими елементами успадкування складчастості рудовмісного блока (вервице-, флекуро-, S-подібні, фестончасті тощо); дуже рідкісними є чітко стратиформні тіла (пластові, лінзоподібні), іноді типові січні (жильні, лаштункоподібні жили, зони прожилково-вкрапленої мінералізації, штокверки з переходом до змішаних утворень складної полум'яноподібної форми) [2; 8].

Опишемо найяскравіші ТБГХ ознаки цих родовищ. Родовища цього типу є найвисокобаричнішими (250–300 МПа, часто гіпербаричними (350 МПа, родовище Майське в Дністерсько-Бузькому мегаблоці УЩ) серед гідротермальних утворень: це добре узгоджується з попередніми припущеннями щодо їхньої глибинності від 4–5 до 10–12 км (Петровська, 1973, Бородаєвська, Рожков, 1978) і є першою ознакою родовищ метаморфогенно-гідротермального класу.

Другою специфічною рисою рудогенерувальної системи є провідна роль надкритичних, виключно гомогенно-рідинних фаз не просто водно-сольових, а суттєво вуглекислотно-водних і водно-вуглекислотних розчинів, що насичені іншими газами (CH_4 , N_2 , H_2) та легкорозчинними солями галоїдно-гідрокарбонатного складу (нерідко сольова концентрація до 50–65 мас. %). Це пов'язано з процесами «всолювання», тобто з вилугуванням і насиченням розчинів деякими компонентами бічних порід, а також процесів поступового розкладання певних металоносних комплексних сполук.

Серед флюїдних включень наявні виключно рідкісні високогустинні суттєво газові (наповнені водним розчином <10%) із кристалічною фазою NaCl. Діагностовані водно-сольові трифазові включення гомогенного стану середовища мінералоутворення ($\Gamma\text{-T}_{\text{NaCl}}\text{-P}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{T}_{\text{NaCl}}\text{-}\Gamma\text{-P}_{\text{H}_2\text{O}}$) та вуглекислотно-водні високогустинного флюїду ($\Gamma\text{-P}_{\text{CO}_2}\text{-P}_{\text{H}_2\text{O}}$, 0,94–0,97 до 1,02 г/см³) на родовищі Майському [2; 3; 9; 8].

Натомість на Сергіївському й родовищі Балка Золота разом із гомогенним визначено гетерогенний стан середовища: тут є суттєво вуглекислотні ($\Gamma\text{-P}_{\text{CO}_2}$ і $\Gamma\text{-P}_{\text{CO}_2}\text{-P}_{\text{H}_2\text{O}}$) з об'ємом рідинного CO_2 95–90% і газоподібного CO_2 5–10%, звичайні вуглекислотно-кристалічні ($\Gamma\text{-T}\text{-P}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\Gamma\text{-P}_{\text{CO}_2}\text{-}\Gamma\text{-P}_{\text{H}_2\text{O}}$). Усі вони є крайнім випадком гетерогенного захоплення з домішками не головної вуглекислотно-водної фази, а супутніх – рідкого діоксиду вуглецю, кристалічної галітової фази або обох разом. Такий тип гетерогенного стану властивий виключно для метаморфогенно-гідротермальних родовищ золота, а подібну гетерогенізацію ми називаємо «трифазною» або «подвійною», коли одразу з'являється дві додаткові фази (NaCl і CO_2) супроти звичайної гетерогенізації постмагматичних гідротерм (плутоні- й вулканогенно-гідротермальних) із виникненням тільки однієї з цих фаз: газоподібного CO_2 – закипання, рідкого CO_2 – ліквідація, фази NaCl – кристалізація [2; 9; 10].

Висока густина флюїдів (0,740–0,944–0,970–1,02 г/см³) у початковий гіпер- і високобаричний період формування родовищ золота УЩ визначає гомогенізацію складних вуглекислотно-водно-сольових, водно-сольових, вуглекислотно-водних включень за першим типом – у рідину. Те саме відбувається під час гомогенізації CO_2 у складі три-чотирифазних і вуглекислотних включень гомогенного захоплення. Гомогенізація за другим типом (у газову фазу), у тім числі часткова й повна, відбувається лише з фазовими переходами CO_2 у складі генерацій «киплячих» гідротерм ($\text{P}_{\text{CO}_2}\text{-}\Gamma\text{-P}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{P}_{\text{CO}_2}\text{-}\Gamma$) під час та особливо на завершненні

формування власне золотоносних парагенезисів. При цьому як наслідок високобаричних глибинних умов рудогенезу спостерігається порівняно низька температура гомогенізації таких інклюдивів з дещо вищою за таку на плутоногенно-гідротермальних родовищах.

Неординарно висока густина метаморфогенних флюїдів проявляється в особливостях динаміки фазових перетворень. У цьому процесі відбувається не властива для постмагматичних родовищ, край помітна й малопомітна зміна фазових співвідношень із дуже спокійним зникненням (появою) парогазової фази через особливо велику в'язкість рідинної фази інклюдивів.

Процес мінералоутворення на таких об'єктах, як і на магматогенно-гідротермальних родовищах золота розвивався багатостадійно регресивно-інверсійно й у широкому діапазоні температур (500–50 °С), але, на відміну від них, у дуже спокійному міжстадійному режимі з температурними інверсіями не більше ніж 5–20 °С. Зміни температури в просторі також дуже витримані й стабілізовані, що є ще однією важливою специфічною діагностичною рисою цього класу родовищ [9; 10].

Загалом золотоносні родовища УЩ потрапляють у поля найтермостатованіших і геологічно найзакритіших глибинних генерувальних систем із параметрами вертикального палеотемпературного градієнта ($\Delta T/100$ м) не більше ніж 8–10 °С/100 м (Балка Широка), 5–8 °С/100 м (Балка Золота, Сергіївське) до 3–5 °С/100 м (Майське), що узгоджується з величиною термоградієнтів сучасних термоактивних зон земної кори. Саме ця четверта особливість метаморфогенно-гідротермального класу зумовлює суттєву поширеність на глибину та масштабність розвитку їх зруденіння, яка сягає 2–3 км. Натомість порівняно з плутоногенно-гідротермальними й вулканогенно-гідротермальними (ΔT 15–30 °С на 100 м і 25–30 до 90 °С на 100 м відповідно) родовищами порівняно багатих руд це значно менш концентрований тип зруденіння з поширенням порівняно бідних, головню прожилково-вкраплених і метасоматично заміщених руд, що формують мінералізовані зони й інколи поодинокі жильні тіла, однак із великими та дуже великими запасами металу.

І, нарешті, остання особливість перебігу процесів рудоутворення на плутоногенно- й вулканогенно-гідротермальних і метаморфогенно-гідротермальних родовищах золота. Тренд їх розвитку, відповідно, мав нахрест ізохоричний напрям проти субізохоричних трендів розвитку рудогенезу на метаморфогенно-гідротермальних родовищах УЩ та подібних родовищах інших щитів.

Генотипними представниками цього класу є відомі родовища таких мінеральних типів: величезні за запасами галеніт-сфалеритові (Салліван, Канада; Брокен-Хілл, Південна Австралія), домінують за кількістю й величиною запасів благородного металу родовищ давньої золото-кварцової рудної формації великих глибин, малосульфідні (1–5%) із піритом, піритином, арсенопіритом – Колар, Мізор, Індія; Поркюпайн, Канада; Морро-Велью, Бразилія; Шервуд Стар у залізистих кварцитах (Центральна Африка); Калгурлі, Австралія; Ашанті (у графітізованих філітах), Гана; Балка Золота, Сергіївське, Балка Широка, Майське в Середньопридніпровському та Дністерсько-Бузькому мегаблоках УЩ; Сурозьке, Ольгінське в Приазовському мегаблоці УЩ; вірогідно, Сауляк на Рахівщині, Закарпаття; родовища високоякісних руд графіту в Індії, Шрі-Ланці (о. Цейлон) тощо.

Отже, родовища метаморфогенно-гідротермального класу гідротермальної групи поширені на архейських щитах і в протерозойському складчастому облямуванні, мають здебільшого неправильну й складну полум'яноподібну морфологію рудних тіл.

До характерних особливостей генезису таких родовищ треба зарахувати такі:

- найвисокобаричніший стан гідротермальної системи рудогенезу – від 200–300 до 350 МПа;
- золотоносні родовища УЩ потрапляють у поле геологічно найзакритіших і найтермостатованіших рудогенерувальних систем із параметрами вертикального

палеотемпературного градієнта ($\Delta T/100$ м) близько 8–10 °C/100 м (Балка Широка), 5–8 °C/100 м (Балка Золота, Сергівське), 3–5 °C/100 м (Майське);

- субізохоричний тренд перебігу процесу рудогенезу на метаморфогенно-гідротермальних родовищах і вхрест ізохоричний розвиток палеогідротермальної системи на магматогенно-гідротермальних родовищах;

- специфічною рисою рудогенерувальної системи є провідна роль надкритичних виключно гомогенно-рідинних фаз не просто водно-сольових, а суттєво вуглекислотно-водних, водно-вуглекислотних розчинів, які насичені іншими газами (CH_4 , H_2 , N_2) і легко розчиненими солями галоїдно-гідрокарбонатного складу (нерідко сольова концентрація до 50–65 мас. % NaCl). Це пов'язано з процесами всолювання, тобто з процесами вилуговування й нагромадження в розчинах компонентів бічних порід;

- висока густина флюїдів (0,740–0,944–0,970–1,02 г/см³) у початковий гіпері високобаричний період формування родовищ золота на УЩ визначає гомогенізацію складних вуглекислотно-водно-сольових, водно-сольових і вуглекислотно-водних включень за першим типом – у рідину, так само відбувається під час гомогенізації CO_2 у складі три-чотирифазних і вуглекислотних включень гомогенного захоплення;

- неординарно висока густина флюїдів проявляється в особливостях динаміки фазових перетворень у включеннях: у цьому процесі відбувається вкрай помітна й мало помітна зміна фазових перетворень із дуже повільним зменшенням (поаявою) парогазової фази через велику в'язкість рідинної фази інклюдивів;

- процес мінералоутворення розвивається багатостадійно регресивно-інверсійно, але в дуже спокійному міжстадійному режимі з температурними інверсіями не більше ніж 5–20°C.

Є й інші ТБГХ ознаки специфічного режиму формування золоторудних родовищ УЩ, але й перераховано достатньо, щоб вирізнити метаморфогенно-гідротермальний клас родовищ гідротермальної групи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобров О.Б. Корисні копалини України. Львів : ВЦ ЛДУ, 1992. Ч. 1 : Золоторудні родовища Українського щита. 58 с.
2. Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України / О.Б. Бобров, Д.С. Гурський, А.О. Сіворонов та ін. Київ : ВЦ УДГРІ, 2004. 456 с.
3. Бобров О.Б., Сіворонов А.О., Меркушин І.Є. Майське золоторудне родовище (геологія, речовинний склад руд, модель утворення). Дніпропетровськ, 2000. 180 с.
4. Metallogeny of Noble Metals of the Ukrainian Shield / O.B. Bobrov, D.S. Gursky, S.V. Nechaev, A.O. Sivoronov, O.O. Yushin, M.M. Pavlun. *Mineral. Journ.* (Ukraine). 2002. № 2/3. С. 37–44.
5. Economic gold mineralization in the Ukrainian Shield / A.B. Bobrov, A.A. Sivoronov, V.I. Malyuk, M.M. Pavlun. *Newsletter of the ILGGM*. 1998. № 26. Р. 61–64.
6. Ляхов Ю.В., Павлунь М.М., Ціхонь С.І. Термостатованість палеогідросистем як основа генетичної типізації золоторудних родовищ України (за даними дослідження флюїдних включень). *Мінерал. збірник*. 2000. № 50. С. 38–43.
7. Ляхов Ю., Павлунь М. Термобарогеохімічне обґрунтування рудно-формаційної належності ендогенних золоторудних родовищ України: теоретичні та методологічні аспекти. *Мінерал. збірник*. 2002. № 52. С. 68–73.
8. Ляхов Ю.В., Павлунь М.М., Ціхонь С.І. Геологія корисних копалин (Ч. 1. Рудогенез) : навчальний підручник. Львів : ВЦ ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 245 с.
9. Павлунь М.М. Фізико-хімічні умови і зональність розвитку молібден-вольфрамових та золоторудних формацій (за результатами термобарогеохімічних досліджень) : автореф. дис. ... докт. геол. наук. Львів, 2003. 53 с.

10. Павлунь М.М. Про метаморфогенно-гідротермальну природу родовищ золоторудних формацій Українського щита. *Мінерал. журнал*. 2015. Т. 37. № 3. С. 98–111.
11. Park Ch.F., Mac-Piarmid R.A. Ore deposits. Eol. Free man and comp.; Sun. Francis and London, 1964. 545 p.
12. Agrikola G. De Re Metallica. 1556. Ed. by H.C. Hoover and L.H. Hoover. New York : Dover Publications, 1950.
13. Badolington H.F. High-temperature mineral associations at shallow to moderate depths. *Econ. Geol.* 1935. № 30. P. 205–222.
14. Craton L.C. The depth-zones in ore deposition. *Econ. Geol.* 1933. № 8. P. 513–555.
15. Lindgren W. Mineral deposits. New York, Mc-Graw-Hill Book Co., inc., 1913.
16. Lindgren W. Mineral deposits (4th ed). New York, Mc-Graw-Hill Book Co., 1933.
17. Niggli P. Ore deposits of magmatic origin (translated H.C. Boydell). London, Thomas Murby and Co., 1929.
18. Schneiderhomu H. Lehrbuch der Erzlagerstunde. Jena. Gustav Fisher, 1941.

REFERENCES

1. Bobrov O.B. (1992). Korysni kopalyny Ukrainy [Minerals of Ukraine]. Ch.1. Zolotorudni rodovyscha Ukrainskoho shchya. Lviv: LDCh, 1992. 58 p. [in Ukrainian].
2. Bobrov O.B., Hurskyi D.S., Sivoronov A.O. ta in. (2004). Heoloho-henetychna typizatsiia zolotorudnykh rodovysch Ukrainy [Geological and genetic typing of gold ore deposits of Ukraine]. K., VTs UDHR, 456 p. [in Ukrainian].
3. Bobrov O.B., Sivoronov A.O., Merkuslyn I.Ie. (2000). Maiske zolotorudne rodovysche (heolohiia, rehovynnyi sklad rud, model utvorennia) [May gold ore deposit (geology, material composition of ores, model of formation)]. Dnipropetrovsk, 180 p. [in Ukrainian].
4. Bobrov O.B., Gursky D.S., Nechaev S.V., Sivoronov A.O., Yushin O.O., Pavlun M.M. (2002). Metallogeny of Noble Metals of the Ukrainian Shield // *Mineral. Journ.* (Ukraine). 24. № 2/3. pp. 37–44.
5. Bobrov A.B., Sivoronov A.A., Malyuk B.I., Pavlun M.M. (1998). Economic gold mineralization in the Ukrainian Shield: *Newsletter of the ILGGM*. Southgempton. April. No 26. pp. 61–64.
6. Liakhov Yu.V., Pavlun M.M., Tsikhon S.I. (2000). Termostatovanist paleohidrosystem yak osnova henetychnoi typizatsii zolotorudnykh rodovysch Ukrainy (za danymy doslidzhennia fluidnykh vkluchchen) [Thermostability of paleohydrothermal systems as a basis for genetic typing of gold ore deposits of Ukraine (according to the study of fluid inclusions)]. *Mineral. zb.* № 50, pp. 8–43 [in Ukrainian].
7. Liakhov Yu., Pavlun M. (2002). Termobarogeokhimichne obgruntuvannia rudno-formatsiinoi nalezhnosti endohennykh zolotorudnykh rodovysch Ukrainy: teoretychni ta metodolohichni aspekty [Thermobarogeochemical substantiation of the ore-formation affiliation of endogenous gold ore deposits of Ukraine: theoretical and methodological aspects]. *Mineral. zb.* № 52, pp. 68–73 [in Ukrainian].
8. Liakhov Yu.V., Pavlun M.M., Tsikhon S.I. (2011). Heolohiia korysnykh kopalyn (ch. 1. Rudohenez): navchalnyi pidruchnyk [Geology of minerals (Part 1. Oreogenesis): textbook]. Lviv: LNU imeni Ivana Franka, 245 p. [in Ukrainian].
9. Pavlun M.M. (2003). Fyzyko-khimichni umovy i zonalnist rozvytku molibden-volframovykh ta zolotorudnykh formatsii (za rezultatamy termobarogeokhimichnykh doslidzhen) [Physico-chemical conditions and zonation of development of molybdenum-tungsten and gold ore formations (according to the results of thermobarogeochemical studies)]: Avtoref. dys. ... d-ra heol. nauk. Lviv, 53 p. [in Ukrainian].
10. Pavlun M.M. (2015). Pro metamorfohenno-hidrotermalnu pryrodu rodovysch zolotorudnykh formatsii Ukrainskoho shchya [On the metamorphogenic-hydrothermal nature of deposits of gold ore formations of the Ukrainian shield]. *Mineralohichnyi zhurnal*, Kyiv. t. 37, № 3, pp. 98–111 [in Ukrainian].
11. Park Ch.F., Mac-Piarmid R.A. (1964). Ore deposits. Eol. Free man and comp.; Sun. Francis and London, 545 p.

12. Agrikola G. *De Re Metallica*. 1556 (1950). Ed by H.C. Hoover and L. H. Hoover. New York: Dover Publications.
13. Badolington H.F. (1935). High-temperature mineral associations at shallow to moderate depths. *Econ. Geol.* 30. pp. 205–222.
14. Craton L.C. (1933). The depth-zones in ore deposition. *Econ. Geol.* 8. pp. 513–555.
15. Lindgren W. (1913). *Mineral deposits*, New York, Mc-Graw-Hill Book Co., inc.
16. Lindgren W. (1933). *Mineral deposits* (4th ed). New York, Mc-Graw – Hill Book Co.
17. Niggli P. (1929). *Ore deposits of magmatic origin* (translated H.C. Boydell), London, Thomas Murby and Co.
18. Schneiderhomu H. (1941). *Learbuch der Erslagersten kunde*. Jena. Gustav Fisher [in German].

ON THE NECESSITY OF SUPPLEMENTING THE SCHEME OF GENETIC CLASSIFICATION OF MINERAL DEPOSITS WITH THE CLASS OF METAMORPHOGENIC-HYDROTHERMAL DEPOSITS OF THE HYDROTHERMAL GROUP

Mykola Pavlun

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

The features of the physical and chemical course of the processes of formation of gold ore deposits of the Ukrainian Shield are considered. Their metamorphic-hydrothermal nature is established. This is evidenced by the highest (up to hyperbaric) pressure of mineral formation (200–300–350 MPa), sub-isochoic trend of ore formation processes and a high degree of thermostatization and geologically the most closed type of deep ore-generating paleohydrothermal systems, where the vertical paleotemperature gradient ($\Delta T/100$ m) ranges from 8–10°C/100 m (Balka Shyroka), 5–8°C/100 m (Balka Zolota) to 3–5°C/100 m (Mayske). A high degree of carbon dioxide density in the fluids (up to 0.944–1.02 g/cm³) was diagnosed during the initial hyper- and high-baric period of the formation of the UC deposits. This is manifested in the obvious dominance of homogenization of complex carbon dioxide-water-salt, water-salt, carbon dioxide-water and substantially water inclusions of the first type – in the liquid. Instead, homogenization into the gas phase of the second type, including partial and complete (for inclusions with CO₂), occurs due to phase transitions of CO₂ as part of the generation of “boiling” hydrotherms (CO₂–G–H₂O and CO₂–G) during and especially at the end of the formation of gold-bearing paragenesis. The unusually high density of metamorphic fluids due to the particularly high viscosity of the liquid phase of inclusions is manifested in an extremely slow (compressed) process of partial and complete homogenization (heterogenization) of inclusions, which is not typical for magmatogenic-hydrothermal deposits.

These and some other features of the thermobarochemical course of ore formation processes, which are exclusively characteristic of metamorphic-hydrothermal deposits, give us grounds to supplement the classification of V. Smirnov's mineral deposits with a new class of hydrothermal group – metamorphic-hydrothermal.

Deposits of the metamorphogenic-hydrothermal class of the hydrothermal group are widespread on Archean shields and in the Proterozoic folded border and mostly have an irregular and complex flame-like morphology of ore bodies.

Key words: classification of mineral deposits, thermobarogeochemistry, gold deposits of Ukraine, metamorphogenic-hydrothermal mineralization, genesis.

ТИПІЗАЦІЯ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ІСТОРИЧНОЇ ЗАБУДОВИ ЛЬВОВА – ОСНОВА ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ ПАМ'ЯТОК АРХІТЕКТУРИ

Петро Волошин, Надія Кремінь

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: petro.woloshyn@gmail.com; nadya710@gmail.com*

У статті охарактеризовано інженерно-геологічні умови, здійснено інженерно-геологічну типізацію центральної частини міста Львова.

Центральна частина міста Львова – це музей архітектури під відкритим небом, що входить до переліку об'єктів унесеної спадщини ЮНЕСКО. Проте понад 70% розташованих тут будівель і споруд, що мають історичну цінність, характеризуються різним ступенем ушкодження, а окремі з них зазнали повного руйнування.

Геологічне середовище є основою підвалів архітектурних пам'яток. Зміна стану й властивостей геологічного середовища в часі під впливом природних і техногенних чинників призводить до деформації будівель і часто повного їх руйнування. У сфері впливу історико-архітектурних пам'яток залягає строкатий за літологічним складом і властивостями комплекс ґрунтів, який містить техногенні відклади (культурний шар), відклади четвертинної системи, неогену та верхньої крейди.

Ґрунтовий масив, що є підґрунтям фундаментів, складається з порід високої, середньої й низької несучої здатності. Високою несучою здатністю характеризуються мергелі, мергелісти глини, неогенові, четвертинні делювіальні та алювіальні піски. Середню несучу здатність мають заплавні суглинки й делювіальні супіски. До порід із низькою несучою здатністю зараховано «слабкі» алювіально-болотні заторфовані ґрунти, торфи й техногенні накопичення.

Класифікаційними ознаками під час інженерно-геологічної типізації центру Львова є рельєф, будова геологічного розрізу, потужність техногенних і заторфованих ґрунтів, літологічний склад порід, гідрогеологічні умови, сучасні морфодинамічні процеси. Досліджувана територія в структурі геологічного середовища міста Львова розглядається як інженерно-геологічний район Полтвинської улоговини. У її межах виділено два підрайони: днище улоговини та схили.

За будовою геологічного розрізу в межах кожного підрайону виділено ділянки дво-, три-, чотири-, п'яти- й багатошарової будови.

Ключові слова: інженерно-геологічні умови, архітектурна пам'ятка, інженерно-геологічна типізація.

Центральна частина міста Львова – це своєрідний музей архітектури під відкритим небом. Завдяки своїй унікальності й неповторності історико-архітектурний центр міста в 1998 р. внесено до списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО. Цей статус вимагає їх збереження та підтримання в належному стані. Найбільш гострою та актуальною є проблема фізичного збереження пам'яток архітектури в контексті їх взаємозв'язку та взаємодії з компонентами природного середовища.

За нашими даними [1–7] і результатами обстежень, проведених міським управлінням житлово-комунального господарства, понад 70% розташованих тут будівель і споруд,

що мають велику історичну цінність, характеризуються різним ступенем ушкодження, а окремі з них зазнали повного руйнування.

Серед багатьох компонентів природи, що взаємодіють із пам'ятками й тією чи іншою мірою впливають на їхній стан, ключова роль належить геологічному середовищу, яке утворює з ними складну природно-технічну систему. Цей важливий складник доквілля є основою підвалин і середовищем існування пам'яток.

Зміна стану і властивостей геологічного середовища в часі під впливом природних і техногенних чинників часто призводить до деформації будівель, а іноді й повного їх руйнування. Запобігання руйнівним процесам у природно-технічній системі «пам'ятка-геологічне середовище» потребує детального її вивчення.

Мета статті – провести типізацію геологічного середовища історичної забудови Львова.

У сфері впливу історико-архітектурних пам'яток залягає строкатий за літологічним складом і властивостями комплекс ґрунтів, який містить сучасні нагромадження (культурний шар), відклади четвертинної системи, неогену та верхньої крейди.

За віком, генезою показниками складу, стану й фізико-механічними властивостями вони поділені на вісім шарів і зображені на рис. 1, 2.

Нижче наводимо їх розгорнуту характеристику (зверху-вниз).

Техногенні ґрунти суцільним плащем покривають територію історичної частини Львова. Потужність шару змінюється в широких межах – від 2,0–4,0 до 6,0–9,0 м. Відклади цього генетичного типу – це специфічний природно-антропогенний композит, надзвичайно строкатий за складом, будовою, станом і властивостями. Це зумовлено неоднаковими способами формування, різною тривалістю існування, висхідним матеріалом, із якого він утворений, а також потужним антропогенним впливом.

Ґрунти комплексу мають яскраво виражені сенсорні властивості, є дуже чутливими до природних та особливо антропогенних змін умов існування.

За літологічним складом у товщі техногенних ґрунтів виділяють увесь відомий спектр глинистих порід (супіски, суглинки, глини), а також піски й великоуламкові накопичення.

З огляду на специфіку нагромадження техногенних ґрунтів, у їх складі варто виділяти природний та антропогенний складники. Природний складник представлений різними літологічними типами природних ґрунтів: супісками, суглинками, глинами тощо, цілеспрямовано переміщеними людиною. Вони, як правило, утворюють основну масу ґрунту. Антропогенний складник формують різного типу продукти життєдіяльності людини. Це головним чином будівельне (бита цегла, тесаний камінь, штукатурка, уламки бетону, асфальт, стружка, окремі кам'яні й дерев'яні будівельні конструкції) і побутове сміття (кераміка, скло, шкіра, металічні й неметалічні вироби тощо), промислові відходи (зола, шлак, формувальні піски тощо). Майже обов'язковим складником є високий уміст органічної речовини, кількість якої закономірно змінюється з глибиною. Співвідношення між основною масою й антропогенними включеннями змінюються в широких межах. У багатьох випадках особливо в молодих за віком (XIX–XX ст.) накопиченнях кількість антропогенного матеріалу може значно переважати природний, який у такому випадку відіграє роль наповнювача.

За даними виконаних досліджень, а також узагальнення матеріалів інженерно-геологічних досліджень минулих років [1–7], у літологічному складі техногенних ґрунтів переважають суглинки, менше поширені супіски та глини, а великоуламкові й піщані породи виявлені лише на ділянках розташування фортифікаційних споруд (вул. Валова).

Дослідження виявили, що товща техногенних ґрунтів, яка залягає в основі фундаментів, характеризується дуже складною внутрішньою будовою. Окремі шари, які входять

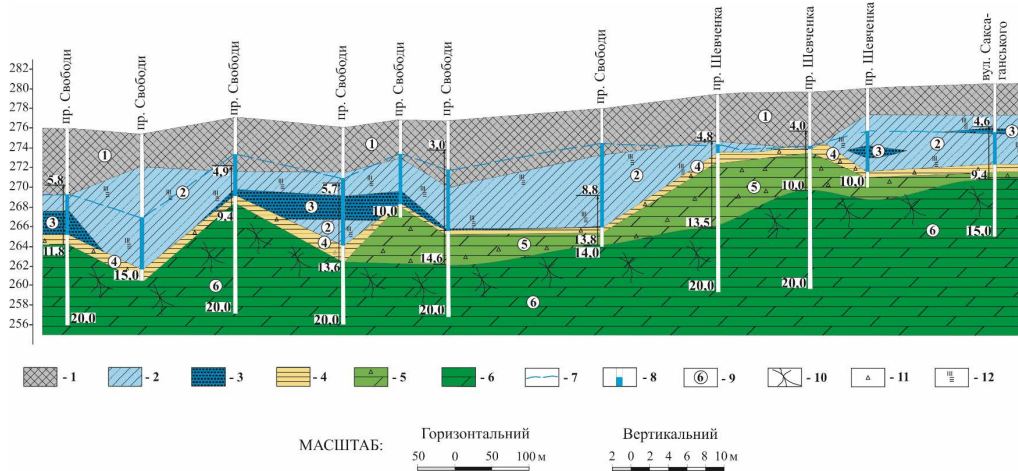


Рис. 1. Інженерно-геологічний розріз за лінією VI–VI

1 – техногенний ґрунт; 2 – супіски, суглинки, глини заторфовані, піски, торф; 3 – суглинки тугопластичні; 4 – піски середньозерністі та дрібні з уламками пісковиків і вапняку; 5 – глини мергелісті напівтверді та тверді; 6 – мергелі тріщинуваті; 7 – дзеркало ґрунтових і техногенних вод; 8 – статичний рівень напірних вод; 9 – номер шару; 10 – тріщинуватість; 11 – уламки мергелю в глинах; 12 – заторфованість

до її складу, мають лінзоподібно-язикувату й дрібношарувату будову. Вони відрізняються кількістю, закономірностями просторового розміщення та якісним складом антропогенних включень.

Природна вологість ґрунтів змінюється від 20% до 120%, уміст органічних речовин коливається від 4–6% до 42%. Вони вміщують велику кількість – від 8,2% до 35% – карбонату кальцію. Щільність природного ґрунту змінюється від 1,31 г/см³ до 2,01 г/см³, а в прошарку «викопного» гною вона становить лише 1,1 г/см³.

Модуль деформації не перевищує 2,9 МПа. Кут внутрішнього тертя змінюється від 2 до 4°, питоме зчеплення – 0,003–0,05 МПа.

За показниками властивостей, що визначають несучу здатність порід, техногенні накопичення без перебільшення варто зарахувати до категорії слабких ґрунтів. Високий ступінь літологічної неоднорідності, наявність різного розміру порожнин дають змогу розглядати їх як суфозійно не стійкі.

Істотне зволоження ґрунтів цього типу сприяє зменшенню фізико-механічних властивостей, а осушення викликає дегідратаційне осідання.

Алювіально-болотний комплекс відкладів характеризується складною внутрішньою будовою. У його межах виділяється строкатий за літологічним складом і властивостями набір порід. Він містить ґрунти різного ступеня заторфованості, глинисті ґрунти без органіки й піски.

Різні умови формування цих ґрунтів зумовили суттєві відмінності їх складу і властивостей. Найнесприятливішими з погляду використання їх як підґрунтя інженерних об'єктів є заторфовані ґрунти й торфи. Серед заторфованих виділяються глини, суглинки, супіски й піски.

Об'єднання різних номенклатурних видів ґрунтів в один шар зумовлено з одного боку їх спільною ознакою – великим умістом органічних речовин, з іншого – складними

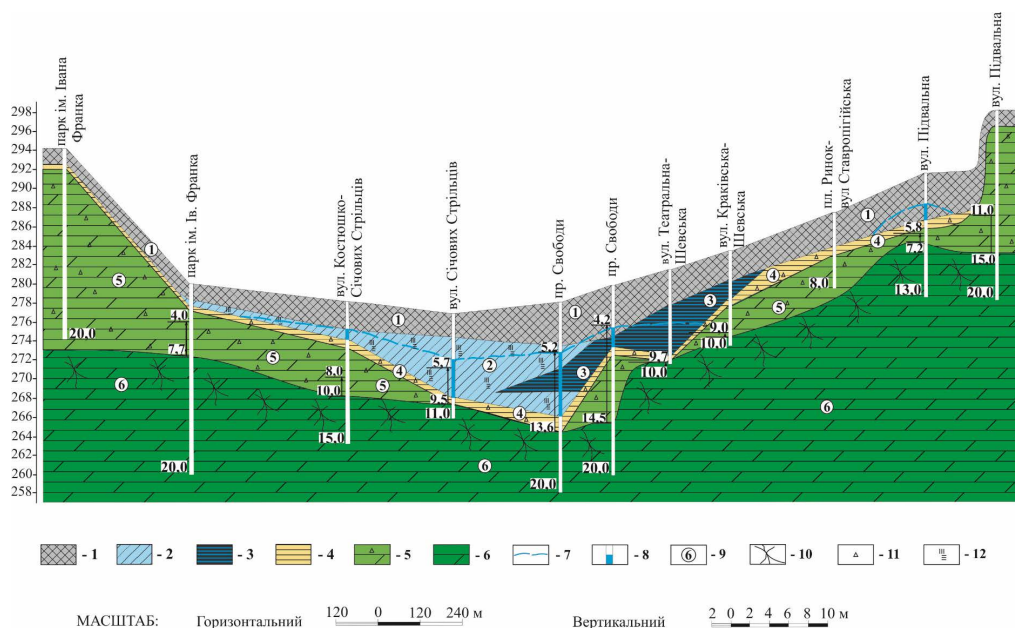


Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз за лінією I–I (умовні позначення див. рис. 1)

просторовими взаємовідносинами, фаціальним заміщенням, перешаруванням, лінзоподібним заляганням, які проявляються навіть у межах окремих будівель.

Головною особливістю цих ґрунтів є висока природна вологість, низька щільність, надзвичайно велика й нерівномірна стискуваність, а також довготривалість розвитку деформацій. Усі ці особливості характеризують їх як відклади, використання яких як основи споруд супроводжується значним інженерним ризиком.

Найнижчими значеннями інженерно-геологічних параметрів характеризуються торфи. Природна вологість цих ґрунтів змінюється від 92% до 303%, уміст органічних речовин на окремих ділянках досягає 90–99%. Торфи переважно середньорозкладені. Щільність у природному стані коливається від 0,80 г/см³ до 1,73 г/см³.

Кут внутрішнього тертя за різних вертикальних навантажень змінюється від 3 до 7°, питоме зчеплення коливається від 0,036 МПа до 0,072 МПа. Модуль деформації дуже низький. В інтервалі вертикальних навантажень 0,2–0,3 МПа він становить у середньому 0,9 МПа, а за навантажень 0,1–0,2 МПа – 0,19 МПа.

Фізико-механічні властивості заторфованих ґрунтів визначаються головним чином умістом органічних речовин. Літологічний склад при цьому відіграє другорядну роль.

Загальна кількість органіки коливається в досить широких межах від 5% до 50%, але найбільше поширеними є ґрунти з умістом органічних речовин у діапазоні 5–25%. Зі зростанням їх умісту і ступеня розкладання міцнісні й деформативні властивості суттєво зменшуються.

Відклади заплавної алювію представлені оглеєними, озалізненими іноді з домішками органічних решток напівтвердими суглинками.

Природна вологість ґрунтів цього типу змінюється від 0,13 до 0,38. Щільність ґрунту – від 1,27 г/см³ до 2,06 г/см³, коефіцієнт пористості пересічно становить 0,79. Модуль

деформації коливається від 3,0 МПа до 20,0 МПа. Кут внутрішнього тертя й питоме зчеплення пересічно становлять 20° і 0,024 МПа.

За показниками міцнісних і деформаційних характеристик їх можна розглядати як задовільну за якістю основу фундаментів.

Відклади руслового алювію складені різними за гранулометричним складом пісками. В об'ємі цього шару зустрічаються гравіюваті середньозернисті, дрібнозернисті й пилюваті відміни. Найчастіше в розрізі наявні середньозернисті піски, меншою мірою дрібні пилюваті та гравіюваті.

За даними радіоізотопних досліджень, вони мають невисоку вологість і середню щільність, досить високі значення міцнісних і деформаційних властивостей. За цими показниками вони класифікуються як надійна основа будинків і споруд.

Високий ступінь неоднорідності пісків за гранулометричним складом залягання їх на багатьох ділянках у зоні аерації є сприятливими чинниками для розвитку антропогенної механічної суфозії та ущільнення під впливом вібродинамічних навантажень.

Комплекс делювіальних відкладів складений двома номенклатурними типами ґрунтів: супісками й пісками. Супіски лесовидного обліку переважно тверді, нижчі за рівень ґрунтових вод і в місцях техногенного зволоження пластичні.

Природна вологість ґрунтів коливається від 0,09 до 0,23, щільність у природному стані пересічно становить $1,92 \text{ г/см}^3$, коефіцієнт пористості – 0,60. Кут внутрішнього тертя й питоме зчеплення та модуль деформації в насиченому водою стані, відповідно, становлять 32° , 0,014 МПа і 28 МПа.

Характерною особливістю цього типу ґрунтів є наявність лінз і прошарків дрібного та пилюватого піску, що надає їм яскраво вираженої шаруватості.

Шар пісків – це здебільшого складно збудована верствувата товща, яка складається з незакономірного перешаровування пилюватих, дрібних і середньозернистих пісків. Крім того, вона містить численні перевірки лесовидних супісків і значну кількість (до 10–25%) великоуламкового матеріалу.

Ці ґрунти характеризуються також низькою вологістю, середньою щільністю, досить високими показниками міцності й деформованості.

Високий ступінь літологічної неоднорідності створює сприятливі умови для розвитку механічної суфозії контактного типу. Але загалом вони є досить надійною основою фундаментів.

Неогеновий комплекс відкладів складений головню дрібнозернистими пісками. За даними гранулометричного аналізу, у його складі переважають частинки $>0,1 \text{ мм}$, уміст яких становить у середньому 78%. Вони здебільшого мало вологі. За даними статичного зондування, піски мають переважно середню щільність, рідше щільні.

Коефіцієнт пористості змінюється від 0,65 до 0,70. Їх щільність при природній вологості становить $1,70 \text{ г/см}^3$. За показниками механічних властивостей вони є надійною основою більшості споруд.

Водночас залягання піщаної товщі в зоні аерації, наявність у ній прошарків пилюватих і середньозернистих пісків є сприятливими за певних гідрогеологічних умов для інтенсивного розвитку механічної суфозії.

Мергелісті глини є продуктом хімічного звітрювання мергелів. За показниками фізичних і механічних властивостей вони істотно відрізняються від мергелів.

Значний уміст колоїдних частинок спричиняє досить високу природну вологість, яка часто перевищує 30%. Число пластичності змінюється головним чином від 0,10 до 0,42, пересічно становить 0,20. Щільність ґрунту природної вологості змінюється від $1,70 \text{ г/см}^3$ до $2,04 \text{ г/см}^3$, коефіцієнт пористості – від 0,60 до 1,34.

Глини мають тверду, рідше напівтверду консистенцію. Вони характеризуються досить високими значеннями міцнісних і деформативних показників. Зокрема, середнє значення кута внутрішнього тертя становить 17° , питоме зчеплення – 0,074 МПа, модуль деформації – 17 МПа. За цими ознаками мергелисті глини можна розглядати як надійне підґрунтя фундаментів.

Завдяки високій глинистості ці ґрунти практично водонепроникні. У багатьох випадках вони є регіональним водотривким шаром. На ділянках, де глини залягають близько від поверхні, створюються сприятливі умови для розвитку техногенного підтоплення. У районах, де кривля глин має значні нахили, по її поверхні активно розвиваються осуви.

Верхньокрейдові мергелі – це скельні розм'ягчувані породи змішаного складу пелітоморфної структури. Масивні нетріщинуваті мергелі можна розглядати як практично нестискувані ґрунти в інтервалі навантажень від будівель цивільного й промислового призначення. Але, з огляду на те що у верхній частині вони розбиті густою мережею нічим не наповнених тріщин, властивості мергелів у породному масиві істотно відрізняються від їх значень в окремо взятому зразку. За даними лабораторних досліджень, природна вологість мергелів пересічно становить 0,14, щільність за такої вологості – 2,10 г/см³, тимчасовий опір одночасному стисненню в насиченому водою стані – 5,9 МПа. Загалом мергелі є надійною основою інженерних споруд.

Завершуючи розгляд фізико-механічних властивостей ґрунтів, варто зазначити таке:

1. Ґрунтовий масив, що відіграє роль підґрунтя фундаментів, складається з порід високої, середньої й низької несучої здатності.
2. Високою несучою здатністю характеризуються мергелі, мергелисті глини, неогенові, четвертинні делювіальні й алювіальні піски.
3. Середню несучу здатність мають заплавні суглинки та делювіальні супіски.
4. До порід із низькою несучою здатністю зараховано «слабкі» алювіально-болотні заторфовані ґрунти, торфи й техногенні накопичення.

Слабкі ґрунти характеризуються, крім того, здатністю до розвитку процесів тривалої повзучості. Швидкість розвитку деформацій цього типу може істотно зростати під впливом транспортної вібрації. У разі істотного зменшення вологості вони зазнають значного дегідратаційного осідання.

Високий ступінь літологічної неоднорідності техногенних ґрунтів, глинисто-піщаних делювіальних, а також певною мірою піщаних неогенових та алювіальних порід дає змогу зарахувати їх до категорії суфозійно нестійких.

На досліджуваній території виявлено два водоносні горизонти: четвертинний і верхньокрейдовий. Перший від поверхні – водоносний горизонт четвертинних відкладів, який сформувався на водотривкому елювії верхньокрейдових мергелів. Другим від поверхні є горизонт верхньокрейдових артезіанських вод, пов'язаних із тріщинуватими мергелями маастрихтського ярусу.

Особливості геологічної будови, складу, фізико-механічних властивостей порід і потужне техногенне навантаження на геологічне середовище сприяють розвитку таких небезпечних і несприятливих геологічних процесів, як механічна суфозія, дегідратаційне осідання поверхні й підтоплення, що суттєво впливають на стійкість будівель і споруд, у тому числі пам'яток архітектури.

Важливим аспектом вивчення геологічного середовища для потреб реставрації є його типізація. Під типізацією геологічного середовища розуміють районування території, яке полягає у виділенні певного об'єму гірськопорідного масиву, розміщеного на певному геоморфологічному елементі, що характеризується різними умовами протікання

природних і природно-техногенних процесів і різною здатністю змінюватися під впливом інженерно-господарської діяльності людини.

Важливим моментом під час типізації є вибір чинників, за якими здійснюється поділ геологічного середовища. До таких класифікаційних ознак ми зарахували рельєф, будову геологічного розрізу, потужність техногенних і заторфованих ґрунтів, літологічний склад порід, гідрогеологічні умови та сучасні морфодинамічні процеси.

За певним набором наведених вище характеристик виділено декілька різнорангових інженерно-геологічних таксонів, зокрема район, підрайон, тип ділянки.

Уся досліджувана територія в структурі геологічного середовища м. Львова розглядається як інженерно-геологічний район Полтвинської улоговини (рис. 3).

Морфологічні особливості рельєфу дали змогу виділити в її межах два підрайони, днища улоговини та схилів.

За будовою геологічного розрізу в межах кожного підрайону виділено ділянки дво-, три-, чотири-, п'яти- й багат шарової будови.

Потужність слабких (техногенних і заторфованих) ґрунтів, літологічний склад порід, рівень залягання ґрунтових вод і розвиток небезпечних процесів покладено в основу виділення типів ділянок.

Усього виділено 19 типів інженерно-геологічної будови (рис. 3). Просторовий аналіз виділених типів показує, що на схилах улоговини переважають стійкі до сприйняття навантажень від будівель типи геологічного середовища. Вони характеризуються наявністю в основі фундаментів ґрунтів із високою несучою здатністю (пісків, мергелистих глин, мергелів), як правило, відсутністю ґрунтових вод і незначним розвитком інженерно-геологічних процесів. Значно менші за площею ділянки займає тип відносно сприятливих умов. Вони характеризуються потужною (3–6 м) товщею техногенних (сильно й нерівномірно стискуваних) ґрунтів і проявами техногенної суфозії.

У межах інженерно-геологічного підрайону днища Полтвинської улоговини поширені ділянки з багат шаровою (3–5 і більше шарів ґрунту) будовою, переважанням несприятливих умов, які характеризуються потужною товщею техногенних (3–9 м), заторфованих ґрунтів до 6–8 м, наявністю ґрунтових вод на глибині від 2,0 до 6,0 м, активним розвитком техногенного підтоплення та суфозії. У його межах, крім того, спостерігається досить інтенсивне загальне осідання території.

Цифрами на рисунку 3 позначені типи інженерно-геологічних ділянок із різною будовою розрізу:

днище Полтвинської улоговини (заплавна тераса р. Полтви) Д

а) тришарова будова розрізу D_3

1 – $D_{3,1}$ – техногенний ґрунт до 3,0 м; мергелисті глини 0,1–1,0 м; мергелі. Ґрунтові води відсутні;

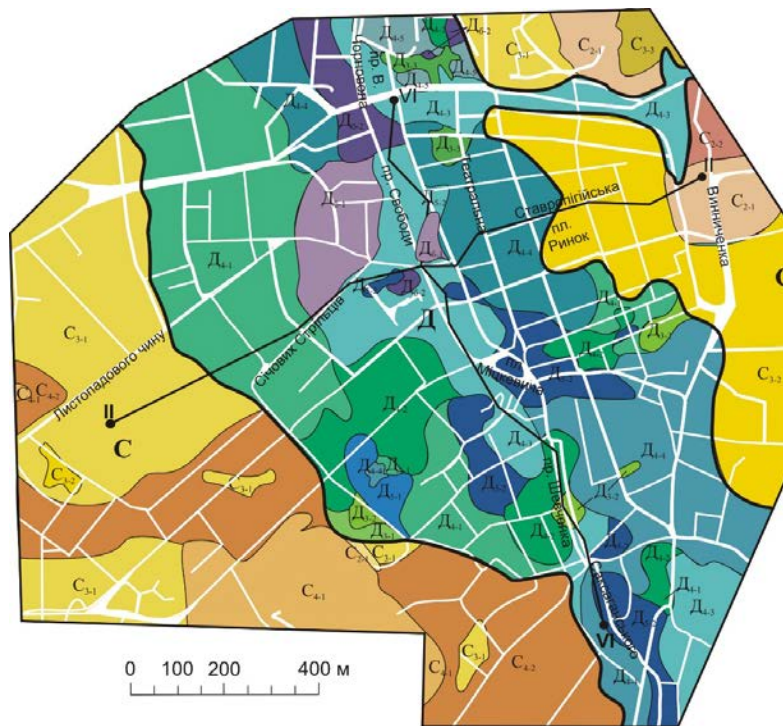
2 – $D_{3,2}$ – техногенний ґрунт 3,0–6,0 м; мергелисті глини 0,2–1,0 м; мергелі. Ґрунтові води відсутні. Техногенна суфозія;

3 – $D_{3,3}$ – техногенний ґрунт 6,0–9,0 м; мергелисті глини 1,0–1,6 м; мергелі. Ґрунтові води відсутні. Техногенне підтоплення (РТВ – 3,8–4,4 м). Техногенна суфозія;

б) чотиришарова будова розрізу D_4

4 – $D_{4,1}$ – техногенний ґрунт до 3,0 м; заторфовані супіски, суглинки, глини до 3,0 м; мергелисті глини 0,5–1,0 м; мергелі. РГВ – 3,0–3,5 м, на окремих ділянках ґрунтові води відсутні. Техногенне підтоплення (РТВ 2,5–2,8 м);

5 – $D_{4,2}$ – Техногенний ґрунт 3,0–6,0 м; заторфовані супіски, суглинки, глини іноді з прошарками торфу до 3,0 м; мергелисті глини 0,5–2,0 м; мергелі. РГВ 4,0–6,0 м. Техногенне підтоплення (РТВ – 2,5–4,0 м). Техногенна суфозія;



Умовні позначення:

Типи інженерно-геологічної будови ділянок

Днище полтвинської улоговини
 (заплавна тераса р. Полтва) **Д**

Трьохшарова будова розрізу **Д₃**

Д_{3,1} - 1 **Д_{3,2}** - 2 **Д_{3,3}** - 3

Чотирьохшарова будова розрізу **Д₄**

Д_{4,1} - 4 **Д_{4,2}** - 5

Д_{4,3} - 6 **Д_{4,4}** - 7 **Д_{4,5}** - 8

П'ятишарова будова розрізу **Д₅**

Д_{5,1} - 9 **Д_{5,2}** - 10

Багатшарова будова розрізу **Д₆**

Д_{6,1} - 11 **Д_{6,2}** - 12

Схили полтвинської улоговини **С**

Двошарова будова розрізу **С₂**

С_{2,1} - 13 **С_{2,2}** - 14

Трьохшарова будова розрізу **С₃**

С_{3,1} - 15 **С_{3,2}** - 16 **С_{3,3}** - 17

Чотирьохшарова будова розрізу **С₄**

С_{4,1} - 18 **С_{4,2}** - 19

—●— лінія розрізу

—~— межі інженерно-геологічних підрайонів

—~— межі інженерно-геологічних ділянок

Д індекси інженерно-геологічних підрайонів

Д_{і,1} індекси інженерно-геологічних ділянок

Рис. 3. Картосхема інженерно-геологічної типізації центральної частини м. Львова

6 – **Д_{4,3}** – техногенний ґрунт 3,0–6,0 м; заторфовані суглинки, супіски, глини з про- шарками торфу 3,0–10,0 м; мергелісті глини 0,5–3,0 м; мергелі. РГВ 3,5–5,0 м. Техногенне підтоплення (РТВ – 3,0–3,5 м). Техногенна суфозія;

7 – **Д_{4,4}** – техногенний ґрунт 3,0–6,0 м; піски дрібні й середньозернисті з про- шарками гравію та гальки з уламками пісковика й вапняку 0,5–6,5 м; мергелісті глини

0,5–3,0 м; мергелі. РГВ – 5,5–5,8 м, на окремих ділянках ґрунтові води відсутні. Техногенне підтоплення (РТВ 2,5–5,7 м). Техногенна суфозія;

8 – D_{4-5} – техногенний ґрунт 6,0–9,0 м; піски дрібні й середньозернисті з уламками вапняків із прошарками гравію та гальки 0,5–6,5 м; мергелисті глини 0,5–3,0 м; мергелі. РГВ – 6,0–9,0 м. Локальне техногенне підтоплення (РТВ 4,0–5,2 м). Техногенна суфозія;

в) п'ятишарова будова розрізу D_5

9 – D_{5-1} – техногенний ґрунт до 3,0 м; піски дрібнозернисті 0,5–2,0 м; супіски, суглинки, глини заторфовані 1,0–2,5 м; мергелисті глини 0,5–3,0 м; мергелі. РГВ 2,5–3,8 м. Техногенна суфозія;

10 – D_{5-2} – техногенний ґрунт 3,0–8,0 м; заторфовані суглинки, супіски, глини з прошарками торфу 2,0–6,0 м; піски дрібні 1,5–5,0 м; мергелисті глини 0,5–2,0 м; мергелі. РГВ – 4,0–5,5 м. Локальне техногенне підтоплення (РТВ – 3,0–4,5 м). Техногенна суфозія;

г) багатшарова будова розрізу D_6

11 – D_{6-1} – техногенний ґрунт до 3,0 м; суглинки, супіски, глини заторфовані до 3,0 м; піски дрібні 0,5–3,5 м; суглинки тугопластичні 0,5–4,0 м; мергелисті глини 0,5–2,0 м; мергелі. РГВ – 4,0–4,5 м. Локальне техногенне підтоплення (РТВ –2,0–2,8 м);

12 – D_{6-2} – техногенний ґрунт 3,0–8,0 м; суглинки, супіски, глини заторфовані 3,0–6,0 м; піски дрібні 0,5–1,5 м; суглинки, супіски, глини заторфовані з прошарками торфу 0,5–5,0 м; піски дрібні 0,5–5,0 м; мергелисті глини 0,5–2,0 м; мергелі. РГВ 4,0–10,0 м. Техногенний дренаж. Техногенна суфозія;

схили Полтвинської улоговини

а) двошарова будова розрізу C_2

13 – C_{2-1} – техногенний ґрунт до 3,0 м; мергелі. Ґрунтові води відсутні. Локальне техногенне підтоплення;

14 – C_{2-2} – техногенний ґрунт 3,0–6,0 м; мергелі. Ґрунтові води відсутні;

б) тришарова будова розрізу C_3

15 – C_{3-1} – техногенний ґрунт до 3,0 м; мергелисті глини 1,0–2,0 м; мергелі. Ґрунтові води відсутні. Локальне техногенне підтоплення. (РТВ – 2,4–3,0 м);

16 – C_{3-2} – техногенний ґрунт 3,0–6,0 м; мергелисті глини 0,5–4,0 м; мергелі. Ґрунтові води відсутні. Локальне техногенне підтоплення. (РТВ – 3,0–3,5 м). Техногенна суфозія;

17 – C_{3-3} – техногенний ґрунт до 3,0 м; піски дрібнозернисті з прошарками пісковику й вапняку 2,0–7,0 м; мергелі. Ґрунтові води відсутні. Техногенна суфозія;

в) чотиришарова будова розрізу C_4

18 – C_{4-1} – техногенний ґрунт до 3,0 м; піски дрібнозернисті з прошарками пісковику й вапняку 5,0–10,0 м; мергелиста глина 0,5–2,0 м; мергелі. Ґрунтові води відсутні;

19 – C_{4-2} – техногенний ґрунт до 3,0 м; лесовидні супіски з прошарками піску й піски з прошаками супіску з уламками пісковику 0,5–12,0 м; мергелисті глини 0,5–2,0 м; мергелі. Ґрунтові води на глибині 2,4–10 м. Техногенна суфозія.

Провідну роль у формуванні дефіциту підтримкової здатності підвалів пам'яток архітектури історичної забудови Львова відіграють ґрунти культурного шару й алювіально-болотні накопичення. Вони характеризуються низькою міцністю й високою деформативністю, схильні до розвитку процесів консолідації та об'ємної повзучості, істотного ущільнення в разі зневоднення.

Отже, аналіз просторового положення аварійних будівель тісно корелює з виділеними типами геологічного середовища. Зокрема, найбільша їх кількість приурочена до ділянок, де в геологічному розрізі наявні ґрунти із сенсорними властивостями, близьким

від поверхні заляганням ґрунтових вод і розвитком небезпечних геологічних процесів. Це дає можливість регулювати інтенсивність антропогенного навантаження та застосовувати методи підсилення підвалин, які відповідають типу геологічного середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волошин П., Андрейчук Ю., Кремінь Н. Антропогенні зміни рельєфу центральної частини міста Львова. *Сучасний стан і перспективи розвитку геоморфології і палеогеографії в Україні* : тези доповідей Всеукр. наук.-практ. онлайн-конференції, присвяченої 70-річчю кафедри геоморфології і палеогеографії (25–27 листопада 2020 р.). Львів : ВЦ ЛНУ імені Івана Франка, 2020. С. 87.
2. Волошин П.К. Розвиток антропогенної суфозії у центральній частині Львова та її екологічні наслідки. *Вісник Львівського університету. Серія «Географія»*. 2001. Вип. 27. С. 42–45.
3. Волошин П.К., Качур Р.П. Антропогенний морфолітогенез у центральній частині Львова. *Геоморф. досл. в Україні: минуле, сучасне, майбутнє*. Львів : Ви-дав. центр ЛНУ. 2002. С. 150–151.
4. Волошин П. Природно-антропогенні деформації земної поверхні урбанізованих територій як показник геодинамічного ризику. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2002. Вип. 62. С. 14–20.
5. Волошин П., Кремінь Н., Андрейчук Ю. Геоекологічні ризики освоєння підземного простору центральної частини Львова. *Конструктивна географія і картографія: стан, проблеми, перспективи* : науковий збірник / за ред. Є. Іванова. Львів : Про-стір-М, 2020. С. 15–20.
6. Woloshyn P. Wpływ warunków geologiczno-inżynierskich na zachowanie zabytków architektury centralnej części Lwowa. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geol.* 2011. № 446 (1). S. 157–162.
7. Woloshyn P. Geologiczno-inżynierska charakterystyka ґруntów antropogenicznych historycznej zabudowy Lwowa. *Przegląd Geologiczny*. Numer 10/2 Październik 2017. Tom 65. P. 890–894.

REFERENCES

1. Voloshyn P., Andreychuk Yu., Kremin N. (2020). Antropohenni zminy reliefu tsentralnoi chastyny mista Lvova. Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku heomorfolohii i paleoheohrafii v Ukraini [Anthropogenic changes of the relief of the central part of the city of Lviv]. *Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku heomorfolohii i paleoheohrafii v Ukraini*. Tezy dopovidei Vseukr. nauk.-prakt. onlain-konferentsii, prysviachenoi 70-richchuiu kafedry heomorfolohii i paleoheohrafii (25–27 lystopada 2020 r.). Lviv: VTs LNU imeni Ivana Franka, 2020. P. 87 [in Ukrainian].
2. Voloshyn P.K. (2001). Rozvytok antropohennoi sufozii u tsentralnii chastyni Lvova ta yii ekolohichni naslidky [The development of anthropogenic suffusion in the central part of Lviv and its ecological consequences]. *Visnyk Lviv. un-ty Ser. geogr.*. Issue 27. pp. 42–45 [in Ukrainian].
3. Voloshyn P.K., Kachur R.P. (2002). Antropohennyi morfolitohenez u tsentralnii chastyni Lvova [Anthropogenic morpholithogenesis in the central part of Lviv]. *Heomorf. dosl. v Ukraini: mynule, suchasne, maibutnie*. Lviv: Vy-dav. tsentr LNU [Geomorphological research. in Ukraine: past, present, future. Lviv: Publisher. center of LNU]. pp. 150–151 [in Ukrainian].

4. Voloshyn P.K. (2002). Pryrodno-antropohenni deformatsii zemnoi poverkhni urbanizovanykh terytorii yak pokaznyk heodynamichnoho ryzyku [Natural and anthropogenic deformations of the Earth's surface in urbanized areas as an indicator of geodynamic risk]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia* [Geodesy, cartography and aerial photography]. Issue 62. pp. 14–20 [in Ukrainian].
5. Voloshyn P., Kremin N., Andreychuk Yu. (2020). Heoekolohichni ryzyky osvoinnia pidzemnoho prostoru tsentralnoi chastyny Lvova. [Geoecological risks of development of the underground space of the central part of Lviv]. *Konstruktivna heohrafiia i kartohrafiia: stan, problemy, perspektyvy: nauk. zb. ; za red. Ye. Ivanova*. [Constructive geography and cartography: state, problems, prospects: science. Collection; under the editorship Ye. Ivanov]. Lviv: Prostir-M, pp. 15–20 [in Ukrainian].
6. Woloshyn P. (2011). Wplyw warunkow geologiczno-inzynierskich na zachowanie zabytkow architektury centralnej czesci Lwowa [The influence of geological and engineering conditions on the preservation of architectural monuments in the central part of Lviv]. *Biuletyn Panstwowego In-tu Geol.* N. 446 (1). pp. 157–162 [in Polish].
7. Woloshyn P. (2017). Geologiczno-inzynierska charakterystyka gruntow antropogenicznych historycznej zabuowy Lwowa [Geological and engineering characteristics of anthropogenic soils of the historical buildings of Lviv]. *Przegląd Geologiczny*. N. 10/2 October. Volume 65. pp. 890–894 [in Polish].

TIPIFICATION OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE HISTORICAL BUILDINGS OF LVIV – THE BASIS FOR FORECASTING THE STABILITY OF ARCHITECTURAL MONUMENTS

Petro Voloshyn, Nadiya Kremin

*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: petro.woloshyn@gmail.com; nadya710@gmail.com*

The engineering and geological conditions were characterized, the engineering and geo-logical typification of the central part of the city of Lviv (Ukraine) was carried out.

The central part of the city of Lviv is an open-air museum of architecture, which is included in the list of UNESCO world heritage sites. However, more than 70% of the buildings and structures of historical value located here are characterized by varying degrees of damage, and some of them have been completely destroyed.

The geological environment is the basis of the foundations of architectural monuments. Changes in the state and properties of the geological environment over time under the influence of natural and technogenic factors lead to the deformation of buildings, and often their complete destruction. In the sphere of influence of historical and architectural monuments, there is a complex of soils that is varied in terms of lithological composition and properties, which contains technogenic deposits (cultural layer), deposits of the Quaternary system, Neogene and Upper Cretaceous.

The soil massif, which is the subsoil of the foundations, consists of rocks of high, medium and low bearing capacity. High bearing capacity is characterized by marls, marly clays, Neogene, Quaternary

deluvial and alluvial sands. Alluvial loams and deluvial sandy loams have an average bearing capacity. “Weak” alluvial-swamp peaty soils, peats and man-made accumulations are classified as low-bearing capacity.

The classification features in the engineering-geological typification of the center of Lviv are the relief, the structure of the geological section, the strength of technogenic and peaty soils, the lithological composition of rocks, hydrogeological conditions, and modern morphodynamic processes. The studied territory in the structure of the geological environment of the city of Lviv is considered as an engineering-geological district of the Poltva Basin. Within its boundaries, two subdistricts are distinguished: the bottom of the basin and the slopes.

According to the structure of the geological section, within each subdistrict, sections of two, three, four, five, and multilayer structures are distinguished.

Key words: engineering and geological conditions, architectural monument, engineering and geological typification.

«ЕФЕКТ ДОМІНО» ТЕХНОГЕННИХ ЗМІН ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА У ФОРМУВАННІ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

Ганна Буцацька, Василь Дяків

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: hanna.buchatska@lnu.edu.ua; dyakivw@yahoo.com*

У статті проаналізовано стан гідросфери й навколишнього середовища найбільшого вугле-видобувного 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 з їхніми екзогенними й піро-метаморфічними змінами, а також природно-техногенну трансформацію Червоноградського гірничо-промислового району (ЧГПР). На основі експериментального та геофільтраційного моделювання, оцінювання хімічного складу вод у верхньокрейдовому горизонті тріщинуватих мергелів, аналізу надходження фтору в підземні води водозаборів ЧГПР висунуто гіпотезу про «ефект доміно» у формуванні геоекологічного стану ЧГПР.

Ініціюючим чинником екологічних проблем є виїмання з надр кам'яного вугілля й пустих порід із відпompовуванням шахтних вод. Це й активує утворення пустот у кам'яновугільних відкладах без їхнього закладення, що, у свою чергу, з часом провокує просідання поверхні над виробленим простором з утворенням мульд просідань, заболочень і техногенних озер. Вилучені з надр пусті породи з підвищеним умістом вугілля відсипаються в терикони, а зі збагаченого кам'яного вугілля відділяють некондиційні відходи збагачення та відсипають у породний відвал. Терикони пустих порід, породний відвал збагачувальної фабрики, шламонакопичувачі, відстійники шахтних вод та інші техногенні об'єкти, що забезпечують функціонування вуглевидобувного й вуглезбагачувального комплексу, разом із деформованою поверхнею над виробленим простором змінюють гідрогеологічні та гідрогеохімічні умови підземних вод.

Кислі сульфатні води з териконів і відвалу збагачувальної фабрики, які утворюються внаслідок екзогенного окислення піриту, потрапляють у геофільтраційне поле, рухаються від техногенних об'єктів до річок Західний Буг, Рати та Солокії, а також до водозаборів підземних вод у верхньокрейдовому горизонті тріщинуватих мергелів. Кислі сульфатні води активно взаємодіють із тріщинуватими мергелями верхньої крейди, нейтралізуються й зумовлюють екстракцію фтору з карбонатного та глинистого складників водоносної товщі з його концентруванням у підземних водах, що вилучаються водозаборами. Найбільш несприятливі умови притаманні Соснівському водозбору, вода якого в середині 1990-х років спричинила гіпоплазію та флюороз у дітей.

Ключові слова: Червоноградський гірничо-промисловий район, кам'яне вугілля, збагачення, складування відходів, терикони, оцінювання екологічного стану, підземні води, забруднення, ефект доміно.

На початку 50-х років минулого століття геологічне середовище в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, зокрема Червоноградського гірничо-промислового району (далі – ЧГПР), було природною системою з незначним техногенним впливом. Поверхневі та підземні води ще не забруднені, окремі ділянки меліоровані

й випрямлені ділянки річкових русел. До 1953 року населення району головно використовувало ґрунтові води четвертинних відкладів індивідуальними колодзями та річкову воду.

За природними гідрогеологічними умовами досліджуваний район належить до Волинсько-Подільського артезіанського басейну. Підземні води розповсюджені в усіх стратиграфічних відкладах, проте промислово використовують лише води верхньокрейдового водоносного горизонту. Сеноманський водоносний горизонт розповсюджений у зоні вилуговування мергелів сенонського над'ярусу, має значну потужність, широке територіальне поширення і є напірним. Безнапірний характер простежується на вододілах, а напір менший від водоносної потужності відкладів. Напори формуються на Подільській і Волинській височинах, а розвантажується водоносний горизонт у долини рік і балок численними джерелами, що зумовлює напрямок течії підземного потоку від вододілів до долини річки Західний Буг і його допливів.

Після того як у 1940–1050 роках у межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну були розвідані промислові поклади кам'яного вугілля на площу близько 10 тис. км² із балансовими запасами близько 970 млн. т, почалося гірничо-видобувне освоєння території, зокрема в північній частині Львівсько-Волинського басейну розвивався Нововолинський, а на півдні – ЧГПР. У межах ЧГПР, розташованого у Львівській області, кам'яне вугілля видобувають понад 60 років на території площею 100 км². У різний час тут працювало 12 шахт, функціонує збагачувальна фабрика, для задоволення їхніх потреб і водопостачання населення відбиралася 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 призвело до появи низки геоекологічних проблем.

Зокрема на початку 90-х років минулого століття в м. Соснівці (Львівська область, Україна) у дітей виявлено гіпоплазію зубів різних форм. Комплексними медико-геологічними дослідженнями встановлено, що захворювання спричинене підвищенням умістом фтору в питній воді, яку подавали із Соснівського водозабору. Розглядався також вплив тектонічних розломів і надкознення по них вод із зони сповільненого водообміну, зокрема з кам'яновугільних і девонських відкладів. Проте верхньокрейдовий водоносний комплекс експлуатують у межах не тільки ЧГПР, а й усієї території Волино-Поділля, де виявлені чимало тектонічних порушень. При цьому геохімічні аномалії фтору наявні лише в тих водозаборах ЧГПР, які розташовані найближче до відвалів і териконів, а також у с. Топорові, Буського району, Львівської області, де можливий вплив на підземні води птахофабрики «Топорівська». Про «фторне забруднення» свідчили результати гідрохімічних опробувань та епідеміологічних обстежень, за якими найбільш негативного впливу на здоров'я зазнали діти на стадії формування постійних зубів. Підтвердженням такого висновку стало різке зменшення проявів флюорозу після припинення питного водопостачання із Соснівського водозабору й постачання води для технічних потреб копалень. Яким чином пов'язані між собою, визначає актуальність проведених досліджень.

Територія Червоноградського гірничопромислового району з видобутку кам'яного вугілля та його збагачення до промислових кондицій, що включає Червоноград і прилеглі до нього населені пункти, копальні з видобутку вугілля, збагачувальну фабрику з накопиченими териконами та відвалами, вважається одним із найбільш забруднених у Львівській області. Тут є проблеми з геологічним середовищем (просіданням поверхні над виробленим простором), якістю підземних вод, що призвело до епідемічно-значущої захворюваності на флюороз зубів, якістю атмосферного повітря від горіння вугільних відходів.

Цій проблемі присвячена низка публікацій, авторами яких є С.І. Бик, В.І. Узюк, Г.М. Бучацька, В.О. Дяків, Г.І. Рудько, Ю.П. Скатинський, В.П. Федосєєв, О.О. Мацієвська

[1–3; 6–8]. У цих роботах розглянуто екологічні й геохімічні наслідки експлуатації копалин ЧГПР. У праці Н.О. Крюченко детально розглянуто геохімічну поведінку фтору [4].

У роботах Ф.А. Руденко, R.C. Doble, C.T. Simmons, G.R. Walker, G. Nilson, T. Franz [5; 9; 10] вивчено теоретичні та прикладні аспекти гідрогеології, гідрогеологічного й геофільтраційного моделювання.

Водночас ми не знайшли публікацій, де висвітлено комплексні підходи до вирішення проблем взаємозв'язку вищезазначених проблем ЧГПР.

Мета статті – оцінювання стану ЧГПР, установлення й обґрунтування ймовірних взаємозв'язків, коли невеликі зміни одних складників природно-техногенної системи викликають аналогічні зміни сусідніх елементів, зокрема як із роботою вугільних копалин і збагачувальної фабрики пов'язані такі геоекологічні проблеми, як просідання поверхні, забруднення поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря та ґрунтів, а також негативний вплив на здоров'я людей.

До початку гірничих робіт із видобутку кам'яного вугілля в м. Червонограді та прилеглих до нього населених пунктах, у геологічному середовищі та рівнинному ландшафті, звідки підземні води стікали в річкову мережу басейну Балтійського моря, у річці Західний Буг і його притоках Солокія та Рата з допливом Болотня вагомими геоекологічними проблемами не фіксували (рис. 1).

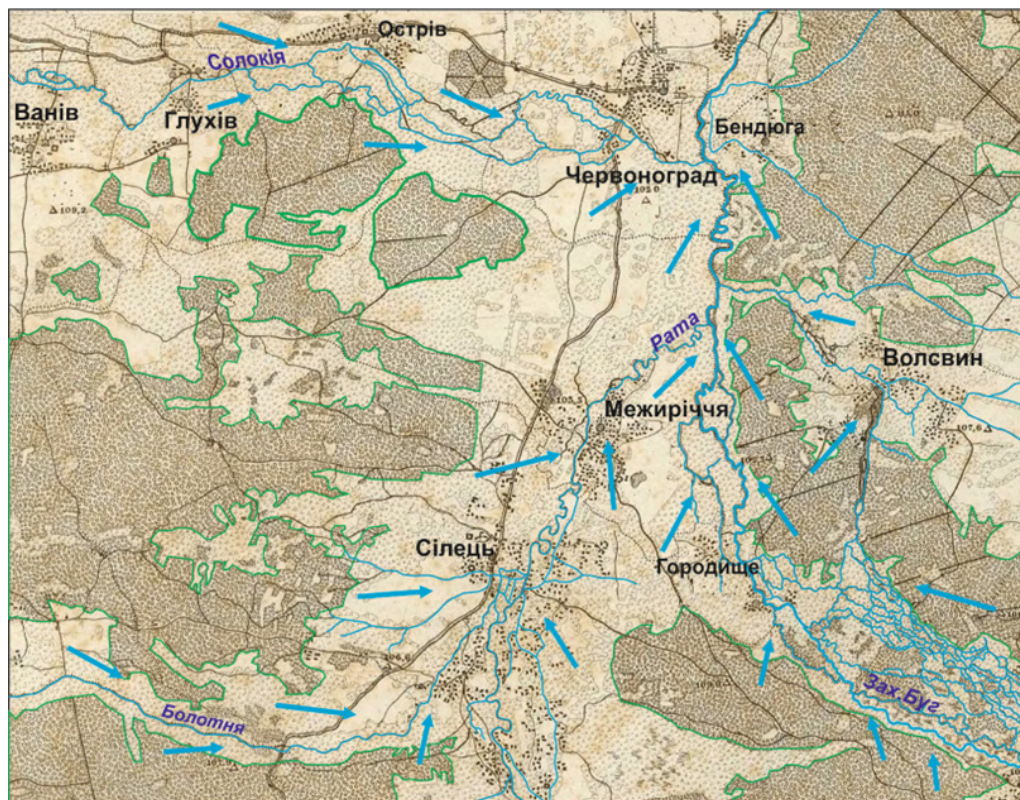


Рис. 1. Природний ландшафт території м. Червонограда та прилеглих до нього населених пунктів до початку гірничих робіт із видобутку кам'яного вугілля й напрямки природного стоку підземних вод у річкову мережу басейну Балтійського моря (річка Західний Буг і його приток Солокія та Рата з допливом Болотня)

У 1940–1950 роках розвідано родовища кам'яного вугілля ЧГПР як частини Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, який, у свою чергу, виділяють у межах території України та є південно-східною околицею Люблінського кам'яновугільного басейну, основна частина, якого розташована в межах Республіки Польща (рис. 2).



Рис. 2. Межі ЧГПР у центральній частині Львівсько-Волинського басейну, який у межах території України є південно-східною околицею Люблінського кам'яновугільного басейну

У межах ЧГПР вугілля видобувають понад 60 років на території площею 100 км². У різний час тут працювало 12 шахт, функціонує збагачувальна фабрика, для задоволення їхніх потреб і водопостачання населення відбиралася вода з 5 водозаборів сумарним об'ємом до 100 тис. м³/добу (рис. 3).

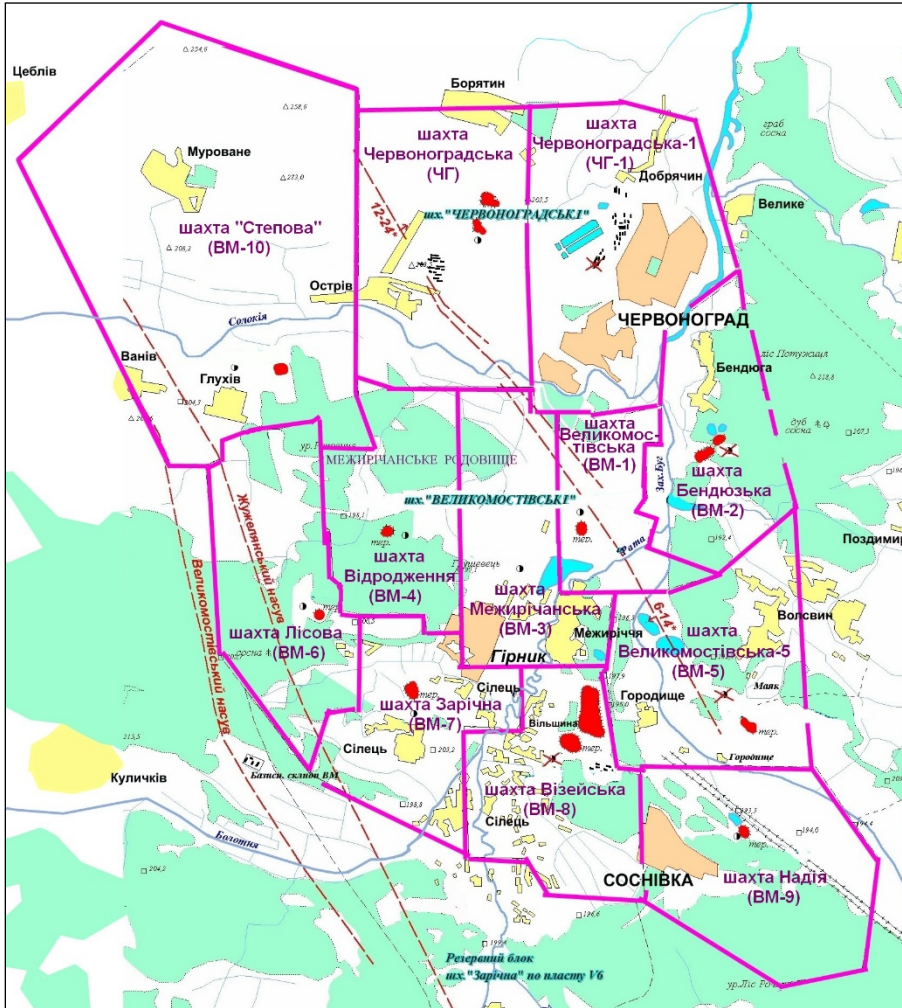


Рис. 3. Межі гірничих відвалів, місця розташування відвалів шахт ЧГПР

За цей час у межах ЧГПР нагромаджено понад 100 млн м³ відходів вуглевидобутку й вуглезбагачення, які у вигляді відвалів і териконів займають площу понад 270 га.

Копальні експлуатували від одного до трьох вугільних пластів потужністю 0,7–1,5 м, найбільш придатних до промислової розробки на глибинах 425–500 м. Їхній річний максимум видобутку становив 10 млн т. у 1980-ті роки. Останніми роками видобуток значно зменшився у зв'язку з відпрацюванням більшої частини легкодоступних запасів, суттєвим ускладненням гірничо-геологічних умов, зношеністю технічного обладнання, ліквідацією чотирьох копалень: «Червоноградська-1» (1995 рік), «Великомостівська-5» (2000 рік), «Бендюзька» (2006 рік) і «Візейська» (2009 рік). Діючі сьогодні копальні – «Великомостівська», «Червоноградська», «Степова», «Відродження», «Межирічанська», «Лісова», «Зарічна» (ДП «Львіввугілля») і шахта «Надія» – підтримують сумарний видобуток на рівні 1,5–2 млн т на рік (2010–2014 роки).

Вугілля ЧГПР характеризують високою зольністю, на рівні 45–55%, і високою сірчистістю, яка мінералогічно зумовлена підвищеним умістом піриту й марказиту. Наявність у вмисних породах – до 70% кварцу, карбонатів (кальциту, доломіту, сидериту, анкериту) – до 10%, польових шпатів – до 5–7%, слюд (біотит, мусковіт) – 2–3% в умовах відновного геохімічного бар'єру зумовлює сприятливі умови для відкладення піриту, марказиту й навіть самородної сірки. Кількість піриту в окремих зразках досягає 3–5%. У зв'язку з цим його доводять до кондиційних вимог на збагачувальній фабриці «Червоноградська» ПАТ «Львівська вугільна компанія» (колишня Центральна збагачувальна фабрика), де більша частина видобутого рядового вугілля з фактичною зольністю 46,4% іде у відходи: вихід продуктів збагачення готового вугільного концентрату становить лише 48,04% (станом на 2013 рік). З огляду на це, технологія підземного видобутку вугілля та його збагачення в межах Червоноградського ГПР передбачає складування відходів у відвали (терикони), хвостосховища, шламовідстійники (гідровідвали), відстійники.

Мінералізовані води, які відкачують із копалень, накопичують у відстійнику шахтних вод. Пусті породи та некондиційне вугілля складують безпосередньо біля кожної із шахт у вигляді териконів. Великі фракції відходів збагачення (більші ніж 50 мм) накопичують у найбільшому породному відвалі збагачувальної фабрики. Тонкі фракції відходів (0,1–0,2 мм) акумулюють у двох хвостосховищах площею 72 га і 59 га. Шламові відходи складують у гідровідвалі (шламовідстійнику). Загальний об'єм накопичених відходів на території ЧГПР становить понад 100 млн м³ породних відвалів, 14 млн м³ великих і 12 млн м³ дрібних фракцій хвостів збагачення. Усі ці відходи локалізовані просто неба, не захищені від атмосферних опадів, і вода, проникаючи крізь їхню товщу, перетворюється на кислі інфільтрати зі значеннями рН менше зі 2 та мінералізацією від 3 до 30 г/дм³ (рис. 4).

Для з'ясування причинно-наслідкових зв'язків забрудненості фтором підземних вод ЧГПР ми детально вивчили основні закономірності геохімії фтору, застосували методи експериментального й гідрогеологічного моделювання, якими показано закономірності взаємодії кислих сульфатних вод і тріщинуватих мергелів, а також особливості руху забруднених вод від техногенних об'єктів (породних відвалів, хвостосховищ, гідровідвалу, відстійника шахтних вод) до ділянок природного розвантаження – річок Західний Буг, Раги та Солокії, а також до підземних водозаборів, насамперед до Соснівського водозабору, і запропонували власну версію «фторного» забруднення.

Метод експериментального моделювання застосовано для геохімічного вивчення процесів взаємодії кислих сульфатних вод і тріщинуватих мергелів, наслідком яких є зміна хімічного складу, а саме концентрація фтору у воді. За таких умов експериментальне моделювання є різновидом фізичного моделювання, згідно з яким динамічно змінюються умови експерименту, що мають деяку подібність до реальних фізичних об'єктів: сульфатно-кислих інфільтратів териконів і водоносного горизонту в тріщинуватих мергелях (відповідають основним положенням теорії подібності). Тобто необхідна фізико-хімічна подібність процесів моделі й об'єкта, які дають можливість визнавати їх тотожними за різними критеріями подібності у відповідних точках експериментальної моделі й реальних об'єктів. Перевагою такого підходу є наочність: експериментальна модель відтворює практично всі сторони оригіналу, можливість відтворення сукупності природних процесів у лабораторних умовах, і простота в інтерпретації отриманих результатів.

Гідрохімічний склад вод визначали за стандартними методиками аналізу. Отриманий матеріал опрацьовано завдяки системному і статистичному узагальненню, на основі чого зроблено обґрунтовані висновки щодо гідрохімічного складу вод унаслідок взаємодії кислих сульфатних вод із тріщинуватими мергелями. Досліджено значний масив фондових матеріалів із хімічного складу підземних і поверхневих вод. При цьому застосовано

системний підхід, що враховує причиново-наслідкові зв'язки залежності зміни вмісту фтору у воді, формування хімічного складу вод від геологічної будови й техногенного навантаження.

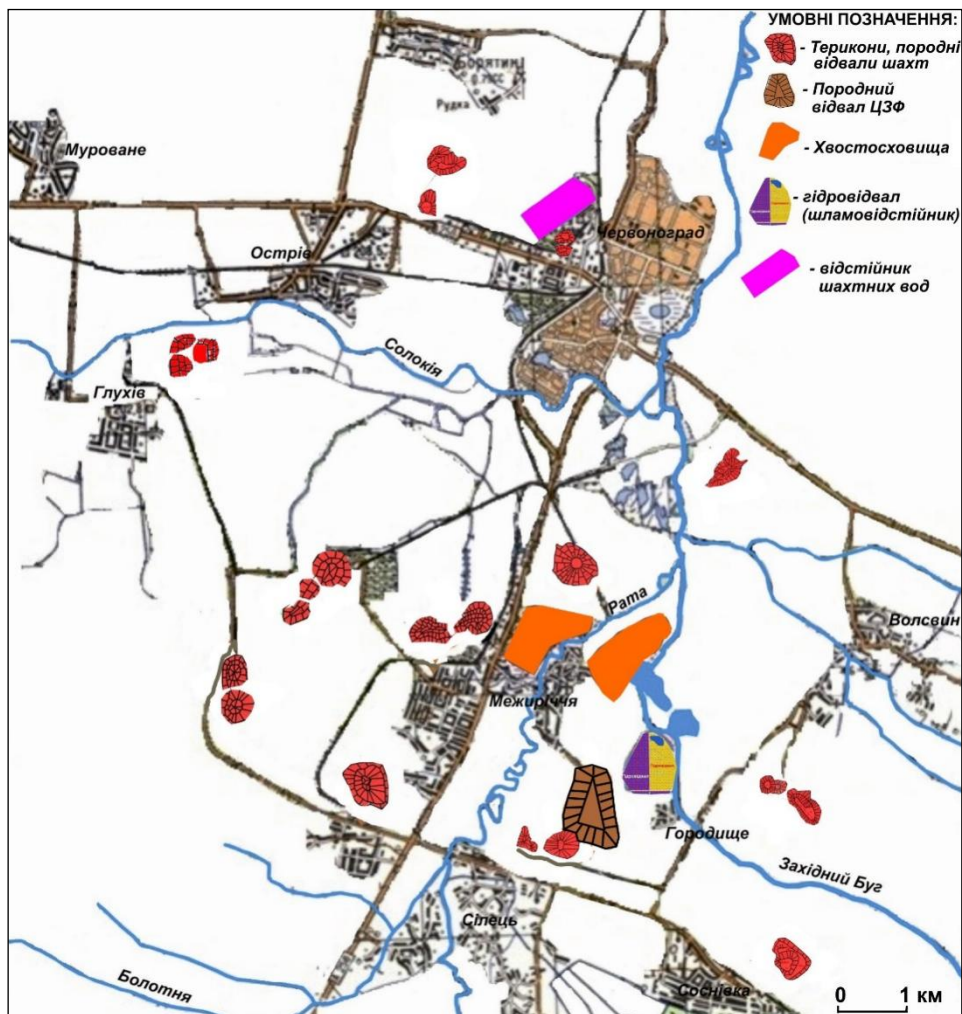


Рис. 4. Головні техногенні об'єкти негативного впливу на природні води в межах Червоноградського ГПР

Для виявлення зв'язків і залежностей застосовано методи гідрогеологічного моделювання за допомогою програмного пакету Visual ModFlow, створеного фірмою Waterloo Hydrogeologic Software (Канада) [9; 10].

За природними гідрогеологічними умовами досліджуваній район належить до Волинсько-Подільського артезіанського басейну. Підземні води розповсюджені в усіх стратиграфічних відкладах, проте промислово використовують лише води верхньокрейдового водоносного горизонту. Сеноманський водоносний горизонт розповсюджений у зоні вилуговування мергелів сеноманського над'ярусу, має значну потужність, широке

територіальне поширення і є напірним. Безнапірний характер простежується на вододілах, а напір менший від водоносної потужності відкладів. Напори формуються на Подільській і Волинській височинах, а розвантажується водоносний горизонт у долини рік і балок численними джерелами, що зумовлює напрямок течії підземного потоку від вододілів до долини річки Західний Буг і його допливів (рис. 5). На цьому етапі можна говорити про не порушений стан геофільтраційного поля й гідрогеохімічних умов.

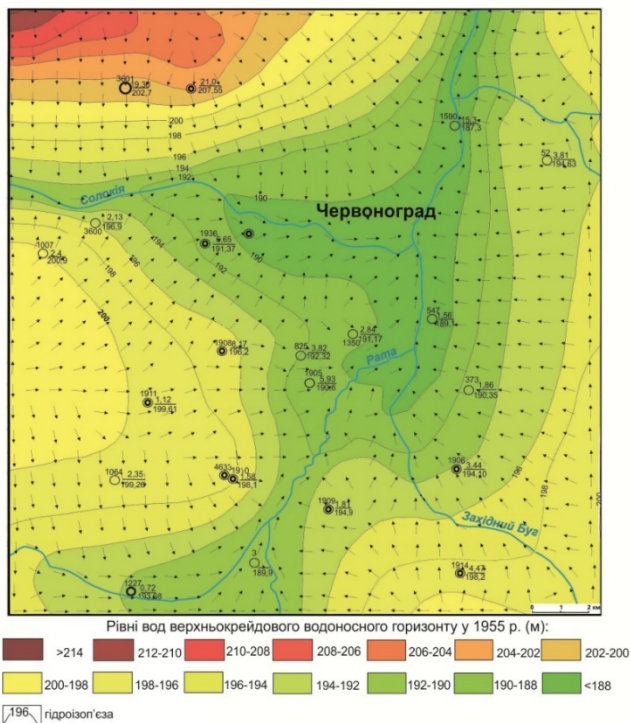


Рис. 5. Геофільтраційні умови ЧГПР до початку проведення гірничих робіт

Геологічне розвідування родовищ з одночасним проектуванням і будівництвом вугледобувного комплексу, проходження стволів і підземних гірничих виробок виконували без дотримання природоохоронних заходів. У 1957 році почали експлуатувати шахти «Бендюзька», «Великомостівська-1», «Межирічанська». Станом на 1965 рік уже працювали 5 ВМ і «Візейська» (уведені в дію 1960 року), «Відродження» (1961 рік), «Надія» (1962 рік), «Червоноградська № 1» (1963 рік). Геологічне середовище ЧГПР зазнає первинного порушення: формуються мульди осідання над виробленим простором, просідає русло річки Західний Буг і лівий берег річки Рати, змінюються напрями геофільтраційних потоків до ділянок осідань. Разом із будівництвом перших шахт і гірничих селищ почали розвідувати водозабори підземних вод у сенонських відкладах верхньої крейди й експлуатувати їх. Так запрацювали Бендюзький (1962 рік) і Борятинський (1963 рік) водозабори. У результаті їхнього функціонування утворилися депресії, які стягують забруднені води від шахтних териконів.

Зі зростанням видобутку й видробкою потужних запасів виникла потреба збагачення вугілля. Із цією метою побудовано центральну збагачувальну фабрику «Червоноградська»

(1979 рік) потужністю 9,6 млн т. Найбільшого видобутку вугілля досягли в 1978–1979 роках (до 15 млн т.) і такий рівень тримався до 1982 року, а далі поступово зменшувався. Обсяг засмічення вугілля по басейну 1985 року становив третину видобутку, унаслідок чого в териконах шахт і ЦЗФ накопичили велику кількість вуглевмісних порід з уламками вугілля, піриту й інших компонентів. 1986 року почали експлуатувати Соснівський водо-забір, Межирічанський – із 1991 року, а Ванівський станом на 2000 рік перебуває на стадії будівництва.

Розробка вугільних пластів призвела до порушення геологічного середовища через провали над відробленим простором і формування мульд осідання на поверхні, складування пустих порід і формування техногенного рельєфу, виведення з ужитку сільсько-господарських земель.

За відсутності будь-яких техногенних впливів породи перебувають у рівноважному напруженому стані. Видобування вугілля зумовлює зміни напруженого стану гірських порід із вертикальними (нахили, скручування, тріщини) та горизонтальними (розтягнення, стиснення, зсуви) деформаціями через обвалення масиву і зсуванням перекриваючих порід із формуванням мульд осідання на земній поверхні. Максимальне порушення природної структури вуглевмісних відкладів спостерігають безпосередньо над відробленим простором, де формується зона дезінтеграції породного масиву. Висота зони дезінтеграції масиву головно залежить від потужності вугільного пласта, який видобули, і становить 3–5 м. Над зоною обвалення у 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 і 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 метри станом на 2015 рік (рис. 6).

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

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

Над зоною зміщення в карбонових 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].

Утворення мульд просідань. Значні деформаційні процеси зумовили поширення в межах ЧГПР процесів підтоплення і вторинного заболочення. В окремих місцях утворилися антропогенні субквальні комплекси (ями-озера) – овальної чи округлої форми замкнуті зниження з діаметром 100–150 м, які постійно заповнені поверхневими й ґрунтовими водами. Найбільші озера, що виникли в результаті підтоплення, мають діаметр

до 500–800 м і площу понад 10 га. Частина субквальних комплексів виникла на місці колишніх заболочених ділянок, інші з'явилися на тих полях, де раніше заболочення не спостерігали та які були зайняті ріллею, сіножатями, пасовищами чи лісами. Підтоплені ділянки зафіксовано в межах окремих житлових чи промислових площ міста Червонограда. Глибина осідань змінюється від 0,6 до 3,9 м. Село Межиріччя, розташоване в межах поля шахти Межирічанська, інтенсивно підробляється гірничими виробками. Пласти залягають на глибині 430–470 м із середніми потужностями 1,30–1,50 м. Через видобуток вугілля й обвалення покрівлі очисних виробок поверхня лівобережної частини села понизилася в середньому на 1 м, а на окремих ділянках до 1,8–2,2 м. Поверхня с. Бендюги відпрацьована гірничими виробками шахти «Бендюзька» й понизилася на 1–2 м.

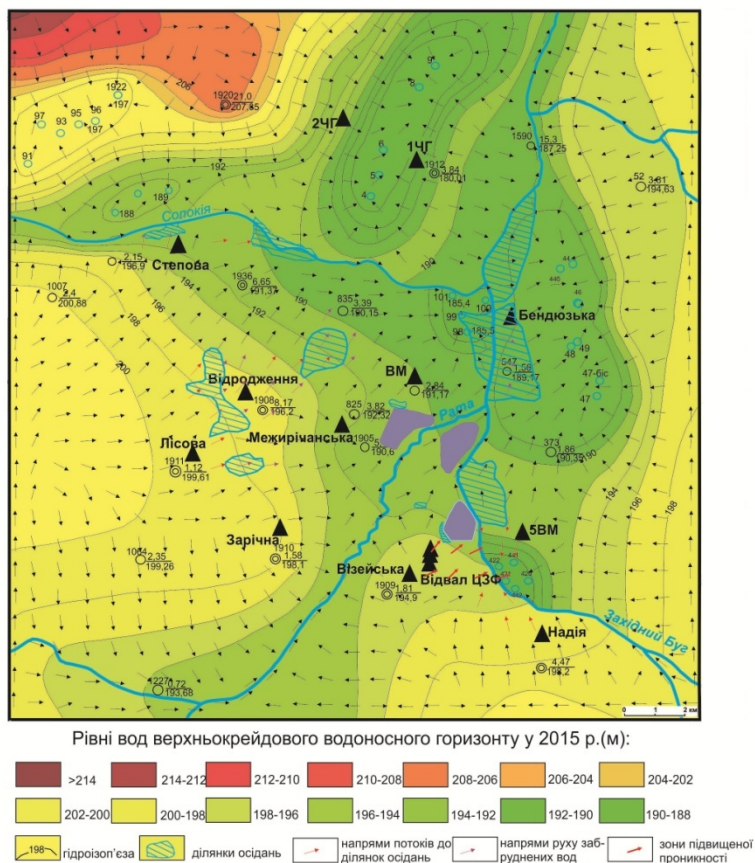


Рис. 6. Геофільтраційні умови Червоноградського ГПР станом на 2015 рік

Деформаційні процеси простежуються на площі близько 7 000 га, а глибина, максимальні значення просідання земної поверхні зафіксовані в межах закритої й уже ліквідованої шахти «Великомостівська-5» і шахти «Межирічанська», де місцями вони перевищують 3,2–3,5 м. Такі високі показники негативних процесів осідання збіглися з долиною річки Західний Буг, що призвело до появи нового русла річки, утворення озера площею понад 10 га та збільшення швидкості течії річки до 1,0–1,2 м/с вище за це місце [3; 5; 6].

Західний Буг є головним контуром живлення чистою водою Соснівського водозабору. Унаслідок просідання русло дуже швидко замулюється й різко зростає фільтраційний опір донних відкладів. За таких умов суттєво погіршується живлення Соснівського водозабору через тампонування порового і тріщинного простору водовмісних порід, значного зменшення коефіцієнта фільтрації, а також пришвидшення поверхневого стоку.

Ці зміни вплинули й на водоносні горизонти досліджуваного району. Так, на тих ділянках, де утворилися мульди осідання, у водоносних горизонтах у четвертинних і верхньокрейдових відкладах з'явилися аналогічні заглиблення, які стають зонами акумулювання забруднених стоків з териконів (рис. 7).

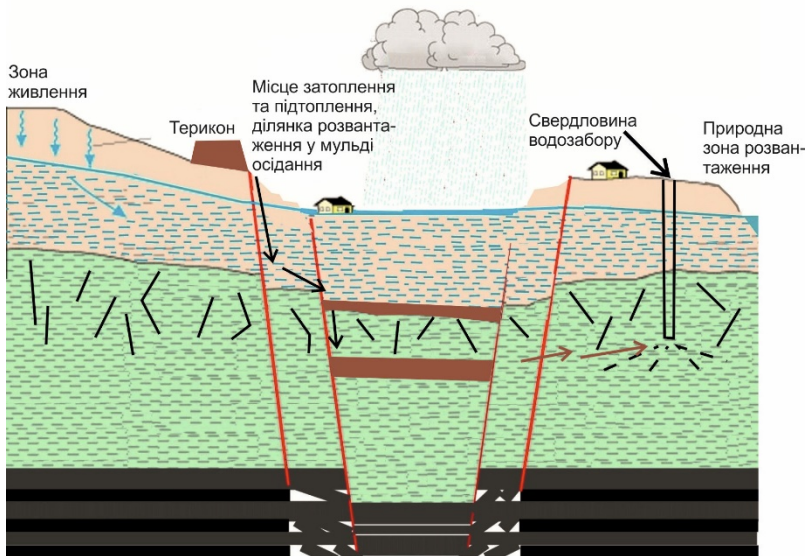


Рис. 7. Формування мульд осідання над ділянками обвалення виробленого простору і стоку від териконів по крайових зонах техногенної тріщинуватості забруднених вод у порушені водоносні верстви четвертинних і верхньокрейдових відкладів

Терикони й відвали, менші за хвостосховища та відстійники, є об'єктами деформаційного впливу на водоносні горизонти, насамперед четвертинний і менше крейдовий. Видобуток вугілля призводить до створення техногенних форм рельєфу, у яких закумуляовано великий об'єм пустих порід, що досягає для різних шахт від 1 до 4 млн м³. Загалом у териконах і відвалах збагачувальної фабрики заскладовано понад 100 млн м³, що створює тиск на ґрунти. На ділянках, де видобули вугілля, утворюються пустоти, а на поверхні – мульди осідання. Терикони під значною вагою порід, накопичених у них, призводять до ущільнення й осідання ґрунтів. Експериментальні дослідження щільності відвального масиву в ЧГПР виявили, що біля поверхні вона близька до 1,17 т/м³, а на глибині 5,0 м збільшується до 1,30–1,32 т/м³. Для відвалів висотою 30–35 м у їхній нижній частині щільність масиву досягає 1,50–1,55 т/м³. Для відвалу з висотою 50 м прогнозована щільність у нижній зоні може досягати 1,70 т/м³. Стосовно масиву відвалу, то в процесі формування його початкова пористість постійно зменшується за рахунок ущільнення [4]. Унаслідок гравітаційної дії териконів ущільнюється й водоносний горизонт і водотрив. Породні відвали, окрім впливу на хімічний склад підземних вод, змінюють природні напрями розвантаження природних вод. Зі збільшенням щільності

зменшується проникність порід, знижуються фільтраційні показники, а відтак змінюється природний напрям руху вод.

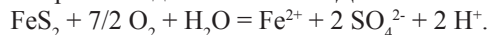
Основними породами, які формують відвали, є аргіліти, алевроліти, пісковики та вапняки. Для аргілітів характерним є підвищений уміст Li, V, B, P, Zn, Pb, Bi, Co. Дослідженнями, проведеними ДГП «Західукргеологія», встановлено, що сумарне забруднення ґрунтів хімічними елементами (Pb, Mn, Cr, Ni, Mo, U, Cu, Zn, Co тощо) з перевищеннями ГДК становить від 4 до 20 разів. Щодо розподілу важких металів на відвалах і довколишніх територіях виявлено, що безпосередньо біля підніжжя териконів шахт спостерігаються максимальні валові концентрації Co, Ni, Mo, V, Ba, Pb у ґрунтах. Максимальні концентрації в ґрунтах As, Zn, Cd, Hg поширені навіть на відстані 1–3 км від териконів.

Найбільший уміст Cr зафіксовано безпосередньо біля териконів і на відстані 1–2 км від них. Серед рухомих форм хімічних елементів у ґрунтах виявлено максимально аномальні концентрації Pb, Zn, Cr на відстані 50–300 м від териконів. Найвіддаленіші від териконів максимальні значення вмісту в ґрунтах мають Ni та Mn. Максимальні концентрації рухомих форм Co й Cu зареєстровано на відстані до 1–3 км від териконів. Найвищий коефіцієнт транслокації порода-ґрунт валового вмісту мають Pb, Ni, Mn. Рівень забруднення ґрунтів для більшості елементів на окремих ділянках перевищує в декілька разів гранично допустимі норми, досягаючи для окремих елементів 5–7 ГДК.

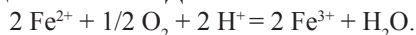
Унаслідок вимивання й видування цих елементів із крихкої породи відбувається отруєння не лише прилеглих екосистем, а й жителів навколишніх міст і сіл. Найнебезпечнішими негативними наслідками накопичення відходів за таких умов є забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод важкими металами, фтором, їхнє закислення та невідповідність санітарно-гігієнічним нормативам. Зокрема, на території Сокальського району Львівської області досліджено вплив підвищеного вмісту хімічних речовин у природному середовищі на стан здоров'я дітей. Так, серед дітей і підлітків м. Соснівки в 1990-ті роки зафіксоване зростання захворюваності на флюороз зубів.

Виявлено в дітей м. Соснівки, яке знаходиться на відстані 2 км від відвалу збагачувальної фабрики та 1 км від відвалу шахти «Надія», однакову динаміку зміни мікрої макроелементного складу крові та волосся. За результатами аналізів, порівняно з регіональними нормами, встановлено підвищення вмісту важких металів Cr, Cd, Pb у крові та волоссі, зменшення в крові хімічних елементів Fe, Cu та Zn – до 1,5 раза, Mn – до 2 разів, а у волоссі дітей – різке зменшення вмісту Fe, Mn і Zn. Ці зміни негативно позначилися на здоров'ї дітей. Результати вивчення розподілу важких металів у ґрунтах населених пунктів області, де була підвищена захворюваність дітей на гіпоплазію, і аналізу характеру нагромадження цих металів у продуктах харчування, волоссі, зубах, крові, м'язах, кістках дітей показують, що до 70% важких металів надходить в організм людей із водою і продуктами харчування, з урахуванням чого й встановлені гігієнічні нормативи для 25 ксенобіотиків, зокрема іонів: ртуті, кадмію, свинцю, миш'яку, міді, цинку, заліза, стронцію, олова, сурми, нікелю, хрому, фтору, алюмінію, йоду.

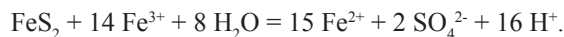
Геохімічні зміни проходять через формування кислих інфільтратів шляхом біохімічного окиснення й горіння. Тристадійне біогеохімічне окислення піриту є ініціюючим чинником samozапалення вугільних відвалів і зміни їхнього мінерального складу у разі пірометаморфізму [3]. На першій стадії під каталітичною дією бактерій виду *Thiobacillus ferrooxidans* окиснюється пірит із виділенням 1440 кДж/моль тепла:



На другій стадії бактерії цього ж виду призводять до переходу двовалентного заліза в тривалентну форму з виділенням 102 кДж/моль тепла:



На третій стадії хімічна взаємодія піриту і тривалентного заліза призводять до розкладу сульфідного мінералу до сульфатів і відновлення двовалентного заліза з виділенням 11 кДж/моль тепла:



Наявність піриту у вугільних відвалах, перехід двовалентного заліза з першої та третьої стадій у другу забезпечують безперервність процесу окиснення, є своєрідним біогеохімічним реактором, швидкість процесів у якому в натурних умовах лімітується дифузією кисню у відвали, надходженням його з атмосферними опадами й поверхневими водами.

За таких умов у поверхневі та підземні води стікають кислі сульфатні води, які разом із токсичними мікроелементами є головними чинниками погіршення геоекологічного стану території.

Кислі інфільтрати мігрують у четвертинний горизонт, де їхня 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 і надзаплавних терас. Потрапляючи у водонесний горизонт у верхньокрейдових відкладах, інфільтрати з териконів спричиняють сірчаноокислотне вилуговування тріщинуватих мергелів. Це призводить, з одного боку, до нейтралізації кислих вод карбонатом кальцію, з іншого боку, екстрагування фтору з карбонатного та глинистого складників мергелів. Причому лімітуючим чинником цих процесів є вміст сульфатної кислоти в інфільтраті до її повної нейтралізації.

Джерела фтору. Одним із етапів еволюції геофільтраційного поля є збагачення підземних вод фтором, яке має свої обмеження накопиченими запасами піриту, інтенсивністю його розпаду й, відповідно, інтенсивністю відпомповувань із водозаборів.

У підземні води фтор надходить через розчинення гірських порід. Найбільші кількості фтору в осадових породах пов'язані з фосфатами, слюдами та глинистими мінералами. Розподіл у них фтору зумовлений насамперед первинним його вмістом у слюді материнських порід, а також ступенем епігенетичного перетворення й гідратації.

Основне джерело фтору – флюорит (CaF_2), який містить близько 48,7% фтору. У слабко нейтральних і лужних середовищах розчинений F^- поглинається карбонатами (з утворенням CaF_2). За наявності елементів, які з фтором утворюють стійкі комплексні сполуки, розчинність фторумісних сполук збільшується зі зростанням стійкості комплексної сполуки і фтор інтенсивніше переходить у водну фазу. Тому розчинність флюориту збільшується за наявності іонів гідрогену ($\text{CaF}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + 2\text{HF}$) та алюмінію ($\text{CaF}_2 + \text{Al}^{3+} = \text{AlF}_2^+ + \text{Ca}^{2+}$). Це положення стосується також усіх інших елементів, які становлять кристалічну основу його сполук. Отже, збільшення у воді концентрації іонів OH^- , CO_3^{2-} сприяє вилученню з порід фтору: $\text{CaF}_2 + \text{OH}^- = \text{CaOH}^+ + 2\text{F}^-$, $\text{CaF}_2 + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3 + 2\text{F}^-$ – відбувається гідроліз фторкомплексних сполук, вони руйнуються та вивільняється фтор із координаційного стану [2].

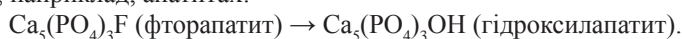
Середній вміст фтору, %: у вапняках – 0,56; доломітах – 0,078; мергелях – 0,103; крейди – 0,044 [5].

У морських відкладах F концентрується шляхом адсорбції на глинах, а також накопичується за біогеохімічних процесів [7]. Значний вміст фтору характерний для фторапатиту (1,2% до 3,2%). На початку пізньокрейдової епохи відбулася одна з найбільших в історії Землі трансгресія моря, протягом якої відклалися потужні верстви мергелю та крейди. На формування крейдового фосфогенезу вплинув прибережний апвелінг глибинних вод, який зумовив накопичення біогенів (P , $\text{C}_{\text{орг}}$, SiO_2) у крайовому Східноєвропейському крейда-палеогеновому морі. В осадових відкладах апатит належить до продуктів седиментогенезу. Джерелом фосфору слугував апатит кристалічних порід Українського

щита. Розчинені фосфати у верхніх частинах моря майже повністю поглинав планктон, значна частина якого після відмирання падала на дно морського басейну й розкладалася, збагачуючи ґрунтовий розчин фосфатами; з нього за певних концентрацій фосфатна речовина випадала в осад, формуючи жовна, або розсіювалася окремими мікрозернами.

Фосфорити мезозою-кайнозою заходу України представлені курськітом, який має усереднену формулу $\text{Ca}_{9,8}\text{P}_2\text{C}_{1,3}\text{O}_{23,4}\text{F}_2(\text{OH})$, мінеральним складником кісток і зубів ела-смобранхій є франколіт. Уміст фтору в складі жовнових фосфоритів змінюється від 1,65% до 3,10%. Уміст фтору в глинистих мергелях становить 0,15%, зокрема у фракціях 0,01–0,001 мм – 0,10%, а у фракції <0,001 мм – 0,262.

Фтор у воді перебуває у формі негативно зарядженого іона. Близькість іонних радіусів іона фтору ($r = 1,33 \text{ \AA}$) та гідроксил-іона ($r = 1.40 \text{ \AA}$) пояснює легке заміщення в деяких мінералах, наприклад, апатитах:



У глинистих мінералах уміст фтору змінюється від мінімального (до 0,005%) у као-лінітах до максимального (1,1% і більше) в монтморилонітах. Глинисті мінерали в осадо-вих породах представлені мінеральними асоціаціями, які складені переважно каолінітом, монтморилонітом, гідрослюдою і хлоритом у різних кількісних співвідношеннях. Фтор у глинистих породах концентрується переважно в монтморилоніті та гідрослюдах, %: као-лініт – 0,026–0,240; галуазит – 0,018; бентоніт – 0,41; гідрослюда – 0,58; серицит – 0,03–0,18. Варто зазначити, що уміст фтору в глинистій фракції збільшується в послідовності каолініт – хлорит – гідрослюда – монтморилоніт. Величина десорбції F породами змінюється в такій послідовності (г/т): вапняки – 10–16, алеврити, аргіліти – 8–22, пісковики – 6–27, глини – 27, ангідрити – 27, фосфорити – 30.

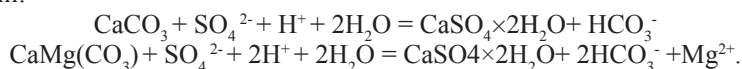
Розчинність кальцієвих солей фтору є незначною. Тому уміст фтору в підземних водах залежить від умісту кальцію. Через різну розчинність фторидів натрію і кальцію пере-хід фтору з порід у підземні води, а також його уміст у цих водах залежить від величини Na/Ca. Зі збільшенням величини Na/Ca зростає концентрація фтору в підземних водах. Сприятливими для нагромадження фтору в підземних водах є високолужні натрієві безкаль-цієві води, у яких концентрація цього елемента зростає зі збільшенням мінералізації води.

На основі проведеного експериментального й геофільтраційного моделювання ми запропонували принципово нову гіпотезу надходження фтору в підземні води водоза-борів ЧГПР. Атмосферні опади, проходячи через терикони, змінюють свій хімічний склад. Потрапляючи в геофільтраційне поле, забруднена вода мігрує до зон розвантаження в при-родні водотоки – ріки Західний Буг, Солокію та інші природні чи штучні водозабори. На шляху руху інфільтрату є мульди осідання, у яких акумулюються ці води. На ділянках мульд осідання, у водоносних горизонтах у четвертинних і верхньокрейдових відкладах з'явилися аналогічні заглиблення. Зі значної кількості забруднюючих компонентів пріоритет мають продукти окиснення піриту й сульфідних мінералів, що є у вугіллі та пустих породах. Головно рухомими продуктами реакції окиснення піриту є Fe^{2+} , SO_4^{2-} , H^+ . Їхнє надходження змінює природні гідрогеохімічні умови. Підземні води зазнають техногенної метаморфізації з формуванням підземних вод сульфатного типу з високою мінералізацією і, відповідно, більшою густиною. Вода Соснівського водозбору сульфатно-гідрокарбо-натна переважно хлоридно-гідрокарбонатна натрієва, магнієво-натрієва з мінералізацією 0,56–0,98 г/дм³.

У забруднених водах є високий уміст сульфатів, в інфільтраті з териконів їхній уміст змінюється від 428,8 мг/дм³ (дренажна канава біля копальні «Відродження») до 11 г/дм³. Важчі солоні води рухаються вниз до підшви водоносного горизонту в четвертинних від-кладах та акумулюються в заглибленнях від осідання. Далі по тріщинах ці води рухаються

вниз до тріщинуватої зони водоносного горизонту у відкладах верхньої крейди. Важчі солоні води швидше рухаються в нижній частині пласта й акумулюються на ділянках осідання. Ці ділянки з акумульованим стоком разом із териконами, шламосховищами, гідровідвалами є контуром надходження кислих сульфатних вод у тріщинуваті мергелі. Така вода, рухаючись по тріщинах, розчиняє мергелі верхньої крейди. Унаслідок кислотної обробки тріщинного простору мергелів фтор екстрагується як із карбонатного, так і глинистого складників тріщинних мергелів, а його концентрація в підземних водах зростає. При цьому підвищується водопровідність ділянок міграції кислих сульфатних вод, а бар'єрна функція мергелів як потужного карбонатного буфера суттєво зменшується, відповідно, до раніше запропонованої нами моделі (рис. 8).

Карбонатний складник мергелів взаємодіє з продуктами окиснення піриту за такими реакціями:



У разі вмісту сульфатів у воді більше ніж 300 мг/дм³ випадає в осад гіпс, який осідає на стінках тріщин, і нейтралізується кислотність інфільтратів [4]. За наступних сприятливих умов (інтенсивні опади) проходить розбавлення високомінералізованих інфільтратів, що спричиняє дефторизацію води.

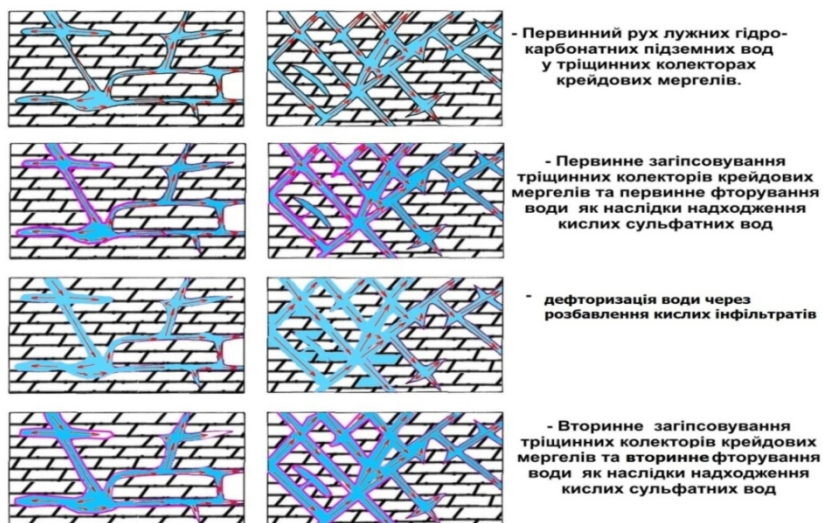


Рис. 8. Сірчаноокислотна обробка тріщинуватих мергелів верхньої крейди інфільтратами вугільних відвалів

Така зміна надходжень кислих інфільтратів пояснює зміну вмісту фтору у воді водозаборів. Під час роботи водозаборів рух підземних вод змінюється: у ході відкачування проходить підтягування інфільтрату до свердловин.

Таким чином, геологічне середовище ЧГПР натеper є природно-техногенною системою, де в процесі видобутку вугілля проявився ефект доміно, коли первинні радикальні зміни геологічного середовища, пов'язані з утворенням шахтних пустот і відвалів на поверхні, призвели до значно менших змін водного й повітряного середовища, що зумовило всю сукупність геоecологічних проблем, зокрема пов'язану зі здоров'ям людей.

На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. На основі експериментального й геофільтраційного моделювання, оцінювання хімічного складу вод у верхньокрейдовому горизонті тріщинуватих мергелів, аналізу надходження фтору в підземні води водозаборів ЧГПР висунуто гіпотезу про ефект доміно у формуванні геоекологічного стану ЧГПР. Ефект доміно означає, що невелика зміна одного з елементів викликає зміни в інших складників природно-техногенної системи, що свідчить про пов'язану послідовність подій, які зумовили виникнення геоекологічних проблем.

2. Ініціюючим чинником екологічних проблем є виїмка з надр кам'яного вугілля й пустих порід із відпомповуванням шахтних вод. Це перший елемент ефекту доміно, що активує утворення пустот у кам'яновугільних відкладах, без їхнього закладення, що, у свою чергу, з часом провокує просідання поверхні над виробленим простором з утворенням мульд просідань, заболочень і техногенних озер.

3. Вилучені з надр пусті породи з підвищеним умістом вугілля відсипаються в терикони, а зі збагаченого кам'яного вугілля відділяють некондиційні відходи збагачення й відсипають у породний відвал. Терикони пустих порід, породний відвал збагачувальної фабрики, шламонакопичувачі, відстійники шахтних вод та інші техногенні об'єкти, що забезпечують функціонування вуглевидобувного й вуглезбагачувального комплексу, разом із деформованою поверхнею над виробленим простором змінюють гідрогеологічні та гідрогеохімічні умови підземних вод.

4. Складування відходів у відвали й терикони в межах ЧГПР, їхнє горіння, просідання денної поверхні над виробленим простором є головними чинниками різкого погіршення всіх без винятку компонентів довкілля.

5. Для підземних вод крейдового водоносного горизонту притаманний підвищений уміст як низки мікроелементів, так і фтору, який має неприродне геохімічне походження, а тісно пов'язаний із надходженням кислих вод із відвалів. Кислі сульфатні води з териконів і відвалу збагачувальної фабрики, які утворюються внаслідок екзогенного окислення піриту, потрапляють у геофільтраційне поле, рухаються від техногенних об'єктів до річок Західний Буг, Рати й Солокії, а також до водозаборів підземних вод у верхньокрейдовому горизонті тріщинуватих мергелів.

6. Кислі сульфатні води активно взаємодіють із тріщинуватими мергелями верхньої крейди, нейтралізуються та спричиняють екстракцію фтору з карбонатного й глинистого складників водоносної товщі з його концентруванням у підземних водах, що вилучаються водозаборами. Найбільш несприятливі умови притаманні для Соснівського водозабору, вода якого в середині 1990-х років спричинила гіпоплазію та флюороз у дітей.

7. Найбільшим джерелом забруднення атмосферного повітря є відвали, що горять, унаслідок чого в повітря потрапляють величезні об'єми вуглекислого й сірчистого газів. Терикони самозаймаються внаслідок природних біогеохімічних процесів, наявності сульфідів заліза та вуглистої речовини, надходження атмосферної вологи, порушення регламентів пересипання інертним матеріалом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бик С.І., Узінок В.І. Еколого-геохімічні особливості відходів вугілля Львівсько-Волинського басейну. *Вугілля України*. 2000. № 7. С. 22–23.
2. Бучацька Г.М., Дяків В.О. Причинно-наслідкові зв'язки забрудненості фтором підземних вод Червоноградського гірничопромислового району за результатами гідрогеологічного моделювання. *Конструктивна географія і картографія: стан, проблеми, перспективи* : матеріали Всеукраїнської наукової конференції, Львів, 14–15 травня 2015. Львів, 2015. С. 65–70.

3. Бучацька Г.М., Дяків В.О. Сірчаноокислотна обробка тріщинуватих мергелів інфільтраціями вугільних відвалів Червоноградського гірничопромислового району як головний чинник збагачення підземних вод фтором (за результатами експериментального та геофільтраційного моделювання). *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування* : матеріали Другої наук.-практ. конференції, Трускавець, 5–8 жовтня 2015. Київ, 2015. С. 419–424.
4. Крюченко Н.О. Геохімія фтору питних вод України : автореф. дис. ... канд. геол. наук : 04.00.02 «Геохімія». Київ, 2002. 17 с.
5. Руденко Ф.А. Гідрогеологія Української РСР. Київ, 1972. 174 с.
6. Рудько Г.І., Скатинський Ю.П., В.П. Федосєєв. 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.
7. Рудько Г.І., Мацієвська О.О. Розподіл фтору в природних водах. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 664. С. 171–178.
8. 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.
9. Doble R.C., Simmons C.T., Walker, G.R., Using MODFLOW 2000 to model ET and recharge for shallow ground water problems. *Ground Water*. 2009. № 47 (1). P. 129–135.
10. Nilson Guiguer, Thomas Franz. Visual MODFLOW version 2.00 : guidebook. Toronto : Waterloo Hydrogeologic Software, 1996. 231 p.

REFERENCES

1. Byk S.I., Uziuk V.I. (2000). Ekoloho-heokhimichni osoblyvosti vidkhodiv vuhillia Lvivsko-Volynskoho basynu [Ecological and geochemical features of coal waste in the Lviv-Volyn basin] *Vuhillia Ukrainy*. № 7. pp. 22–23 [in Ukrainian].
2. Buchatska H.M., Diakiv V.O. (2015). Prychynno-naslidkovi zviazky zabrudnenosti ftorom pidzemnykh vod Chervonohradskoho hirnycho-promyslovoho raionu za rezultatamy hidroheolohichnoho modeliuвання. *Konstruktyvna heohrafiia i kartohrafiia: stan, problemy, perspektyvy: materialy Vseukrainskoi naukovoï konferentsii*, Lviv, 14–15 travnia 2015, Lviv, 2015. pp. 65–70 [in Ukrainian].
3. Buchatska H.M., Diakiv V.O. (2015). Sirchanokyslotna obrobka trishchynuvatykh merheliv infiltratamy vuhilnykh vidvaliv Chervonohradskoho hirnychopromyslovoho raionu yak holovnyi chynnyk zbahachennia pidzemnykh vod ftorom (za rezultatamy eksperymentalnoho ta heofiltratsiinoho modeliuвання). *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування кив: матеріали другої наук.-практ. конференції*, Трускавець, 5–8 жовтня 2015. Київ, 2015. pp. 419–424 [in Ukrainian].
4. Kriuchenko N.O. (2002). Heokhimiia ftoru pytnykh vod Ukrainy: avtoref. dys. ... kand. heol. nauk: 04.00.02 «heokhimiia»; Kyiv, 2002. 17 p. [in Ukrainian].
5. Rudenko F.A. (1972). *Гідрогеологія Української РСР*. Київ, 1972. 174 p. [in Ukrainian].
6. Rudko H.I., Skatynskyi Yu.P., Fedosieiev V.P. (1997, 1998). Ekolohichnyi stan heolohichnoho seredovyscha yak faktor masovoho zakhvoriuvannia ditei fliuorozom u ChHPR. *Мінеральні ресурси України*. 1997. № 4. pp. 34–42; 1998. № 5. pp. 17–23 [in Ukrainian].
7. Rudko H.I., Matsiievska O.O. (2010). Rozpodil ftoru v pryrodnykh vodakh. *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. 2010. № 664. pp. 171–178 [in Ukrainian].
8. 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. Moderní věda*. 2015. № 4. pp. 150–166.

9. 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.
10. Nilson Guiguer, Thomas Franz. (1996). *Visual MODFLOW version 2.00: guidebook*. Toronto : Waterloo Hydrogeologic Software. 231 p.

“DOMINO EFFECT” OF TECHNOGENIC CHANGES OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT IN THE FORMATION OF THE GEOECOLOGICAL STATE OF THE CHERVONOGRAD MINING REGION

Hanna Buchatska, Vasyl Dyakiv

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

The article analyses the state of the hydrosphere and the environment 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 hard coal mining, subsidence of the surface over the mined fields, accumulation of coal mining and coal preparation wastes, with their exogenous and pyrometamorphic changes, as well as natural and technological transformation of the Chervonohrad Mining Region (ChMR). On the basis of experimental and geofiltration modelling, assessment of the chemical composition of water in the Upper Cretaceous horizon of fractured marls, and analysis of fluoride intake into groundwater at ChMR water intakes, a hypothesis about the “domino effect” in the formation of the geo-ecological state of the ChMR is put forward.

The initiating factor of environmental problems is the extraction of hard coal and waste rock from the subsoil with the replenishment of mine water. This activates the formation of voids in the coal deposits without filling them, which, in turn, eventually provokes subsidence of the ground surface above the mined space with the formation of subsidence mounds, swamps and man-made lakes. Waste rock with a high coal content extracted from the subsoil is dumped into waste heaps, and substandard enrichment waste is separated from the enriched hard coal and dumped into a waste heap. Waste rock piles, the waste heap of the concentrator, sludge pits, mine water sumps and other man-made facilities that ensure the functioning of the coal mining and coal preparation complex, together with the deformed surface above the mined area, change the hydrogeological and hydrogeochemical conditions of groundwater.

Acidic sulphate waters from the waste heaps and the concentrator dump, which are formed as a result of exogenous oxidation of pyrite, enter the geofiltration field, move from man-made facilities to the Western Bug, Rata and Solokiya rivers, as well as to groundwater intakes in the Upper Cretaceous fractured marl horizon. Acidic sulphate waters actively interact with Upper Cretaceous fractured marls, neutralise them and cause fluoride extraction from the carbonate and clay components of the aquifer with its concentration in groundwater extracted by water intakes. The most unfavourable conditions are inherent in the Sosnivka water intake, whose water in the mid-1990s caused hypoplasia and fluorosis in children.

Key words: Chervonohrad mining region, hard coal, enrichment, waste storage, waste heaps, environmental assessment, groundwater, pollution, domino effect.

АКТИВІЗАЦІЯ КАРСТОПРОВАЛЬНИХ ЯВИЩ У МЕЖАХ ГІРНИЧОГО ВІДВОДУ РУДНИКА № 2, ЇЇ ВПЛИВ НА СТАН ІНФРАСТРУКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА УМОВИ ПРОЖИВАННЯ МЕШКАНЦІВ

Остап Івасівка¹, Зенон Хевпа², Василь Дяків³

*¹Дрогобицький науковий ліцей імені Богдана Лепкого,
вул. Б. Лепкого, 19, Дрогобич, Україна, 82100
e-mail: ivasivka123@gmail.com*

*²Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища
Національної академії наук»,
просп. Академіка Палладіна, 34а, Київ, Україна, 03680
e-mail: zenonzxv@gmail.com*

*³Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com*

У статті проаналізовано сучасний стан гірничого масиву, охарактеризовано карстологічну ситуацію, оцінено зміни геологічного середовища в межах Стебницького родовища калійних солей на ділянці зони впливу карстопровальних явищ аварійного рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» на стан інфраструктурних об'єктів та умови проживання мешканців села Солець Дрогобицької ОТГ у період 2017–2020 рр. Установлено, що після повного затоплення рудника № 2 техногенно-активізований соляний карст у зоні впливу гірничих виробок, який тривав із жовтня 1978 р. до вересня 2020 р., повністю припинився, рух підземних вод по соляних породах, що викликало їх розчинення й обвалювання, вже більше ніж два роки не відбувається. Сьогодні утворені у 2017 р. та 2020 р. великі карстові провали № 27 і № 30 заповнюються водою, на їх місці формуються карстові озера. При цьому схили провалів деформовані численними напівкруглими тріщинами та зсувними лусками. У періоди інтенсивних опадів по тріщинах може активізуватися суфозійні явища з утворенням невеликих сателітних карстово-суфозійних провалів. З інфраструктурних об'єктів найбільш проявлені деформації викликані карстопровальними явищами для автодороги Львів-Трускавець. Тут зафіксовано понад 20 тріщин довжиною від 1 до 7 м та різної амплітуди зміщення від 1 до 7 см. Спостережувані тріщини в дорожньому полотні не становлять загрози для руху автотранспорту. У селі Солець виявлені будівлі, у яких є тріщини, зокрема на вул. Уляни Кравченко їх зафіксовано на стелі й стінах будинків місцевих мешканців. Водночас тріщини в більшості будинків відсутні. Тому говорити про зв'язок цих тріщин із карстопровальними явищами немає достатніх підстав. За результатом опитування 50 місцевих мешканців, з'ясовано, що більшість будівель не постраждало від карстопровальних процесів, але більшість опитаних досить занепокоєні ймовірними негативними наслідками.

Ключові слова: соляний карст, Стебницьке родовище калійних руд, геологічне середовище, техногенна активізація, тріщини, об'єкти інфраструктури, умови проживання мешканців.

Одними з найбільш відомих подій 2017–2020 рр. у Дрогобицькій об'єднаній територіальній громаді були два великі провали в межах гірничого відводу рудника

№ 2 Стебницького ГХП «Полімінерал». Тут 30 вересня 2023 р. та 15 березня 2020 р. утворилися два великі карстові провали, що мали значний відгук у суспільстві, зокрема місцеві мешканці села Солець, одного з передмість м. Стебника Дрогобицької ОТГ, поряд із територією гірничого відводу рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал», неодноразово протестували, перекидали автомобільну дорогу, вимагали вжити рішучих заходів для забезпечення безпеки проживання.

Причиною цього було те, що о 0 годин 46 хвилин 30 вересня 2017 р. утворився провал № 27 із діаметром на денній поверхні 220–230 м і глибиною 45–47 м, який супроводжувався техногенним землетрусом. У будинках багатьох мешканців відчувалися підземні поштовхи, за неперевіреними повідомленнями, й утворилися тріщини. Хоч і без техногенного землетрусу, але менш резонансним було й утворення провалу № 30 15 березня 2020 р. із діаметром на денній поверхні 160–165 м і глибиною 42–45 м, який супроводжувався обвалами та великими тріщинами на поверхні.

Біля села Солець прокладена низка інфраструктурних об'єктів, на які мали вплив ці карстопровальні явища. Так, ділянку автодороги Т-14-13 Львів-Трускавець довжиною 1,5 км дорожні служби перекидали за рішенням комісії з техногенно-екологічної безпеки через розташування над закарстованим масивом. За даними комунальних служб, траса водогону Гірне-Дрогобич, що забезпечує місто Стебник, Трускавець і Дрогобич питною водою, прокладена в зоні потенційного ризику провалоутворення. Тут же проходять дві високовольтні ЛЕП 220 кВ і ЛЕП 110 кВ, які так само можуть постраждати, оскільки в зоні впливу рудника № 3 можуть відбуватися деформації земної поверхні.

У зв'язку з цим дуже важливим є оцінити стан інфраструктурних об'єктів, провести опитування мешканців села Солець щодо впливу реальних і вигаданих загроз карстопровальних явищ на умови їхнього проживання. Тому для вивчення умов розвитку карсту та його віддалених наслідків проведено комплексні дослідження з оцінювання впливу карстопровальних явищ у зоні впливу рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» на стан інфраструктурних об'єктів та умови проживання мешканців села Солець Дрогобицької ОТГ, що визначає актуальність проведених досліджень.

Основною проблемою досліджуваної території є наявність гірничих виробок рудника № 2 у затопленому стані, великі карстові провали, наслідки для геологічного середовища й інфраструктурних об'єктів у вигляді тріщин і ризику активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів після повного затоплення копальні. Яким чином усі ці чинники впливають на умови проживання, роль яких гіперболізована, а яких недооцінена, зроблено спробу з'ясувати в роботі.

Методичним аспектам моделювання, геодинамічним процесам на соляних родовищах, насамперед соляному карсту в межах Стебницького родовища, процесам формування насичених соляних розчинів присвячено публікації В.О. Дяківа, А.М. Гайдіна, З.З. Хевпи, І.В. Чікової, І.І. Зозулі, П.М. Білоніжки [1–7].

Мета статті – оцінювання закарстованості й стану гірничого масиву затопленого рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» за результатами експериментального та матеріально-балансового моделювання.

Стебницьке родовище полімінеральних калійних руд сульфатного типу є найбільш серед розвіданих родовищ України. Родовище працювало із середини ХІХ століття, до кінця другої половини ХХ століття видобуток досяг 4 млн. т на рік. Запаси родовища експлуатувало Стебницьке державне гірничо-хімічне підприємство «Полімінерал» у процесі розробки покладів двома рудниками: № 1 потужністю до 1 млн т на рік і № 2 потужністю до 3 млн т на рік (рис. 1).

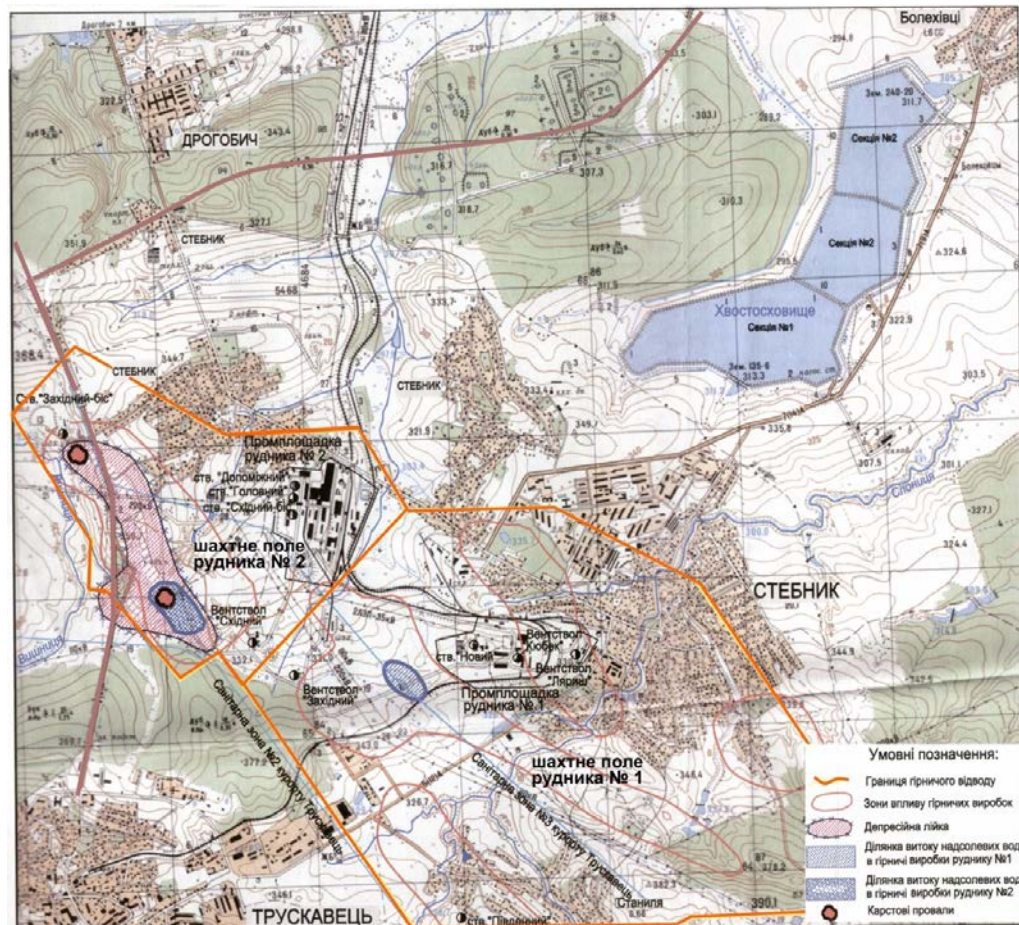


Рис. 1. Межі гірничих відводів, розташування промплощадок і стволів рудників № 1 і № 2, хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал», ділянок водопритоків, депресійних лінійок і карстових провалів стосовно житлової забудови населених пунктів

До основних об'єктів технологічного підприємства входили збагачувальна фабрика та хвостосховище. Складні гідрологічні й гірничо-геологічні умови родовища зумовили водопритокі в рудниках, які або вдавалося локалізувати, або призводили до формування депресійних лінійок та активізації карсту.

В основі геологічної будови залягають соленосні відклади воротищівської свити, які поділяють на нижню, середню й верхню свити. Відклади нижньоворотищівської свити становлять ядра антиклінальних складок, є фаціальними аналогами поляницької свити – засоленими та загіпсованими пісковиками, алевролітами, аргілітами, виділяються з появою в розрізі прошарків кам'яної солі та гіпсу. У верхах нижньоворотищівської свити з'являється пісковико-аргілітові брекчії з галітовим цементом. Загальна потужність нижньоворотищівської свити не перевищує 300–400 м.

Середньоворотищівська (загорська) свита (N_1 г.) складена піщанистими пачками, що розділені потужною товщею соленосної, переважно пісковистої брекчії.

Відклади загорської підсвити значно поширюються й мають крила складок. У типовому вигляді відклади представлені філітовими пісковиками й товщею екзотичних конгломератів, іноді перешаруванням сірих глин, аргілітів, пісковиків із філітами солених брекчій. Конгломерати складені гострими, майже не обкатаними та переважно невідсортованими уламками різної орієнтації, здебільшого зеленими й темно-червоними філітами. Цемент конгломератів піщано-глинистий, іноді глинисто-галітовий. Потужність відкладів Загорської свити на Стебницькому родовищі досягає 450 м. Верхньоворотищівська свита є основною калієсною товщею, з її відкладами пов'язані запаси калійних солей Стебницького родовища (рис. 2).

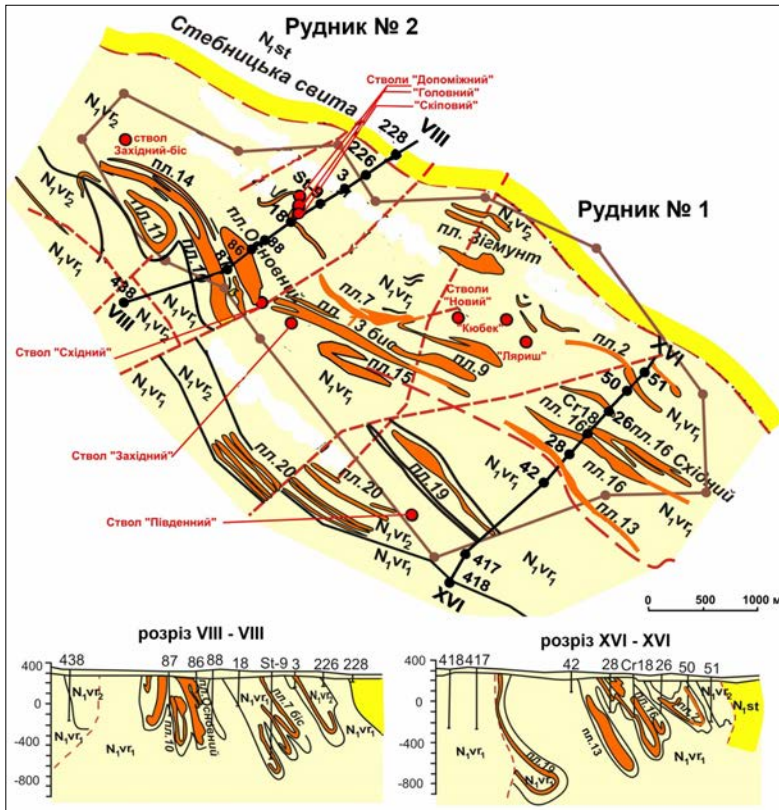


Рис. 2. Схематична геологічна карта й розрізи Стебницького родовища з просторовим розташуванням пластів калійно-магнієвих солей (автор Ю.Е. Кудрявцев, 1985 р.)

Відклади представлені товщею солених брекчій і глин, що вміщують пласти й лінзи кам'яних і калійних солей, пачки засолених алевролітів і пісковиків. Поклади калійних солей зім'яті в складки з локальними тектонічними розривними порушеннями та виділяються у вигляді 20 розвіданих пластів. Пласти складені полімінеральними хлоридно-сульфатними солями. Основними пороудоутворюючими мінералами є галіт, каїніт, лангбейніт, сільвін, полігаліт, кізерит, шеніт, епсоміт, а також глинистий алеврито-піщаний нерозчинний залишок. Потужність верхньоворотищівської свити досягає 1000 м (В.О. Дяків).

Будівництво шахтних стовбурів, проходження видобувних виробок на Стебницькому родовищі відбувалося в дуже складних гідрогеологічних умовах, із постійною небезпекою зустріти водопритоки різної природи. Це ми можемо побачити в роботі

А.Н. Андреїчева, де Стебницьке родовище зараховано до класу Б з обводненим контактом соляних і покривних порід і до 4 групи – родовищ калійних солей із досить складними гідрогеологічними та гірничо-технічними умовами, де відклади надсолевих товщ, як правило, розірвані, зміщені, сильно обводнені. Атмосферні опади й води четвертинних відкладів у техногенно-непорушених умовах просочуються в гіпсово-глинисту шапку (далі – ГГШ) у напрямку, близькому до вертикального. У процесі руху в результаті переведення солей у нижній частині ГГШ призводить до збільшення мінералізації, досягнувши найбільших значень на соляному дзеркалі. Після досягнення соляного дзеркала, яке є абсолютним водотривом, вертикальний рух зупиняється, води стають застійними, а їх рух у горизонтальному напрямку утруднений наявністю слабо проникних ділянок, а розвантаження може з'явитися тільки в умовах наявності нижчезалігаючого базису дренажу.

Також в умовах відкачування розсолів і закачування прісних вод активно розвивається соляний карст. Об'єм порожнин у вилугуваних породах становив близько 150000 м³ і близько 2 млн м³ розсолів із луговень, за рахунок яких утворилося близько 300 тис. м³ виробленого простору на пласті кам'яних солей «Підлужний».

Великий об'єм вилугуваних порожнин і мала потужність ГГШ під руслом річки Солониці призвели в листопаді 1924 р. до прориву річкових вод у зону соляного дзеркала й утворення карстових лійок на денній поверхні.

Через збільшення водопритоку на поверхні щороку з'являлися нові карстові провали – загалом 31.

Сучасний стан карстових провалів № 27 і № 30, тріщин і деформацій навколо них. 0 годин 46 хвилин 30 вересня 2017 р. на пласті № 10 Пд.-Сх. рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» у районі камер № 108–113 стався провал із діаметром на денній поверхні 220–230 м і глибиною 45–47 м – карстовий провал № 27 (рис. 3).



Рис. 3. Провал № 27 на пласті № 10 Пд.-Сх. рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» у районі камер № 108–113, який стався 0 год. 46 хвилин 30 вересня 2017 р. (угорі) (світліни В.О. Дяківа) і карстове озеро на місці цього провалу станом на березень 2023 р.

Унаслідок провалу виведено з ладу дві опори ЛЕП 35 кВ, припинене електропостачання міста Трускавця було відновлене по резервній схемі, а його наслідком став техногенний землетрус.

15 березня 2020 р., близько 11.00, у районі камер 102–104 на відстані 70 м у напрямку на північ від провалу № 27, який стався 30 вересня 2017 р., утворився новий карстовий провал № 30 із діаметром близько 130–150 м і з дуже крутими, майже вертикальними бортами, які постійно обвалювалися (рис. 4).



Рис. 4. Провал № 30 на пласті № 10 Пд.-Сх. рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» у районі камер № 102–104, який стався близько 11 год. 00 хв. 15 березня 2020 р. (угорі) (світлина В.О. Дяківа) і карстове озеро на місці цього провалу станом на 2023 р. (унизу)

Під час польового обстеження територій навколо провалів задокументовано численні тріщини навколо провалів № 27 і № 30, які свідчать про порушення стійкості геологічного середовища (рис. 5).

По тріщинах у карстові провали стікають дощові води. При цьому відбувається їх дренавання в четвертинний водоносний горизонт із вимиванням тонко дисперсних частинок ґрунту, що сприяє процесам суфозії.

Сучасний стан дорожнього полотна старої та нової (об'їзної) дороги Львів-Трускавець, поблизу села Солець, тріщин і деформацій у їх дорожньому полотні. Унаслідок обвалу 30 вересня 2017 р. на дорозі, яка з'єднує Львів-Трускавець, утворилися низка тріщин у дорожньому покритті (рис. 6).



Рис. 5. Тріщини навколо провалів № 27 і № 30 із їх локалізацією на космознімку Google Earth Pro



Рис. 6. Тріщини в дорожньому полотні дороги Львів-Трускавець, пов'язані з карстопровальними явищами

Тріщини добре спостерігають від готелю «Візит» до села Солець. Найкраще їх видно після дощу на мокрому асфальті. Тріщини є повздовж і впоперек дороги, характеризуються різною довжиною – від 1 до 7 м та різної амплітуди зміщення – від 1 до 7 см. Причиною деформації дорожнього покриття є карстопровальні явища, які мали місце до завершення затоплення рудника № 2. За допомогою світлин ми можемо розглянути тріщини, які утворилися внаслідок активізації карстопровальних явищ. Спостережувані тріщини в дорожньому полотні не становлять загрози для руху автотранспорту.

Найбільша щільність тріщин зафіксована на ділянці під ЛЕП 110 кВ і ЛЕП 220 кВ. Загалом нараховано більше ніж 20 тріщин.

Тріщини в дорожньому полотні були однією з причин обмеження руху на цій ділянці дороги.

Стан будівель і споруд села Солець. Карстопровальні явища, техногенний землетрус 30 вересня 2017 р., імовірно, призвели до утворення тріщин у будинках мешканців села Солець. Під час їх обстеження виявлено будівлі, зокрема, на вул. Уляни Кравченко, у яких є тріщини на стелі та стінах (зафіксовані тріщини показано на рис. 7).



Рис. 7. Тріщини на стелі і стінах будинків мешканців вул. Уляни Кравченко в села Солець (власні світлини)

Водночас тріщини в більшості будинків відсутні. Тому говорити про зв'язок цих тріщин із карстопровальними явищами немає достатніх підстав. Про це свідчать результати опитування. На питання «Чи зафіксували Ви тріщини на стінах і стелі Вашого будинку та яка причина їх утворення?» місцеві мешканці мали можливість вибрати такі відповіді: А) тріщин немає; Б) тріщини були ще до землетрусу 30 вересня 2017 р.; В) тріщини з'явилися після землетрусу 30 вересня 2017 р.; Г) тріщини в будинку є, але не знаю причини їх появи. Результати опитування показані на рис. 8.

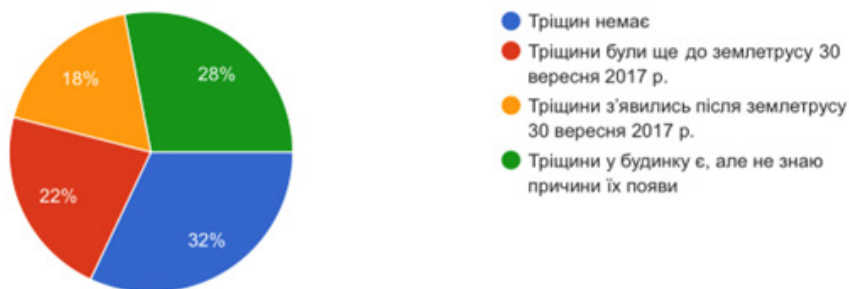


Рис. 8. Результати опитування мешканців села Солець

Як видно з результатів опитування, у більшості будинках тріщин немає (32%), проте в деяких будинках є тріщини невідомого походження (28%), а також тріщини були ще до землетрусу 30 вересня 2017 р. (22%), лише у 18% тріщини з'явилися після 30 вересня 2017 р. Насправді, і щодо останньої цифри є сумніви, неможливо встановити причину їх появи. Найбільш постраждали будинки, які знаходилися близько до епіцентру провалля.

Техногенний землетрус 30 вересня 2017 р. внаслідок утворення карстового провалу № 27, свідчення його проявлення в споминах мешканців села Солець і результати їх опитування щодо впливу карстопровальних явищ на умови проживання.

Щоб оцінити вплив карстопровальних явищ у зоні впливу рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» на стан автодороги Львів-Трускавець, як нової, так і старої, а також умови проживання мешканців села Солець Дрогобицької ОТГ, їх зв'язок із карстопровальними явищами під час опитування, поставлені такі питання. На питання «Чи відчували ви техногенний землетрус 30 вересня 2017 р.?» місцеві мешканці мали можливість вибрати такі відповіді: А) не відчував; Б) чув тремтіння скла на вікнах; В) спостерігав рух меблів і предметів; Г) відчував коливання Землі; Д) бачив, як утворюються тріщини. Результати опитування показано на рис. 9.

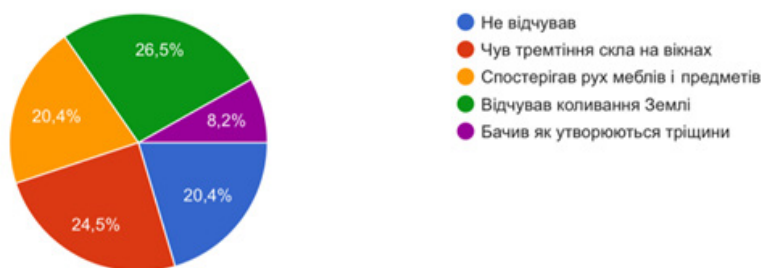


Рис. 9. Відповіді мешканців села Солець на питання «Чи відчували ви техногенний землетрус 30 вересня 2017 р.?»

Згідно з результатами опитування, більшість респондентів відчували техногенний землетрус: 24,5% чули тремтіння скла на вікнах; 20,4% спостерігали рух меблів і предметів; 26,5% відчували коливання Землі, а 8,2% навіть бачили, як утворюються тріщини.

Вони це згадують по-різному. Одна жителька села Солець зазначила: «Я із сином робила уроки, аж раптом стіл почав рухатися. Цей землетрус не лише налякав нас, а й утворив численні тріщини в моєму будинку».

Інша жителька говорить: «Я вночі прокинулася від поштовхів ліжка, відразу не зрозуміла, що трапилося, аж зранку зрозуміла, що ці поштовхи були зумовлені утворенням провалля».

Зі слів іншого мешканця села Солець: «Я прокинувся від того, що у вікні було видно яскраве світло, яке відходило з електростовпа». Очевидно, цей мешканець бачив, як руйнується ЛЕП 35 кВ.

На питання «Чи становлять небезпеку два великі провали біля села Солець, які утворилися у 2017 р. та 2020 р.?» місцеві мешканці мали можливість вибрати такі відповіді: А) не становлять загрози, на них утворюються озера, які стануть місцями відпочинку; Б) становлять незначну загрозу зсувів і сателітних провалів; В) становлять значну загрозу для тих, хто там перебуває: тут може статися раптовий провал, що загрожує життю і здоров'ю; Г) загрожує регіональною екологічною катастрофою та утворенням нового великого провалу. Результати опитування показано на рис. 10.

Як видно з результатів опитування, більшість, понад 90%, занепокоєні ситуацією з карстопровальними явищами: 24% вважають, що карстопровальні явища становлять значну загрозу зсувів і сателітних провалів; 42% переконані, що карстопровальні явища становлять значну загрозу для тих, хто там перебуває: тут може статися раптовий провал, що загрожує життю і здоров'ю; 25% вважають, що карстопровальні явища загрожують регіональною екологічною катастрофою й утворенням нового великого провалу, лише 8% наголосили, що мешканцям нічого не загрожує, на місці карстових провалів утворюються озера, які стануть місцями відпочинку.

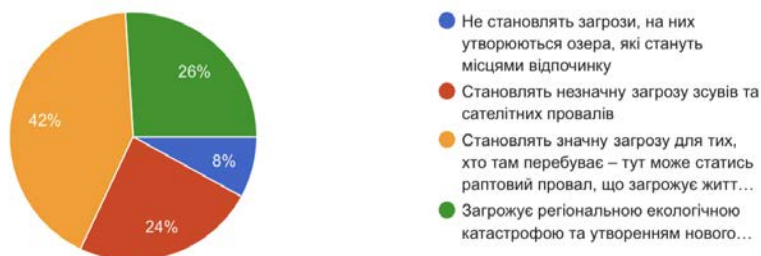


Рис. 10. Відповіді мешканців села Солець на питання «Чи становлять небезпеку два великі провали біля села Солець, які утворилися у 2017 р. та 2020 р.?»

На питання «На Ваш погляд, на скільки загрозованими для безпеки експлуатації старої автодороги Трускавець-Львів є тріщини в дорожньому полотні?» місцеві мешканці мали можливість вибрати такі відповіді: А) не становлять загрози; Б) становлять загрозу деформацій, після яких дорога може стати не проїзною, тому потребує ремонту; В) тріщини вказують на те, що на дорозі в будь-який момент може статися провал і по ній треба негайно заборонити рух автомобілів. Результати опитування показано на рис. 11.

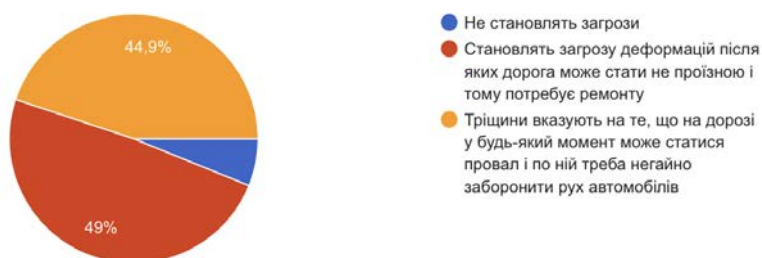


Рис. 11. Відповіді мешканців села Солець на питання «На Ваш погляд, на скільки загрозованими для безпеки експлуатації старої автодороги Трускавець-Львів є тріщини в дорожньому полотні?»

Як випливає з результатів опитування, більшість, понад 90%, занепокоєні ситуацією з тріщинами в дорожньому полотні старої автодороги Трускавець-Львів: 44,9% вважають, що тріщини вказують на те, що на дорозі в будь-який момент може статися провал, тому по ній треба негайно заборонити рух автомобілів; 49% переконані, що тріщини в дорожньому полотні становлять загрозу деформацій, після яких дорога може стати не проїзною, тому потребує ремонту, лише 6,1% зазначили, що небезпеки немає.

На питання «Яка дорога більш безпечна для доїзду із села Солець до Трускавця – наявна стара дорога чи недобудована у 2021 р. нова об'їзна дорога?» місцеві мешканці мали можливість вибрати такі відповіді: А) більш безпечною є наявна стара дорога; Б) більш безпечною буде недобудована у 2021 р. нова об'їзна дорога; В) обидві дороги є безпечні; Г) обидві дороги є небезпечні. Результати опитування показані на рис. 12.

Як видно з результатів опитування, більшість, а саме 80%, занепокоєні ситуацією із закарстованістю старої та нової автодоріг Трускавець-Львів: 6% вважає, що більш безпечною є наявна стара дорога; 34% переконані, що більш безпечною буде недобудована у 2021 р. нова об'їзна дорога; 40% зазначає, що обидві дороги є небезпечні, лише 20% вважають, що небезпеки проїзду по двох автодорогах немає.

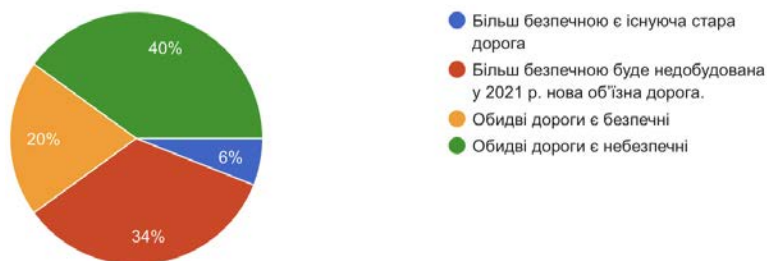


Рис. 12. Відповіді мешканців села Солець на питання «Яка дорога більш безпечна для доїзду із села Солець до Трускавця – наявна стара дорога чи недобудована у 2021 р. нова об'їзна дорога?»

На питання «Чи брали Ви участь в акціях протесту у зв'язку з провалами біля села Солець і вимогами до влади вжити рішучих заходів?» місцеві мешканці мали можливість вибрати такі відповіді: А) не брав, бо не підтримував протестувальників; Б) не брав, але підтримував вимоги протестувальників; В) підписував звернення до влади з вимогою вжити рішучих заходів; Г) брав активну участь в акціях протесту. Результати опитування показано на рис. 13.

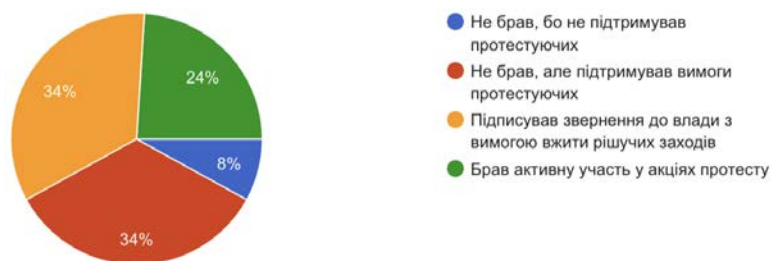


Рис. 13. Відповіді мешканців села Солець на питання «Чи брали Ви участь у акціях протесту у зв'язку з провалами біля села Солець і вимогами до влади вжити рішучих заходів?»

Як впливає з результатів опитування, більшість, понад 90%, занепокоєні ситуацією з карстопровальними явищами й активно чи опосередковано протестували проти ситуації, що склалася в селі Солець: 34% – не брали, але підтримували вимоги протестувальників; так само 34% підписували звернення до влади з вимогою вжити рішучих заходів, 24% брали активну участь в акціях протесту, лише 8% мешканців не брали участі в акціях протесту, бо не підтримували протестувальників.

Отже, за результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Після повного затоплення рудника № 2 техногенно-активізований соляний карст у зоні впливу гірничих виробок, який тривав із жовтня 1978 р. до вересня 2020 р., повністю припинився, руху підземних вод по соляних породах уже більше ніж два роки не відбувається, що викликало їх розчинення й обвалювання.

2. Сьогодні утворені у 2017 р. та 2020 р. великі карстові провали № 27 і № 30 заповнюються водою, на їх місці формуються кастові озера. При цьому схили провалів деформовані численними напівкруглими тріщинами та зсувними лусками. У періоди інтенсивних опадів по тріщинах можуть активізуватися суфозійні явища з утворенням невеликих сателітних карстово-суфозійних провалів.

3. З інфраструктурних об'єктів найбільш проявлені деформації викликані карстопровальними явищами для автодороги Львів-Трускавець. Тут зафіксовано понад

20 тріщин довжиною від 1 до 7 м і різної амплітуди зміщення від 1 до 7 см. Спостережувані тріщини в дорожньому полотні не становлять загрози для руху автотранспорту.

4. У селі Солець виявлено будівлі, у яких є тріщини, зокрема на вул. Уляни Кравченко ми їх зафіксували на стелі і стінах будинків місцевих мешканців. Водночас тріщини в більшості будинків відсутні. Тому говорити про зв'язок цих тріщин із карстопровальними явищами немає достатніх підстав.

5. Згідно з результатами проведеного опитування, більшість будівель не постраждало від карстопровальних процесів, але мешканці досить занепокоєні ймовірними негативними наслідками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дяків В. Експериментальне моделювання дезінтеграції галопелітових мінеральних асоціацій при затопленні рудника № 2 Стебницького ДГХП «Полімінерал». *Вісник Волинського університету*. 2007. Вип. 2. Ч. 2. С. 285–291.
2. Дяків В. Експериментальне моделювання кінетики розчинення (дезінтеграції) галопелітових мінеральних асоціацій в агресивній ропі з рудника № 2 Стебницького калійного родовища. *Мінералогічний збірник Львівського університету*. 2007. № 57. Вип. 2. С. 110–121.
3. Гайдін А.М., Дяків В.О. Геодинамічні процеси на соляних родовищах. *Форум гірників-2010* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 21–23 жовтня 2010 р. Дніпропетровськ, 2010. С. 23–41.
4. Гайдін А.М., Дяків В.О., Чікова І.В. Деформації земної поверхні в зоні діяльності калійних рудників у Стебнику. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2014. № 2 (10). С. 112–119.
5. Гайдін А.М., Дяків В.О., Зозуля І.І. Розсоли в затоплених калійних рудниках Передкарпаття. *Хімічна промисловість України*. 2012. № 3 (110). С. 32–38.
6. Дяків В.О., Драновська А.В., Хевпа З.З. Провал 30 вересня 2017 р. над рудником № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал»: причини, наслідки та сучасний стан (за результатами матеріально-балансового моделювання та моніторингових спостережень). *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування* : у 2 т. : матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. (8–12 жовтня 2018 р., м. Трускавець). Київ, 2018. Т. 2. С. 103–115.
7. Білоніжка П., Дяків В. Стебницьке родовище калійних солей: розроблення, відходи збагачення руд, проблеми охорони довкілля. *Праці наукового товариства ім. Шевченка* : геологічний збірник. Львів, 2012. Т. ХОХ. С. 199–209.
8. Дяків В., Хевпа З. Оцінка закарстованості та стану гірничого масиву затопленого рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» за результатами експериментального та матеріально-балансового моделювання. *Вісник Львівського університету. Серія «Геологія»*. 2021. Вип. 35. С. 72–90.
9. Дяків В., Хевпа З. Карстово-суфозійне провалоутворення в межах Стебницького родовища калійних руд після повного затоплення рудника № 2 та утворення провалу № 31 у дорожньому полотні новозбудованої об'їзної дороги: причини, прогнозування та наслідки. *Проблеми геології України* : збірник наукових праць за матеріалами XIII Всеукраїнської наукової конференції (3–5 жовтня 2022 р.). Львів, 2022. С. 74–78.

REFERENCES

1. Dyakiv V. Eksperymentalne modeliuвання dezintehratsii halopelitovykh mineralnykh asotsiatsii pry zatoplenni rudnyka № 2 Stebnytskoho DHKhP «Poliminerал» [Experimental modeling of the disintegration of halopelitic mineral assemblages during the flooding of mine No. 2 of the Stebnytskyi Polymineral mine]. *Visnyk Volyn university*. 2007. Vol. 2. Part 2. P. 285–291.

2. Dyakiv V. Eksperymentalne modeliuvannya kinetyky rozchynennia (dezintehratsii) ha-lopelitovykh mineralnykh asotsiatsii v ahresyvni ropi z rudnyka № 2 Stebnytskoho kaliinoho rodovyshcha [Experimental modeling of dissolution (disintegration) kinetics of halopelitic mineral assemblages in aggressive oil from mine No. 2 of the Stebnytsky potash deposit]. *Mineralogical collection Lviv university*. 2007. No. 57. Vol. 2. P.110–121.
3. Haydin A.M., Dyakiv V.O. Heodynamichni protsesy na solianyx rodovyshchakh [Geodynamic processes on salt deposits]. *Materials of the International science and practice conf. «Miners' Forum-2010» October 21–23, 2010*. Dnipropetrovsk, 2010. P. 23–41.
4. Haydin A.M., Dyakiv V.O., Chikova I.V. Deformatsii zemnoi poverkhni v zoni diialnosti kaliinykh rudnykiv u Stebnyku [Deformations of the earth's surface in the area of potash mines in Stebnik]. *Environmental safety and balanced resource use*. 2014. No. 2 (10). С. 112–119.
5. Haydin A.M., Dyakiv V.O., Zozulya I.I. Rozsoly v zatoplenykh kaliinykh rudnykakh Peredkarpattia [Brine in flooded potash mines of Precarpathia]. *Chemical industry of Ukraine*. 2012. No. 3 (110). С. 32–38.
6. Dyakiv V.O., Dranovska A.V., Khevpa Z.Z. Proval 30 veresnia 2017 r. nad rudnykom № 2 Stebnytskoho HKhP «Polimineral»: prychny, naslidky ta suchasnyi stan (za rezultatamy materialno-balansovoho modeliuvannya ta monitorynhovykh sposterezhen) [Failure on September 30, 2017 at mine No. 2 of the Stebnytskyi MCF «Polymineal»: causes, consequences and current state (according to the results of material balance modeling and monitoring observations)]. *Materials V International. science and practice conf. «Subsoil use in Ukraine. Investment prospects»: in 2 volumes – Volume 2 (October 8–12, 2018, Truskavets)*. Kyiv, 2018. P. 103–115.
7. Bilonizhka P., Dyakiv V. Stebnytske rodovyshche kaliinykh solei: rozroblennia, vidkhody zbahachennia rud, problemy okhorony dovkillia [Stebnytske deposit of potash salts: development, ore beneficiation waste, problems of environmental protection]. *Proceedings of the Scientific Society named after Shevchenko. T. HOKH, Geological collection*. Lviv, 2012. P. 199–209.
8. Dyakiv V., Khevpa Z. Otsinka zakarstovanosti ta stanu hirnychoho masyvu zatoplenoho rudnyka № 2 Stebnytskoho HKhP «Polimineral» za rezultatamy eksperymentalnoho ta materialno-balansovoho modeliuvannya [Assessment of the karstness and condition of the mining massif of the flooded mine No. 2 of Stebnytskyi HPP «Polymineal» based on the results of experimental and material balance modeling]. *Visnyk of Lviv University. Series geol.* 2021. Issue 35. P. 72–90.
9. Dyakiv V., Khevpa Z. Karstovo-sufoziine provaloutvorennia v mezhakh Stebnytskoho rodovyscha kaliinykh rud pislia povnoho zatoplennia rudnyka № 2 ta utvorennia provalu № 31 u dorozhnomu polotni novozbudovanoi obiznoi dorohy: prychny, prohnozuvannya ta naslidky [Karst-suphosian sinkhole formation within the Stebnytsky deposit of potash ores after the complete flooding of mine No. 2 and the formation of sinkhole No. 31 in the road surface of the newly constructed bypass road: causes, forecasting, and consequences]. *A collection of scientific works based on the materials of the XIII All-Ukrainian Scientific Conference «Problems of the Geology of Ukraine». October 3–5, 2022*. Lviv. 2022. P. 74–78.

ACTIVATION OF KARST-FALL PHENOMENA WITHIN THE MINING DISTRICT OF MINE № 2 AND ITS IMPACT ON THE STATE OF INFRASTRUCTURE FACILITIES AND LIVING CONDITIONS OF RESIDENTS

Ostap Ivasivka¹, Zenon Hevpa², Vasyl Dyakiv³

*¹Drohobych Scientific Lyceum named after Bohdan Lepky,
B. Lepkogo Str., 19, Drohobych, Ukraine, 82100
e-mail: ivasivka123@gmail.com*

*²State 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*

*³Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com*

An analysis of the current state of the mining massif was carried out, the karstological situation was characterized, an assessment of the changes in the geological environment within the Stebnytsky deposit of potash salts in the area of the impact zone of the emergency mine No. 2 of the Stebnytsky GHP "Polymineral" on the state of infrastructure facilities and the living conditions of the residents of the village of Solets, Drogobyt'sk OTG from karst collapse phenomena in the period 2017–2020. It was established that after the complete flooding of mine No. 2, the man-made activated salt karst, in the zone of influence of the mining operations, which lasted from October 1978 to September 2020, completely stopped, the movement of underground water through the salt there are no rocks that caused their dissolution and collapse has not occurred for more than two years. To date, large karst sinkholes No. 27 and No. 30 formed in 2017 and 2020 are filled with water and karst lakes are formed in their place. At the same time, the slopes of the dips are deformed by numerous semicircular cracks and shear scales. During periods of intense precipitation, suffosion phenomena may become more active along the cracks with the formation of small satellite karst-suffosion depressions. Of the infrastructural objects, the most pronounced deformations were caused by karst collapse phenomena for the Lviv-Truskavets highway. More than 20 cracks with a length of 1 to 7 m and varying amplitude of displacement from 1 to 7 cm were recorded here. The observed cracks in the road surface do not pose a threat to the movement of motor vehicles. In the village of Solets, buildings with cracks were found, in particular, on Ulyana Kravchenko St. I recorded them on the ceiling and walls of the houses of local residents. At the same time, there are no cracks in most houses. Therefore, there are no sufficient grounds to talk about the connection between these cracks and karst collapse phenomena. According to the results of the survey of 50 local residents, it was established that most of the buildings were not affected by karst collapse processes, but most of the respondents were quite worried about the possible negative consequences.

Key words: salt karst, Stebnytsky deposit of potash ores, geological environment, man-made activation, cracks, infrastructure objects, living conditions of residents.

ХВОСТОСХОВИЩЕ СТЕБНИЦЬКОГО ГХП «ПОЛІМІНЕРАЛ»: СУЧАСНИЙ СТАН, ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Зенон Хевпа¹, Ігор Кицмур², Василь Дяків²

*¹Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»,
просп. Академіка Палладіна, 34А, Київ, Україна, 02000
e-mail: zeponzxv@gmail.com*

*²Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com*

У статті проаналізовано експлуатацію хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» у минулому, у тому числі аварійний прорив дамби 1983 року, яка була визнана екологічною катастрофою регіонального масштабу, сучасний стан і перспективи вирішення наявних екологічних проблем. Подано результати моніторингу за станом дамб, мінеральним складом твердої фази та хімічним складом вод. Хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал» належить до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, де тривалий час накопичували відходи збагачення калійних руд. Недосконалість технології збагачення призвела до накопичення знаних об'ємів твердої й рідкої фаз. 15 вересня 1983 року на Стебницькому хвостосховищі сталася катастрофічна аварія, яка призвела до забруднення р. Дністра на сотні кілометрів, стала наслідком збігу кількох об'єктивних (природних) і суб'єктивних (техногенно-технологічних) чинників, серед яких одним із визначальних була експлуатація хвостосховища протягом тривалого часу на критичних значеннях вище за проектні відмітки – переповнення рідкою фазою. Переповненість двох секцій хвостосховища рідкою фазою в наш час становить потенційну загрозу повторення аварії 1983 року. Після аварії 1983 року дамба Стебницького хвостосховища була додатково підсилена й відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі. Тут накопичено 13 млн м³ рідкої та твердої фази, останніми роками, особливо у 2022 році, експлуатується з рівнем рідкої фази в секціях № 1 і № 2. Відповідно до запропонованої моделі, основними елементами матеріального балансу двосекційного хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» є такі: 1) випадання на площу хвостосховища атмосферних опадів; 2) випаровування з площі рідкої і твердої фаз води; 3) регламентований скид рідкої фази в річкову мережу; 4) вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища.

Ключові слова: хвостосховище, калійні руди, Стебницьке родовище, технологія збагачення, складування відходів збагачення, оцінювання екологічного стану, аналіз, прогноз.

Оцінювання стану діючих гідротехнічних споруд, які призначені для тривалого безпечного зберігання промислових відходів, аналіз аварійних ситуацій, що виникали в процесі їх експлуатації в минулому, аналіз наявних екологічних проблем та обґрунтування шляхів їх вирішення є надзвичайно актуальними проблемами техногенно-екологічної безпеки. Показовим прикладом стосовно цього є хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал», яке являє собою спеціалізовану гідротехнічну споруду, обваловану дамбою для безпечного зберігання рідкої та твердої фаз відходів збагачення калійних руд, є виробничим

складом для зберігання некондиційного хлориду натрію з домішками розчинних і нерозчинних у воді мінералів, техногенним об'єктом підвищеної екологічної небезпеки, а тому потребує постійного моніторингу для недопущення можливих аварійних ситуацій.

Така аварія на Стебницькому хвостосховищі вже мала місце 15 вересня 1983 року, коли на ПК 8 стався зсув ґрунту, що спричинив за собою проран, прорив дамби та спорожнення хвостосховища за лічені години. Прорив дамби Стебницького хвостосховища 15 вересня 1983 року та вилив у басейн річки Дністер 4,5 млн м³ високомінералізованої ропи показали, якою суттєвою може бути загроза екологічній безпеці регіону. Ця аварія стала найбільшою техногенною катастрофою для екосистеми р. Дністра, завдала величезної шкоди флорі й фауні басейну Верхнього та частково Середнього Дністра до Дністровського водосховища. Тут у цей період загинуло сотні тисяч тонн риб, а також завдано шкоди нерестилищам гідробіонтів аж до Чорного моря. Перші два тижні після аварії дністровська вода за хімічним складом на 85% русла не відповідала санітарно-гігієнічним вимогам до питних вод.

Стебницьке хвостосховище огорожене від навколишніх земель ґрунтовою дамбою загальною довжиною 2061 м, із максимальною висотою 21,5 м збудовано в 1970-х роках. Після аварії 1983 року дамба Стебницького хвостосховища була додатково підсилена й відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі. Ложе хвостосховища гідрозольоване, що забезпечує, з одного боку, відсутність витоків за межі зберігання рідкої та твердої фаз у секціях № 1 і № 2, а з іншого боку, в умовах позитивного водного балансу переважання кількості опадів над інтенсивністю випаровування, припинення виробничого процесу й, відповідно, використання оборотних вод у дощові роки та пори року зі значною кількістю опадів і незначним випаровуванням, може призвести до переповнення секцій і виникнення нової аварійної ситуації, подібної до екологічної катастрофи 1983 року.

Основною проблемою гідротехнічних споруд, що зберігають промислові відходи на підприємствах, де тимчасово припинений виробничий процес, є забезпечення екологічної безпеки, аналіз аварійних ситуацій, які були в минулому, оцінювання сучасного стану, обґрунтування шляхів вирішення та прогноз на майбутнє. Ці проблеми хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» розв'язували шляхом аналізу фондових матеріалів, опрацювання результатів моніторингових спостережень і польових досліджень.

Цій проблемі присвячена низка публікацій В.О. Дяківа, І.І. Кицмура, Х.М. Цар [1–3]. У цих роботах розглянуто екологічні та геохімічні наслідки експлуатації хвостосховищ. У працях В.О. Дяківа, І.І. Кицмура проведено ретроспективний аналіз аварії 1983 року [4–5].

У працях П.М. Білоніжки, В.О. Дяківа, А.М. Гайдіна, І.І. Зозулі, Я.М. Семчука [6; 7; 8] розглянуто теоретичні та прикладні аспекти функціонування хвостосховищ у районах розробки і збагачення калійних руд Передкарпаття [6–7].

У роботі [9] подано дані розслідування причин екологічної катастрофи на Стебницькому хвостосховищі, що мала місце у вересні 1983 року, а публікації [9] доповнюють деякі аспекти цієї події.

Водночас ми не знайшли публікації, де висвітлено комплексні підходи до вирішення проблем стану діючих гідротехнічних споруд, які призначені для тривалого безпечного зберігання промислових відходів – продуктів збагачення калійних руд, проаналізовано аварійні ситуації, що виникали в процесі їх експлуатації в минулому, сучасні екологічні проблеми та обґрунтовано шляхи їх вирішення.

Мета статті – оцінювання стану хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» як складної гідротехнічної споруди, що зберігає промислові відходи в умовах тимчасового припинення виробничого процесу, аналіз аварійних ситуацій, які були в минулому,

оцінювання сучасного стану, обґрунтування шляхів вирішення проблем і забезпечення екологічної безпеки.

Мінеральний склад руд Стебницького родовища й технологія збагачення.

Калійні руди Стебницького родовища мають полімінеральний склад. Вони містять багаті й своєрідні асоціації сольових мінералів, які належать до водних і безводних хлоридів, хлорид сульфатів і сульфатів K, Mg, Na, Ca. Головними мінералами покладів калійних солей, звичайно, є **галіт, каїніт і лангбейніт**. З огляду на те що два останні мінерали є головними рудами на калій і магній, виділяють три головні різновиди калій-магнієвих руд: **каїнітові, лангбейнітові та каїніт-лангбейнітові**. Дуже часто каїніт має вторинне походження – унаслідок заміщення первинного лангбейніту, так званий процес каїнітизації лангбейніту іноді настільки широко розвинутий, що вторинний каїніт стає основним мінералом. Тоді між каїнітом і лангбейнітом локалізований буферний мінерал – кізерит, а вся мінеральна асоціація має зональну будову: усередині – лангбейніт, далі – кізерит, а оконтурює каїніт. Власне така анатомічна будова асоціації свідчить про вторинне походження каїніту внаслідок заміщення лангбейніту й кізериту.

До другорядних мінералів, які наявні в калійних рудах у невеликих кількостях (до 10%), належать силвін, полігаліт, кізерит, шеніт, епсоміт, леоніт і карналіт. Іноді зустрічаються тіла кондиційних руд, складені цими мінералами: **силвінові, полігалітові, карналітові**, які можуть мати промислове значення. У вигляді домішок до 1% трапляються астраханіт, арканіт, гексагідрит, ангідрит, гіпс, рідко вантгофіт [1–5; 8; 9–10]. Важливу роль у складі калійних порід відіграють глинисті мінерали **хлорит і гідрослюда**, а також теригенні мінерали – кварц і польовий шпат, і мінерали-домішки – кальцит і доломіт.

Технологічна схема переробки калійно-магнієвих руд із домінуючим каїніт-лангбейнітовим складом Стебницького родовища розроблена у Всесоюзному науково-дослідному інституті галургії (м. Санкт-Петербург, росія). Суть цієї технології полягала в розчиненні калійних соляних порід гарячою водою, додаванні флотореагенту 2–3 кг на тону руди, осадженні нерозчинного глинистого залишку й відокремленні від осаду висвітленої висококонцентрованої ропи та кристалізації з неї калімагнезійо. Проте полімінеральний склад калійних руд і високий уміст у них глинистого матеріалу (10–15%, іноді до 20%) значно ускладнювали технологію їх переробки. Практично ця технологія виявилася дуже недосконалою. У відходи потрапляли не тільки глинистий матеріал і недорозчинений полігаліт і галіт, а й ропа з високим умістом хлористого натрію та калійно-магнієвих солей, половина цінних компонентів ішла у відходи, з 1 тонни руди утворювалося 0,7–0,8 тонн відходів. Тим не менше із залишкових 200–300 кг руди на збагачувальній фабриці отримували готову продукцію – калімаг. Об'єм відходів, згідно з проектними розрахунками, становив 900 м³ за добу і, відповідно, 328 тис. м³ за рік. Усі ці відходи треба було складувати у хвостосховище.

Передумови вибору місця для зберігання відходів збагачення. Під час вишуквальних робіт і проектування хвостосховища збагачувальної фабрики Стебницького калійного заводу основні зусилля із забезпечення екологічної безпеки та мінімізації негативного впливу були спрямовані на захист довкілля від фільтраційних утрат, руйнування огорожувальної дамби, запилення атмосферного повітря. Із цією метою, з огляду на близькість території до бальнеологічного курорту Трускавець, вибрано найбільш вдале місце в басейні р. Тисмениці, її лівої притоки р. Солонниці та лівого Безіменного допливу між північною околицею м. Стебника, селами Болехівці й Раневичі, де в 1973–1977 роках було побудовано хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал» шляхом огороження від навколишніх земель ґрунтовою дамбою загальною довжиною 2061 м, із максимальною висотою 21,5 м, у межиріччі лівих приток річки Солонниці, яка є правою притокою

річки Тисмениці, що, у свою чергу, впадає у транскордонну річку Дністер і належить до водозбірного басейну Чорного моря (рис. 1).



Рис. 1. Розташування й план хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал»

Аналіз аварії хвостосховища в 1983 році. Відразу після введення в експлуатацію хвостосховище стало швидко заповнюватися рідкою фазою, із пульти якої осідала тверда фаза, а відстоюна ропа поверталася в технологічний процес. На початку 80-х років ХХ століття експлуатація Стебницького хвостосховища протягом тривалого часу відбувалася на критичних значеннях вище проектної відмітки на 0,5 м допустимих рівнів ропи. Не бралися до уваги під час наповнення чаші хвостосховища ропою дані моніторингових спостережень щодо підвищених рівнів підземних вод в оглядових колодязях.

Перші передвісники майбутньої гідродинамічної аварії – тріщини в тілі дамби між пікетами 7 і 8 другої секції внаслідок нарощування дамби до проектної відмітки, були задокументовані ще у квітні 1983 року. Замість того щоб припинити закачку рідкої фази до з'ясування причин утворення тріщин, було вирішено зупинити привантажування зсувонебезпечної ділянки при відсипці та «косметично» «залікувати тріщини», а після стабілізації ситуації продовжити нарощування. Про це свідчать дані моніторингу за станом дамби.

15 вересня 1983 року в районі ПК 8 секції № 2 хвостосховища Стебницького калійного комбінату відбулася аварія, що мала катастрофічні екологічні наслідки: через руйнування дамби відбувся викид відходів збагачення в кількості 4,5 млн м³, унаслідок чого були забруднені ріки Бистриця та Дністер, на деякий час призупинена діяльність окремих підприємств у Львівській, Івано-Франківській, Тернопільській, Хмельницькій та Одеській областях України, Республіки Молдови. Завдана значна шкода сільськогосподарському виробництву в цих районах, була пошкоджена залізниця Львів-Трускавець. Загалом господарствам України та Молдови були завдані збитки на суму більше ніж 62 млн крб.

Вирішальним чинником гідродинамічної аварії на Стебницькому хвостосховищі став проливний дощ, який тривав три доби, коли з 12 по 14 вересня 1983 року напередодні прорану 15 вересня 1983 року випала місячна норма опадів.

Гідродинамічна аварія 15 вересня 1983 року стала наслідком збігу кількох об'єктивних (природних) і суб'єктивних (техногенно-технологічних) чинників:

а) невідповідності проектним вимогам технології – недостатнє трамбування, а також матеріалів і ґрунтів, які використовували для будівництва: у тіло дамби вкладали не тільки четвертинні суглинки, а й не передбачені проектом неогенові глини, а за усними повідомленнями, мерзлий ґрунт. Відповідно до чинних будівельних норм, цього категорично не можна було робити, як наслідок, незадовільна робота дренажної системи, обводнення, просідання та зсув тіла дамби (рис. 2);

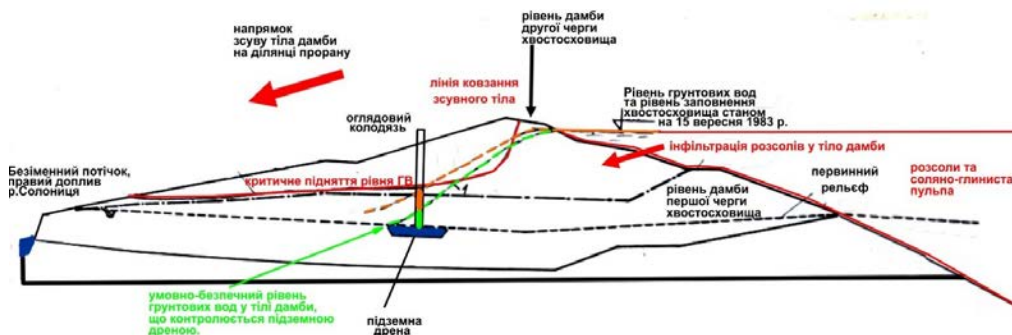


Рис. 2. Принципова схема незадовільної роботи дренажної системи, обводнення тіла дамби й локалізації лінії ковзання зсуву на ділянці прорану 15 вересня 1983 року [9]

б) секцію № 2 хвостосховища використовували виключно як відстійник високомінералізованої ропи, без намівання пляжів твердої фази по внутрішньому контуру, що суттєво б укріпило тіло дамби. Акумулявання рідкої фази високомінералізованої ропи безпосередньо біля тіла дамби стало причиною того, що ропи почали фільтруватися й обводнювати ослаблені ділянки;

в) експлуатація хвостосховища протягом тривалого часу на критичних відмітках допустимих рівнів ропи;

г) неврахування даних моніторингових спостережень щодо підвищених рівнів підземних вод в оглядових колодезях і первинних деформацій тіла дамби за умови переповнення хвостосховища вище за проектну відмітку на 0,5 м;

д) надмірна кількість опадів, коли напередодні прорану з 12 по 14 вересня 1983 року йшов проливний дощ і випала місячна норма.

Аварійному прорану тіла дамби Стебницького хвостосховища передувало обводнення ґрунтової основи між пікетами 7 і 8, перетворення її на пливун і просідання, яке зафіксували працівники Львівського спеціалізованого управління № 605, котрі добудовували секцію № 2, о 9 год. 30 хв. 15 вересня 1983 року [1]. О 14 год. цього ж дня зафіксовано утворення тріщин, через які почав витікати високомінералізований розсіл. 15 вересня 1983 року, о 18 год. 05 хв., відбулася активізація зсуву, утворення хвилі прориву й ерозійний розмив шириною до 55 м по гребеню та 20 м на рівні дна [23]. Відразу після аварії експерти задокументували дзеркала зсуву по включеннях неогенових глин на ділянках обводнення та розуцілення в тілі дамби.

Після зміщення зсувного тіла відбувся гідродинамічний прорив дамби, який при перепаді рівнів ропи – 14 м, являв собою потужний селевий потік, що живився за рахунок підпору високомінералізованої ропи з переповненої чаші другої секції Стебницького хвостосховища до короточасного повного спрацювання наявних запасів – понад 4,5 млн м³.

Некерований селевий потік високомінералізованої ропи витікав п'ять годин (99% – за 3 години, решта – за 2 години), через проран у тілі дамби потрапив за межі контуру хвостосховища в русло потічка Безіменний (рис. 3).



Рис. 3. Місце прориву дамби (прорану) та первинного поширення високомінералізованої ропи по руслу потічка Безіменний 15 вересня 1983 року [1]

У разі точного виконання вимог проекту будівництва хвостосховища такі природні умови та геологічна будова були досить сприятливими з гідрологічних позицій: неогенові відклади – водотривкі, є природним регіональним геохімічним бар'єром, горизонти різнофазіального четвертинного водоносного комплексу поширені локально, тому можливі фільтраційні втрати суттєво не впливали на якість підземних вод, зокрема, у найближчих населених пунктах.

Однак, як виявилось під час розслідування причин гідродинамічної аварії, до 12–15% тіла дамби було складено саме неогеновими глинами, не в останню чергу через нерівний, нечіткий, хвилястий, із глибокими врізами контакт між неогеновими та четвертинними відкладами. Крім того, у тілі дамби були виявлені й заторфовані суглинки, а передноворічна «штурмівщина» для виконання плану в листопаді-грудні 1976 року призвела до того, що, імовірно, у цей час у тіло дамби потрапили й мерзлі ґрунти, що було категорично неприпустимо. Через постійну «штурмівщину» для виконання плану трамбування тіла дамби здійснювали лише колесами самоскидів.

Як наслідок ґрунти тіла дамби не відповідали проектним вимогам як за щільністю (густиною) – мінімальне значення $1,65 \text{ г/см}^3$, так і за вологістю – максимум 22–23%: на ділянці прорану виявлені прошарки зі значеннями густини $1,45\text{--}1,55 \text{ г/см}^3$ і значеннями вологості 28–37%.

До однієї з найважливіших техногенних причин гідродинамічної аварії варто зарахувати й те, що секцію № 2, на відміну від секції № 1 хвостосховища, використовували виключно як відстійник високомінералізованої ропи без намивання пляжів твердої фази, тоді як намивання пляжів твердої фази хвостів збагачення суттєво б укріпило тіло дамби, зокрема, і на ослабленій ділянці.

Візуальне обстеження прориву, а також результати буріння свердловин виявили, що площа зсуву зміщення не вийшла з тіла дамби. Про це свідчила наявність на дні прориву непорушених насипних порід тіла дамби, а також відсутність валу випирання в ґрунтах основи.

Величезна маса високонцентрованої ропи і твердих відходів (мулу) ринула в басейн р. Солониці, а з неї в р. Тисменицю, а далі в р. Дністер й у Чорне море. Сумарна маса цього викиду становила понад 5 млн тонн і являла собою селевий потік із потужним гідравлічним напором, який неможливо було зупинити жодними технічними засобами. Про це свідчить той факт, що бульдозер, який стояв на дамбі поблизу місця прориву, був знесений униз на відстань близько 100 м. Величезна маса соляних відходів забруднила всю навколишню територію (річки, сади, городи, поля, ліси). Це завдало величезної шкоди флорі й фауні цього району, а також гідробіонтам річок Солониці, Тисмениці та Дністра, аж до Чорного моря.

Проведені гідрогеологічні й інженерно-геологічні дослідження виявили, що першопричиною аварії було різке підняття рівня підземних вод у тілі дамби перед проривом (рис. 4).

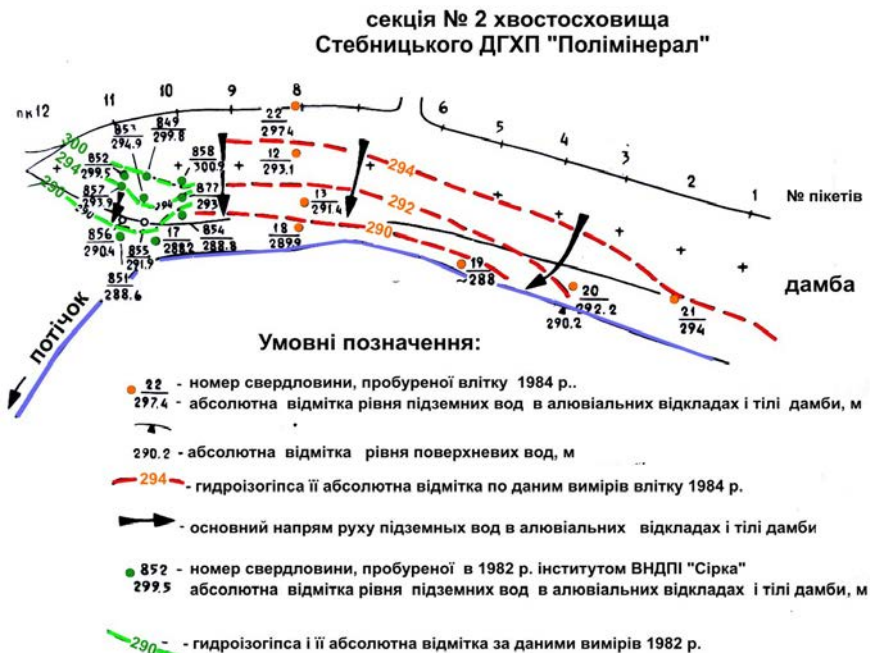


Рис. 4. Результати гідрогеологічних та інженерно-геологічних досліджень до та після прориву дамби 15 вересня 1983 року

Наслідком підняття рівня підземних вод у профілі дамби в умовах критично високого рівня заповнення хвостосховища та зростання інфільтрації розсолів у тіло дамби стала активізація зсуву по дзеркалу ковзання, що спричинило утворення прорану.

Початковою фазою гідродинамічної аварії був миттєвий прорив дамби, швидкий ерозійний розмив і некерований потік високонцентрованої ропи з верхнього б'єфа через тіло дамби в нижній б'єф через проран трапецієдричної форми площею 483 м², через який середній розхід протягом трьох годин становив 450 м³/с.

Першим негативним екологічним наслідком Стебницької аварії стало **катастрофічне затоплення місцевості від хвостосховища, Раневицької та Почасвицької сільських рад.**

Катастрофічне затоплення як стихійне лихо полягало в стрімкому затопленні хвилию прориву нижче розташованої місцевості й виникненні паводку, що ускладнився

засоленням ґрунтів і підземних вод. Величезна маса соляних відходів забруднила всю навколишню територію (річки, сади, городи, поля, ліси). Це завдало величезної шкоди флорі й фауні цього району, а також гідробіонтам річок, якості вод у місцевих водозаборах.

Другим катастрофічним негативним екологічним наслідком Стебницької аварії стало надмірне забруднення надзаплавних терас від Стебника до села Тершакова на р. Дністер, куди соляно-глинистий потік дійшов протягом доби й де суттєво була порушена якість підземних вод.

Третім негативним екологічним наслідком Стебницької аварії стало катастрофічне забруднення річкових вод від с. Тершакова до Дністровського водосховища в Чернівецькій області, яке тоді ще лише будували й де досі на дні локалізовано до 1 млн м³ стебницьких розсолів, меншою мірою до Дубосарського водосховища в Молдові, де осіло кілька десятків тисяч тонн намулу, і навіть Дністровського лиману біля Чорного моря.

Це завдало величезної шкоди флорі й фауні басейну Верхнього та частково Середнього Дністра до Дністровського водосховища. Тут у цей період загинуло сотні тисяч тонн риб, особливо донних, сомів та інших: саме по дну поширювалася більш важка соляна ропа. А також нерестилищам гідробіонтів аж до Чорного моря.

Аналіз аварії (екологічної катастрофи) Стебницького хвостосховища 1983 року, а також той факт, що в післяаварійний період дамба гідротехнічної споруди була додатково підсилена й відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі, дають підстави стверджувати, що практично єдиним чинником небезпеки виникнення нової аварійної ситуації в сучасних умовах є позитивний водний баланс – переважання кількості опадів над інтенсивністю випаровування, що в разі припинення виробничого процесу й, відповідно, використання оборотних вод у дощові роки та пори року зі значною кількістю опадів і незначним випаровуванням може призвести до переповнення секцій і виникнення нової аварійної ситуації, подібної до екологічної катастрофи 1983 року.

Усе це показує, наскільки важливими є моніторингові спостереження за станом хвостосховища, рівнями рідкої фази, трансформацією твердої фази, змінами їх матеріального балансу, а також виконання рекомендованих заходів з метою зменшення ризиків переповнення.

Сучасний стан хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал».

Площа хвостосховища – 125 га, із них акваторія – 70 га. Секція 1 площею 69 га обгороджена дамбою з відмітками 212–213 м. Висота дамби – до 22 м, довжина – 1900 м. Секція заповнена відходами кількістю 8,2 млн м³, на більшій частині площі – рідкою фазою (рис. 5).



Рис. 5. Загальний вид на східну частину секції № 1 хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал», повністю заповненою рідкою фазою

Тверда фаза виходить на поверхню в південній частині секції № 1 хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» на ділянці пляжу (рис. 6).



Рис. 6. Загальний вид на південну частину секції № 1 хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» на ділянці пляжу, де тверда фаза виходить на поверхню

Секція 2 утворена дамбою довжиною 1200 м і висотою до 17,3 м. Відмітка дамби – 306,8 м. Секція розділена на 2 частини перемичкою з відміткою 305 м. Площа північної частини – 26,9 га, південної – 28,4 га. Секція № 2 заповнена розсолом в об'ємі 2,9 млн м³ до відмітки 304 м. Тверда фаза представлена в основному глинистими відкладеннями на дні південної частини в об'ємі 1,6 млн м³ (рис. 7).



Рис. 7. Загальний вид на східну частину секції № 1 хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал», повністю заповнену рідкою фазою

Після аварії 1983 року дамба Стебницького хвостосховища була додатково підсилена, відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі. Ложе хвостосховища гідроізольоване, що забезпечує, з одного боку, відсутність витоків за межі зберігання рідкої та твердої фаз у секціях № 1 і № 2, а з іншого боку, в умовах позитивного водного балансу переважання кількості опадів над інтенсивністю випаровування, припинення виробничого процесу й, відповідно, використання оборотних вод у дощові роки та пори року зі значною кількістю опадів і незначним випаровуванням може призвести до переповнення секцій і виникнення нової аварійної ситуації, подібної до екологічної катастрофи 1983 року.

Усе це показує, наскільки важливими є моніторингові спостереження за станом гідротехнічних споруд хвостосховища, рівнями рідкої фази, трансформацією твердої фази,

змiнами їх матерiального балансу, а також виконанням рекомендованих заходiв з метою зменшення ризикiв переповнення. Згiдно з комплексним проєктом консервацiї рудника № 2, гiрничi виробки мали бути заповненi розсолон, який мали виготовляти шляхом донасичення рiдкої фази вiдходiв пiд час розчинення твердої фази. Однак через низку об'єктивних i суб'єктивних причин повнiстю виконати комплексний проєкт не вдалося: у рудник № 2 скинутi лише найбільш насиченi розсоли, а тверда фаза розчинена лише частково. Саме це визначає актуальнiсть роботи з розрахунку матерiального балансу i надання науково обгрунтованих рекомендацiй щодо зниження ризикiв переповнення.

На поверхнi секцiї № 1 до глибини 0,6–0,7 м солi вилугуванi, залишок являє собою пiскоподiбний ґрунт, який складається з кристалiв гiпсу, пiщаних i глинистих частинок iз незначним умістом легкорозчинних мiнералiв, насамперед галiту. Цей прошарок за аналогiєю з природними соляними покладами умовно називають гiпсо-глинистою шапкою за складованою твердої фази хвостосховища, а хiмiчний склад таких вiдкладiв подано в таблицi 1.

Таблиця 1

Хiмiчний склад гiпсо-глинистої шапки, г/кг

Глибина вiдбору (см)	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	Сума	K(%)	Mg (%)
10	0,7	1	40	36	0,5	225	303,2	0,33	11,87
20	0,8	0,08	30	24	0,8	192	247,68	0,03	9,69
30	0,8	1	37	28	0,8	239	306,6	0,33	9,13
40	2,2	1,8	40	31	0,9	264	339,9	0,53	9,12
50	2	14	36	26	1,7	220	299,7	4,67	8,68
60	3,2	142	26	15	1,8	288	476	29,83	3,15
70	5	124	30	27	3,7	357	546,7	22,68	4,94

Як впливає з таблицi, у складi зони вилугування переважають сульфати кальцiю, тобто гiпс. Грубi частинки зони вилугування представленi кристалами гiпсу (CaSO₄), лангбейнiту (K₂SO₄*MgSO₄) i кiзериту (MgSO₄*H₂O). Тонкi частинки представленi глинистими мiнералами. Малорозчиннi солi утворюють скелет iз великими порами, завдяки чому ґрунт вiдрiзняється високою проникливiстю. Природна вологiсть ґрунтiв – вiд 15 до 22%.

Глибше залягає кристалiчна сiль на глинистому цементi. Умiст розчинних солей – 57–93%, вологiсть – вiд 1 до 23%, середня – 17%, середня об'ємна маса в природному станi – 1,81 г/см³. Сiль являє собою напiвскельну породу, мiцнiсть за шкалою Протодьяконова – 4–5.

Шляхи забезпечення екологiчної безпеки. На пiдставi проведених дослiджень для двосекцiйного хвостосховища Стебницького ГХП «Полiмiнерал» можна запропонувати два найважливишi шляхи забезпечення екологiчної безпеки:

1. Регламентований скид в умовах позитивного водного балансу та пiдняття рiвнiв рiдкої фази до критичних значень, що загрожують повторенням катастрофiчної ситуацiї, що мала місце в 1983 році.

2. Зменшення накопичених об'ємiв твердої фази з їх подальшим господарським використанням.

Згiдно iз запропонованою моделлю, основними елементами матерiального балансу двосекцiйного хвостосховища Стебницького ГХП «Полiмiнерал» є такi:

1. Випадання на площу хвостосховища атмосферних опадiв.
2. Випаровування з площi рiдкої i твердої фаз води.
3. Регламентований скид рiдкої фази в рiчкову мережу.

4. Вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища (рис. 8).

Щодо **випадання на площу хвостосховища атмосферних опадів**, то, згідно з даними метеостанції в місті Дрогобичі за останні 70 років, річна кількість опадів у межах досліджуваної території коливається від 442 мм на рік у 1961 році до 1100 мм на рік у 1980 році за розрахованого середнього значення атмосферних опадів 736 мм на рік.



Рис. 8. Модель матеріального балансу двосекційного хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал»

Щодо **випаровування з площі рідкої і твердої фази води** хвостосховища, то, згідно з даними метеостанції в місті Дрогобичі за останні 70 років, середньорічна добова інтенсивність випаровування в межах досліджуваної території коливається від 1,8 мм на добу у 2004 році до 2,4 мм на добу у 2003 році за розрахованого середнього значення середньодобового випаровування 2,0 мм на добу. Відповідно, середня річна інтенсивність випаровування становить від 550 мм на рік у 2004 році до 658 мм на рік у 2003 році за розрахованого середнього значення середньодобового випаровування 608 мм на рік.

Розрахунки показують, що на всю площу хвостосховища випадає від 552,5 тис. м³/рік опадів (1980 рік) до 1 млн 375 тис. м³/рік опадів (1961 рік) у середньому 920 тис. м³/рік опадів, тоді як випаровування з поверхні твердої та рідкої фаз становить від 687,5 тис. м³/рік води (2004 рік) до 822,5 тис. м³/рік води (2003 рік).

Як видно з наведених даних, у засушливі роки, коли кількість опадів фіксується на рівні меншому, ніж 550 мм на рік, практично вся вода, яка потрапила за цей період, повністю випаровується й навіть дещо зменшує рівень води у двох секціях за рахунок випаровування раніше накопичених вод. Але такі засушливі роки після побудови хвостосховища зафіксовані лише двічі: 1982 рік (529 мм опадів на рік) і 2000 рік (523 мм опадів на рік).

Багаторічні метеорологічні спостереження виявляють, що більшість років характеризуються переважанням кількості опадів над інтенсивністю випаровування в межах досліджуваної території, особливо в останні роки, про що свідчать дані зростання рівнів води в секціях № 1 і № 2. Загалом за розрахунками водного балансу річний притік на площу хвостосховища можна оцінити до 650 тис. м³/рік води.

Особлива небезпека раптового переповнення хвостосховища притаманна для періодів інтенсивних зливових опадів, коли за короткий час (1–2 чи кілька діб) потенційно може випасти кількомісячна норма опадів, і такі випадки неодноразово фіксували.

На такі випадки на хвостосховищі Стебницького ГХП «Полімінерал» функціонує діюча сифонна система скиду, яка розрахована на скид надлишкових вод з метою недопущення руйнування дамби, а також регламентований скид рідкої фази в річкову мережу.

Після сильних дощів за умови переважання опадів над випаровуванням можливе переповнення хвостосховища й настання надзвичайної ситуації за сценарієм аварії (екологічної катастрофи) 15 вересня 1983 року. Тому частину ропи з хвостосховища, яка перевищує проектні позначки, за погодженням із контрольними органами в минулі роки (1984–2000 роки) періодично скидали в гідрографічну мережу р. Дністра за діючою системою аварійного скиду пониження рівнів.

Вищевказане показує, що найдієвішим важелем зміни матеріального балансу хвостосховища, як у секції № 1, так й особливо в секції № 2, є **регламентований скид рідкої фази в річкову мережу**. На хвостосховищі Стебницького ГХП «Полімінерал» функціонує діюча сифонна система скиду, яка розрахована на скид надлишкових вод з метою недопущення руйнування дамби. Розрахунки показують, радикально може покращити ситуацію скид щонайменше 550 тис. м³ мінералізованої води із секції № 2, що призведе до зниження рівня на 1 м, і від 50 чи навіть 100 тис. м³ мінералізованої води чи більше із секції № 1. На жаль, розроблений Стебницьким ГХП «Полімінерал» регламент скиду досі не погоджений у встановленому законом порядку.

Дослідження виявили, що ще одним дієвим, а найважливіше, реальним важелем зміни матеріального балансу хвостосховища, насамперед у секції № 1, є **вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища**. Розрахунки показують, що вивезення за межі хвостосховища навіть 10 тис. м³ твердої фази, не кажучи про 100 тис. м³ чи навіть 1 млн. м³, суттєво чи навіть радикально зменшує ризики переповнення хвостосховища та підвищує рівень екологічної безпеки.

Вивезення твердої фази за межі хвостосховища, насамперед із секції № 1, дасть змогу створити додаткові еквівалентні об'єми (10 тис. м³, 100 тис. м³ чи 1 млн. м³), вивільнить додатковий об'єм для накопичення вод, якими може поповнюватися секція № 1 за рахунок атмосферних опадів, також цей об'єм можна використовувати як місце зберігання рідкої фази за регуляторного перекачування вод із секції № 2.

Отже, на основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал» належить до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, де тривалий час накопичували відходи збагачення калійних руд. Недосконалість технології збагачення призвела до накопичення значних об'ємів твердої й рідкої фаз. Тверда фаза характеризується підвищеним умістом солей калію, магнію

та сульфатів, перебуває в нерухомому стані, не становить загрози природного переміщення в гідрологічну мережу та перебуває на балансі Стебницького ГХП «Полімінерал» як товарний продукт – соляно-мінеральна суміш.

2. 15 вересня 1983 року на Стебницькому хвостосховищі сталася катастрофічна аварія, яка призвела до забруднення р. Дністра на сотні кілометрів і стала наслідком збігу кількох об'єктивних (природних) і суб'єктивних (техногенно-технологічних) чинників, серед яких одним із визначальних була експлуатація хвостосховища протягом тривалого часу на критичних значеннях вище за проектні відмітки – переповнення рідкою фазою. Переповненість двох секцій хвостосховища рідкою фазою в наш час становить потенційну загрозу повторення аварії 1983 року.

3. Після аварії 1983 року дамба Стебницького хвостосховища була додатково підсилена й відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі. Тут накопичено 13 млн м³ рідкої та твердої фази, останніми роками, особливо у 2022 році, експлуатується з рівнем рідкої фази в секціях № 1 і № 2, близьким до критичних відміток, відповідно, фактичні абсолютні відмітки рівнів розсолів: 311,46 м у секції № 1 і 303,65 м у секції № 2. Це вказує на те, що в секції № 1 рівень рідкої фази лише на 54 см нижчий від максимально допустимого рівня – абсолютної відмітки 312,0 м, а в секції № 2 лише на 35 см нижчий від максимально допустимого рівня – до абсолютної відмітки 304,0 м, що становить загрозу в кращому випадку переливу через дамбу, а в гіршому випадку прориву та пошкодження захисної гідротехнічної споруди за сценарієм аварії (екологічної катастрофи) 1983 року.

4. Відповідно до запропонованої моделі, основними елементами матеріального балансу двосекційного хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» є такі: 1) випадання на площу хвостосховища атмосферних опадів; 2) випаровування з площі рідкої і твердої фаз води; 3) регламентований скид рідкої фази в річкову мережу; 4) вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища.

5. Розрахунки матеріального балансу – привнесення та винесення твердої й рідкої фаз із площі хвостосховища, виявляють, що єдиним джерелом надходження рідкої фази є атмосферні опади, а випаровування, регламентований скид рідкої фази в річкову мережу та вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища є варіантами зменшення об'ємів твердої й рідкої фаз. У засушливі роки, коли кількість опадів фіксується на рівні меншому, ніж 550 мм на рік, практично вся вода, яка потрапила за цей період, повністю випаровується й навіть дещо зменшує рівень води у двох секціях за рахунок випаровування раніше накопичених вод. Але такі засушливі роки після побудови хвостосховища зафіксовані лише двічі: у 1982 році (529 мм опадів на рік) і 2000 році (523 мм опадів на рік). Багаторічні метеорологічні спостереження виявляють, що більша кількість років характеризується переважанням кількості опадів над інтенсивністю випаровування й у межах досліджуваної території, особливо останні роки, про що свідчать дані зростанням рівнів води в секціях № 1 і № 2. Загалом за розрахунками водного балансу річний притік на площу хвостосховища можна оцінити до 650 тис. м³/рік води.

6. Найдієвішим важелем зміни матеріального балансу хвостосховища, як у секції № 1, так й особливо в секції № 2, є **регламентований скид рідкої фази в річкову мережу**. На хвостосховищі Стебницького ГХП «Полімінерал» функціонує діюча сифонна система скиду, яка розрахована на скид надлишкових вод з метою недопущення руйнування дамби. Розрахунки показують, що радикально може покращити ситуацію скид щонайменше 550 тис. м³ мінералізованої води із секції № 2, що призведе до зниження рівня на 1 м, і від 50 чи навіть 100 тис. м³ мінералізованої води чи більше із секції № 1. На

жаль, розроблений Стебницьким ГХП «Полімінерал» регламент скиду досі не погоджений у встановленому законом порядку.

7. З'ясовано, що дуже дієвим, а найважливіше, реальним важелем зміни матеріального балансу хвостосховища, насамперед у секції № 1, є **вивезення твердої фази (твердо-го некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища**. Розрахунки показують, що вивезення за межі хвостосховища навіть 10 тис. м³ твердої фази, не кажучи про 100 тис. м³ чи навіть 1 млн. м³, суттєво чи навіть радикально зменшує ризики переповнення хвостосховища й підвищує рівень екологічної безпеки. Вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища, насамперед із секції № 1, дасть змогу створити додаткові еквівалентні об'єми (10 тис. м³, 100 тис. м³ чи 1 млн. м³), що стануть додатковим об'ємом для накопичення вод, якими може поповнюватись секція № 1 за рахунок атмосферних опадів, також цей об'єм можна використовувати як місце зберігання рідкої фази за регуляторного перекачування вод із секції № 2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дяків В., Цар Х. Модель вилуговування, закарстовування та самоізоляції легкорозчинних солей з приповерхневих соляно-глинистих відкладів хвостосховищ і солевідвалів калійних родовищ Передкарпаття. *Мінералогічний збірник Львівського університету*. 2010. № 60. Вип. 2. С. 136–147.
2. Кицмур І.І., Дяків В.О. Геохімічні умови формування карстових озер та засолених інфільтратів хвостосховища № 1 (м. Калуш, Івано-Франківська область). *Від мінералогії до геохімії*: збірник наукових праць наукової конференції, присвяч. 130-річчю від дня народження академіка О.Є. Ферсмана. Київ, 2013. С. 316–323. URL: <http://www.museumkiev.org/Geology/conf/Fersman/2.pdf>.
3. Кицмур І.І., Гайдін А.М., Дяків В.О. Оцінка впливу хвостосховищ та солевідвалів на стан підземних і поверхневих вод м. Калуша та його околиць. *Визначення концепції розв'язання екологічних проблем м. Калуша*: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (18 лютого 2016 р.). Калуш, 2016. С. 49–62.
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. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування*: матеріали Третьої науково-практичної конференції (Трускавець, 4–7 жовтня 2016 р.) / ДСГІН України, ДКЗ України. Київ, 2016. С. 297–302.
5. Дяків В., Кицмур І. Природно-техногенні причини та еколого-геохімічні наслідки гідродинамічної аварії 15 вересня 1983 р. на Стебницькому хвостосховищі. *Вісник Львівського університету. Серія «Геологія»*. 2016. Вип. 30. С. 106–124.
6. Білоніжка П., Дяків В. Стебницьке родовище калійних солей: розроблення, відходи збагачення руд, проблеми охорони довкілля. *Праці наукового товариства ім. Т. Шевченка*: геологічний збірник. Львів, 2012. Т. XXX. С. 199–209.
7. Гайдін А.М., Дяків В.О., Зозуля І.І. Розсоли в затоплених калійних рудниках Передкарпаття. *Хімічна промисловість України*. 2012. № 3 (110). С. 32–38.
8. 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.
9. Висновок щодо комплексних геолого-гідрологічних, інженерно-геологічних та гідротехнічних досліджень ділянки руйнування дамби секції № 2 хвостосховища Стебниківського калійного заводу / В.М. Шестопапов, Г.В. Лисиченко та ін. *Тимчасова комісія АН*. Київ, 1984. 137 с.

REFERENCES

1. Dyakiv V., Tsar H. (2010). Model of leaching, karstification and self-isolation of readily soluble salts from near-surface salt-clay deposits of tailings and salt pits of potash deposits of Precarpathia. *Mineralogical collection of Lviv University*. No. 60. Issue 2. P. 136–147.
2. Kitsmur I.I., Dyakiv V.O. (2013). Geochemical conditions of the formation of karst lakes and saline infiltrates of tailings repository No. 1 (Kalush, Ivano-Frankivsk region). *Collection of science Proceedings of the Scientific Conference «From Mineralogy to Geochemistry», dedicated to the 130th anniversary of the birth of Academician O.E. Fersman*. K. P. 316–323. Internet access mode: <http://www.museumkiev.org/Geology/conf/Fersman/2.pdf>.
3. Kitsmur I.I., Haydin A.M., Dyakiv V.O. (2016). Assessment of the impact of tailings and salt pits on the state of underground and surface water in the city of Kalusha and its surroundings. *Collection of materials of the International scientific and practical conference «Definition of the concept of solving ecological problems of the city of Kalush». February 18, 2016*. Kalush City Council. P. 49–62.
4. Kitsmur I.I., Dyakiv V.O. (2016). Retrospective geoecological analysis of the hydrodynamic accident on September 15, 1983 at the Stebnytsky tailings impoundment and the geochemical consequences of the catastrophic spill of brines into the Upper Dniester basin. *Materials of the Third Science-Practice. conference «Subsoil use in Ukraine. Investment prospects», Truskavets, October 4–7, 2016. DSGiN of Ukraine, DKZ of Ukraine*. Kyiv. P. 297–302.
5. Dyakiv V., Kitsmur I. (2016). Natural-technogenic causes and ecological-geochemical consequences of the hydrodynamic accident on September 15, 1983 at the Stebnytsky tailings storage facility. *Visnyk of Lviv University. Series geol.* Issue 30. P. 106–124.
6. Bilonizhka P., Dyakiv V. (2012). Stebnytske deposit of potash salts: development, ore beneficiation waste, problems of environmental protection. *Proceedings of the Scientific Society named after Shevchenko. T. HOKH, Geological collection*. Lviv. P. 199–209.
7. Haydin A.M., Dyakiv V.O., Zozulya I.I. (2012). Brine in flooded potash mines of Precarpathia. *Chemical industry of Ukraine*. No. 3 (110). C. 32–38.
8. Semchuk Y.M. (1985). Study of the migration of highly mineralized brines in the area of the tailings storage facility of the Kaluska industrial association «Chlorvinil» using a physical model. *Improvement of the technology of extraction and processing of potash ores of Prykarpattia: Collection*. Cherkasy: ON TEHIM, No. 952XII-D84. P. 86–95.
9. Shestopalov V.M., Lysyuchenko G.V. etc. (1984). Conclusion on complex geological-hydrogeological, engineering-geological and hydrotechnical studies of the site of the destruction of the dam of section No. 2 of the tailings repository of the Stebnytsky potash plant. *Temporary Commission of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*. K. 137 p.

TAILINGS STORAGE FACILITY OF STEBNYTSKYI MCF “POLYMINERAL”: CURRENT STATE, WAYS TO IMPROVE THE STATE OF THE ENVIRONMENT AND ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY

Zenon Hevpa¹, Ihor Kutsmur², Vasyl Dyakiv²

¹State 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

²Ivan Franko National University of Lviv,
 Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
 e-mail: dyakivw@yahoo.com

An analysis of the operation of the tailings storage facility of the Stebnytsky HPP “Polyminerall” in the past, including the emergency dam breach in 1983, which was recognized as an environmental

disaster of a regional scale, the current state and prospects for solving existing environmental problems, was conducted. The results of the monitoring of the state of the dams, the mineral composition of the solid phase and the chemical composition of the water are presented. The tailings storage facility of the Stebnytskyi HPP "Polymneral" belongs to the objects of increased ecological danger, where waste from the enrichment of potash ores was accumulated for a long time. The imperfection of the enrichment technology led to the accumulation of known volumes of solid and liquid phases. On September 15, 1983, a catastrophic accident occurred at the Stebnytskyi tailings facility, which led to the pollution of the Dniester River for hundreds of kilometers and was the result of the coincidence of several objective (natural) and subjective (technological-technological) factors, sulfur being one of the determining factors the decisive factor was the operation of the tailings storage facility for a long time at critical values above the design levels - overflowing with the liquid phase. The current overflow of two sections of the tailings pond with liquid phase poses a potential threat of a repeat of the 1983 accident in the present. After the accident in 1983, the Stebnytsky tailings dam was additionally strengthened and, since then, has been continuously operated in an accident-free mode. 13 million cubic meters of liquid and solid phase have been accumulated here, in recent years, especially in 2022, it has been operated with the level of the liquid phase in sections No. 1 and No. 2. According to the proposed model, the main elements of the material balance of the two-section tailings storage facility of the Stebnytskyi HPP "Polymneral" are: 1) Atmospheric precipitation falling on the area of the tailings storage facility; 2) Evaporation from the surface of the liquid and solid phases of water; 3) Regulated discharge of the liquid phase into the river network; 4) Removal of the solid phase (solid non-standard sodium chloride with admixtures of clay and other components) outside the tailings storage facility.

Key words: tailings deposit, potash Stebnytske deposit, beneficiation technology, storage of beneficiation waste, assessment of the ecological state, analysis, forecast.

ЛАТЕРАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ СЕРЕДЬОГО ВМІСТУ ІЛЬМЕНІТУ В ПРОДУКТИВНИХ ВІДКЛАДАХ БУКІНСЬКОЇ ДІЛЯНКИ МЕЖИРІЧНОГО РОДОВИЩА ТИТАНОВИХ РУД

Любов Фігура, Мирон Ковальчук

*Інститут геологічних наук Національної академії наук України,
вул. Олесея Гончара, 55-б, Київ, Україна, 01601
e-mail: liuba_figura@ukr.net; kms1964@ukr.net*

У статті подано короткі відомості щодо геологічної будови й ільменітоносності різновікових і різногенетичних відкладів Букінської ділянки Межирічного родовища титанових руд, яке розташоване в межах Волинського мегаблоку, у центральній частині Коростенського плутону, у північно-східній частині Володарсько-Волинського масиву. Для дослідження рудоносності Букінської ділянки створено цільову базу даних, яка містить координати, опис і результати опробування 732 свердловин. З'ясовано, що основний рудоносний потенціал ільменіту Букінської ділянки міститься в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту й нижньокрейдових алювіальних відкладах (апт-альбських) іршанської світи, які виповнюють поховані річкові палеодолини та утворилися за рахунок розмиву й перевідкладення елювію. Породи мезозойського елювію та нижньокрейдового алювію становлять основний продуктивний пласт ділянки. З розмивом на корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту й алювіальних відкладах апту-альбу спорадично залягають верхньокрейдіві (турон) узбережно-морські відклади мошно-руднянської світи. За рахунок розмиву й часткового перевідкладення ільменітоносних елювіальних і нижньокрейдових алювіальних відкладів в узбережно-морських фаціальних умовах утворення мошно-руднянської світи також містять ільменіт у значній кількості. За допомогою бази даних досліджено структурні (абсолютні відмітки поверхні, підшови й товщину відкладів) і рудні (середній вміст ільменіту) параметри різновікових і різногенетичних ільменітовмісних відкладів (мезозой-кайнозойський елювій, флювіальні континентальні відклади іршанської світи, узбережно-морські відклади мошно-руднянської світи). Досліджено напрям і силу кореляційних зв'язків між вмістом ільменіту й вмістом ільменіту й товщиною в різновікових і різногенетичних відкладах.

На основі бази даних створено картографічні побудови, які відображають латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту для різних варіантів поєднання різновікових і різнофаціальних ільменітоносних утворень у складі продуктивного пласта. З огляду на просторово-парагенетичний характер поширення рудоносної кори вивітрювання, алювіальних, алювіально-делювіальних та узбережно-морських відкладів, середній вміст у цих утвореннях ільменіту, вважаємо за доцільне рекомендувати експлуатаційну розробку родовища здійснювати із залученням до продуктивного пласту різногенетичних відкладів цих трьох стратиграфічних рівнів. Отримані результати є інформаційною основою для оцінювання рудоносного потенціалу, інвестиційної привабливості Букінської ділянки й наукового супроводу видобувних робіт.

Ключові слова: Коростенський плутон, Межирічне родовище, Букінська ділянка, ільменіт, середній вміст, латеральний розподіл, продуктивні відклади.

Титанові руди належать до стратегічної мінеральної сировини, яка відіграє важливу роль як в економіці, так й обороноздатності України [7; 9]. Титан і його сплави застосовують в авіаційній і ракетній техніці, суднобудівній, машинобудівній, харчовій, медичній

промисловості й кольоровій металургії [4]. За ресурсами й запасами титану Україна входить до числа провідних країн світу, забезпечує понад 7% їх світового видобутку [4]. На 2021 рік обліковано 27 родовищ титану й понад 30 рудопроявів різного ступеня вивченості [4]. Країни, які володіють значними запасами титанових мінералів і сучасними технологіями їх обробітку, будуть займати провідні місця у світі за економічною та воєнною потужністю [1; 10]. Титанова підгалузь є єдиною в кольоровій металургії України, яка має практично повний виробничий цикл, що дало змогу державі зайняти провідне місце серед країн-виробників титанової губки, пігменту двоокису титану, титанових концентратів [7; 12]. Основою мінерально-сировинної бази титанових руд є корінні, елювіальні та розсіпні родовища. Нині розробляються лише розсіпні родовища титану, що становить близько 25% від усіх розвіданих запасів [4].

Серед районів, у яких зосереджено основні запаси високоякісних титанових руд, Волинський є найрозвіданішим і найзначущим. У межах Волинського району зосереджені ендегенні (апатит-ільменітові, апатит-ільменіт-титаномagnetитові), елювіальні (апатит-ільменітові, ільменітові) і розсіпні (цирконій-титанові з апатитом) родовища [2; 3].

Зважаючи на державну політику щодо залучення інвесторів, зокрема іноземних, до геологічного довивчення й розробки родовищ стратегічної мінеральної сировини, серед яких є й титанові, першочерговими об'єктами для інвестицій є вже відкриті та розвідані родовища, які сьогодні не розробляються й у межах яких продуктивні відклади просторо-во-парагенетично об'єднують різновікові та різногенетичні утворення [5].

Серед таких об'єктів є Межирічне родовище, яке розташоване в межах Волинського мегаблоку, у центральній частині Коростенського плутону, у північно-східній частині Володарсько-Волинського масиву. Родовище належить до розряду великих суттєво ільменітових і складається з декількох відокремлених ділянок, серед яких – Букінська, запаси якої перебувають у резерві. До 90% запасів ільменіту родовища знаходиться в легкозбагачуваних пісках апту-нижнього альбу (іршанська світа), а ільменіт придатний для виробництва титанової губки [8].

У зв'язку з цим інформація щодо рудоносності продуктивних відкладів цієї ділянки є актуальною й дає можливість привернути до себе увагу інвесторів.

Методико-методологічною основою досліджень були напрацювання відділу літології Інституту геологічних наук НАН України зі структурно-літологічного моделювання розсіпів важких мінералів, які апробовані на золотомісних, монацитових, ільменітових і циркон-ільменітових розсіпах Українського щита й оприлюднені на наукових конференціях різного рівня, у наукових статтях [5; 9] і колективних монографіях. Фактичним матеріалом для досліджень розсіпів Букінської ділянки були виробничі звіти М.І. Рубан (1959), Е.Ю. Дудрович, Ю.М. Мухіна, В.М. Трохименко (1978) [6; 8] і наукові публікації [11].

Для картографічного моделювання структури (гіпсометрії покрівлі та підшови рудоносних відкладів і їх товщини) та якісних показників (розподіл умісту ільменіту за латераллю й у вертикальному перетині свердловин) рудоносних порід створена цільова база даних, яка містить дані координат свердловин, їх опис, результати опробування 732 свердловин. Картографічні побудови здійснено з використанням ГІС-технологій у програмних забезпеченнях Inkscape, Golden Software Strater, Golden Software Surfer. Для побудови карт латерального розподілу ільменітоносності продуктивних відкладів використано середній уміст мінералу в свердловині. Кореляційні зв'язки між певними параметрами рудомісних відкладів досліджували в Microsoft Excel.

Підвищений уміст ільменіту в корі вивітрювання основних порід Волинського габро-анортозитового масиву й в алювії р. Ірші та її притоків встановлено в 1928–1938 рр. роботами Волинської експедиції Інституту прикладної мінералогії, геологічними партіями

Київського геолого-гідро-геодезичного тресту. У подальші роки підвищений уміст ільменіту в алювії долини р. Ірші поблизу села Старики встановили геологи Геологічної партії № 1 ГРЕ № 19 тресту «Союзспецрозвідка». Це стало основою для продовження пошуків ільменітових родовищ у межах цієї території та відкриття впродовж 1953–1958 рр. родовища титану в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту й у континентальних алювіальних відкладах осадового чохла, зокрема й Межирічного родовища (1954 р.). Розвідка й комплексне дослідження геологічної та геоморфологічної будови, рудоносності Межирічного родовища дали змогу геологам виокремити в його межах декілька ділянок: Осинову, Юрську, Середню, Емільвську, Букінську, Ісаківську, Південну, Рихтинську [11]. Упродовж 1976–1977 рр. у межах Букінської ділянки здійснено геологорозвідувальні роботи, наслідком яких став підрахунок запасів двоокису титану. Із 1995 р. на Межирічному родовищі триває експлуатаційне буріння. У 2015 р. отримано спеціальний дозвіл на користування надрами Межирічного родовища з метою видобування титанових руд для отримання ільменітового концентрату й піску. У 2017 р. здійснено повторне геолого-економічне оцінювання залишку всіх виявлених запасів корисних копалин на ділянках Середня, Емільвська, Юрська, Осинова та Букінська з розглядом і затвердженням їх Державною комісією України по запасах корисних копалин.

У 2018 р. здійснено повторне геолого-економічне оцінювання запасів Межирічного родовища титанових руд, подано загальну характеристику геологічної будови родовища, морфології рудних тіл, речовинного складу й технологічних властивостей руд за геолого-промисловими типами; окреслено технології збагачення руд і перспективи промислової переробки концентратів; охарактеризовано гідрогеологічні, інженерно-геологічні та гірничотехнічні умови розробки родовища; оцінено вплив розробки родовища на стан довкілля; висвітлено методику геологорозвідувальних робіт.

Через те що запаси Букінської ділянки перебувають у резерві, увага їй приділена незначна, незважаючи на значну розбуреність. Поза увагою Букінську ділянку залишили й науковці. У наукових виданнях Букінська ділянка частково охарактеризована в науковій праці «Титанові і титано-цирконієві розсипи» 1967 р.

Стаття покликає привернути увагу до Букінської ділянки, рудоносність якої представлена просторово-парагенетичними, різновіковими та різногенетичними осадовими утвореннями.

Мета статті – подання результатів латерального розподілу середнього вмісту ільменіту в різних варіантах поєднання ільменітоносних різновікових і різногенетичних відкладів у продуктивний пласт Букінської ділянки Межирічного родовища.

Букінська ділянка займає східний фланг Межирічного родовища й безпосередньо прилягає до північно-західної околиці села Буки (рис. 1). У геологічній будові Букінської ділянки беруть участь різні за віком і генезисом породи кристалічного фундаменту, їх кора вивітрювання, мезозойські (нижньокрейдіві континентальні та верхньокрейдіві узбережно-морські), палеогенові (морські та континентальні), неогенові й четвертинні континентальні відклади [6; 8].

Породи кристалічного фундаменту представлені утвореннями коростенського інтрузивного комплексу палеопротерозою; нестратифіковані утворення кристалічного фундаменту представлені здебільшого породами габро-анортозитового комплексу, серед яких домінують анортозити, габро-анортозити [3]. У породах кристалічного фундаменту ільменіт утворює нерівномірну вкрапленість.

На відміну від інших ділянок Межирічного родовища, у межах Букінської ділянки значні запаси ільменіту пов'язані з площевою мезозой-кайнозойською каоліновою корою вивітрювання порід кристалічного фундаменту, яка має вертикальну зональну будову.

У вертикальному перетині кора вивітрювання налічує три зони (знизу-вгору): перша – дезінтеграції й вилогування, друга – початкового гідролізу (гідрослюдиисто-каоолінітова, гідрослюдиисто-монтморилоніт-каоолінітова), третя – кінцевого гідролізу й окиснення продуктів вивітрювання (каоолінітова) [8; 11].

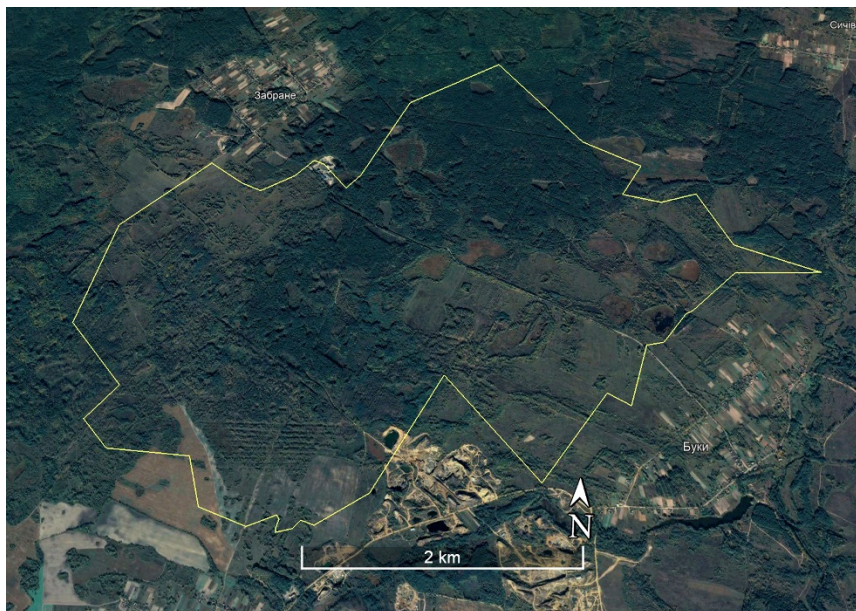


Рис. 1. Розташування Букінської ділянки на карті з порталу Google Earth Pro (контури ділянки подано в системі координат WGS-84)

Практично вся кора вивітрювання вміщує ільменіт у промислових концентраціях [8; 11]. Коливання вмісту ільменіту в корі вивітрювання зумовлені петрографічним складом кристалічних порід фундаменту, за рахунок яких утворився елювій. Максимальний уміст ільменіту в корі вивітрювання Букінської ділянки – 721,8 кг/м³. Рудні тіла в корі вивітрювання мають пластову морфологію, залягають горизонтально, субгоризонтально.

З розмивом на елювіальних утвореннях залягають нижньокрейдові (апт-нижній альб) алювіальні й алювіально-делювіальні відклади (іршанська світа), які виповнюють поховані ерозійні палеодолини в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту. Нижньокрейдові відклади складені пісками каооліністими кварцовими, рідше кварц-польовошпатовими, різно-крупнозернистими з гравієм і галькою кристалічних порід і флювіальними перевідкладеними піщанистими каоолінами з гравієм і незначною кількістю дрібної гальки. Подекуди трапляються верстви пісків кварцових, грубозернистих і гравійних. У розрізі піщані та глиністі породи перешаровуються між собою, утворюють одне в одному лінзи й прошарки або становлять розріз самостійно. Максимальний уміст ільменіту (кг/м³) в пісках – 1007,7; перевідкладених каоолінах – 558,2; в алювіально-делювіальних каоолінах – 685,5.

Вище за розрізом із розмивом на корі вивітрювання або відкладах іршанської світи залягають піщано-кременеві породи мошно-руднянської світи верхньої крейди, які утворилися за мілководних узбережно-морських умов [8]. Узбережно-морські відклади представлені кременевим горизонтом з окремими, значної товщини прошарками й лінзами пісковіку та скременілих вапняків, а також різнозернистими глауконіт-кварцовими пісками,

у нижній частині горизонту зазвичай каоліністими, які утворюють невеликі прошарки й вивопнюють вільний простір серед стяжінь кременю [8]. Верхня частина піщано-кремневого горизонту суттєво піщана. Уміст ільменіту до $527,8 \text{ кг/м}^3$.

Перекривають відклади мошно-руднянської світи глини вуглисті середнього еоцену, товщиною до 1,0 м, з умістом ільменіту до $8,2 \text{ кг/м}^3$, які змінюються за розрізом відкладами київської світи (глинами глауконітовими й пісками глауконітовими, глинистими) товщиною до 2,0 м і 5,0 м відповідно й відповідним умістом ільменіту $2,8 \text{ кг/м}^3$ і $9,7 \text{ кг/м}^3$ [8]. Над ними залягають підморенні (глини, суглинки, піски), моренні (суглинки, супіски) і надморенні (супіски, піски), відклади в яких максимальний уміст ільменіту встановлено в підморенних пісках ($28,7 \text{ кг/м}^3$) [8]. Завершують розріз четвертинні суглинки, супіски й піски з умістом ільменіту до $5,1 \text{ кг/м}^3$ [8].

Для дослідження рудоносності Букінської ділянки ми створили цільову базу даних, яка містить координати, опис і результати опробування 732 свердловин, що розкрили кору вивітрювання, нижньокрейдові відклади іршанської та верхньокрейдові відклади мошно-руднянської світи.

Використовуючи базу даних, дослідили структурні (абсолютні відмітки поверхні, подошви й товщину відкладів) і рудні (середній уміст ільменіту й латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту) параметри для різних варіантів поєднання рудоносних відкладів.

Побудовано низку картографічних візуалізацій, які демонструють сумарну товщину та латеральний розподіл сумарного середнього вмісту ільменіту для різних варіантів поєднання ільменітоносних різновікових і різногенетичних відкладів у складі продуктивного пласта (рис. 2–6).

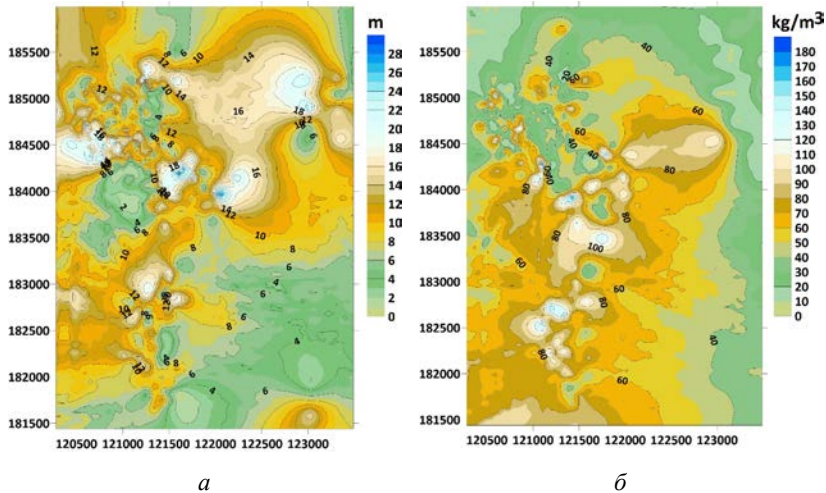


Рис. 2. Товщина (м) кори вивітрювання (а) та латеральний розподіл середнього вмісту (кг/м^3) ільменіту в елювії (б)

Латеральний розподіл товщини різновікових ільменітоносних відкладів нерівномірний, однак за різних їх поєднань у продуктивні зберігає загальну просторову тенденцію максимальної товщини в корі вивітрювання (див. рис. 2 а, 3 а, 4 а, 5 а, 6 а).

Ділянки поширення підвищених значень середнього вмісту ільменіту визначаються ділянками їх просторового поєднання в корі вивітрювання й у нижньокрейдових відкладах (див. рис. 2 б, 3 б, 4 б, 5 б, 6 б).

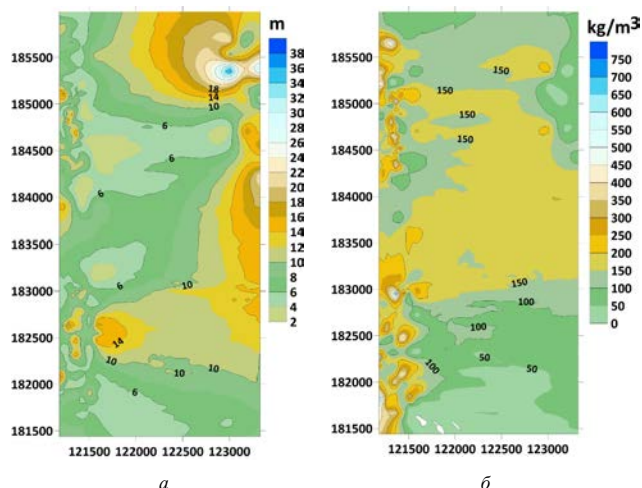


Рис. 3. Сумарна товщина (м) пісків і перевідкладених каолінів іршанської світи (а) та латеральний розподіл сумарного середнього вмісту (кг/м³) ільменіту в цих відкладах (б)

Максимальні значення латерального розподілу середнього вмісту ільменіту здебільшого просторово не збігаються з максимальними значеннями товщини відкладів (див. рис. 2, 3, 4, 5, 6).

З'ясовано, що абсолютні відмітки покрівлі й підшови відповідно: кори вивітрювання – 151,3–182,2 м і 127,09–180,1 м; перевідкладених каолінів – 158,6–186,5 м і 154,6–180,9 м; пісків – 161,5–187,1 м і 151,3–184,07 м; піщано-кремневих порід – 161,6–185,57 м і 157,6–184,57 м (рис. 2, 3, 4).

Товщина ільменітоносних відкладів така (м): кори вивітрювання – 0,5–38,05 (середнє значення – 10,34); перевідкладених каолінів – 0,3–19,0 (середнє значення – 4,29); пісків – 0,5–25,5 (середнє значення – 3,97); піщано-кремневих порід – 0,5–14,0 (середнє значення – 2,05).

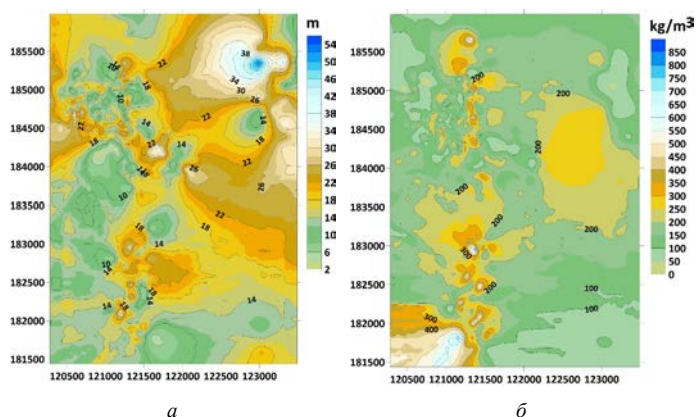


Рис. 4. Сумарна товщина (м) кори вивітрювання й пісків і перевідкладених каолінів іршанської світи (а) та латеральний розподіл сумарного середнього вмісту (кг/м³) ільменіту в цих відкладах (б)

Середній вміст ільменіту в породах такий (кг/м³): у корі вивітрювання – 1,05–403,65 (середнє значення – 54,2); у перевідкладених каолінах – 0,45–399,35 (середнє значення – 93,56); у пісках – 0,15–674,5 (середнє значення – 89,11); у піщано-кремєневих породах – 0,10–382,05 (середнє значення – 21,04).

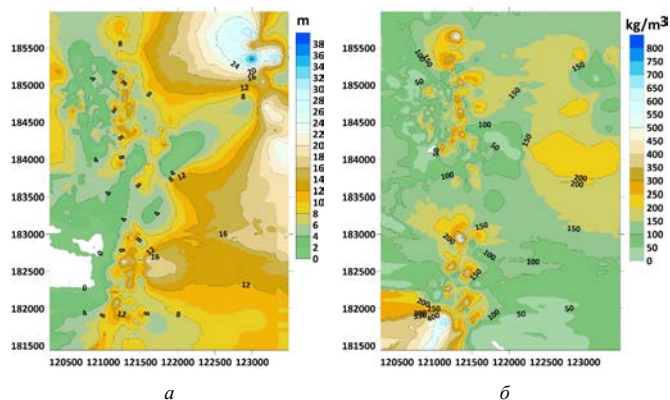


Рис. 5. Сумарна товщина (м) пісків і перевідкладених каолінів іршанської світи й піщано-кремєневого горизонту мошно-руднянської світи (а) та латеральний розподіл сумарного середнього вмісту (кг/м³) ільменіту в цих відкладах (б)

Сумарна товщина піщаних і глинистих відкладів іршанської світи становить 0,3–25,5 м (середнє значення – 5,24). Сумарний середній вміст ільменіту в піщаних і глинистих відкладах іршанської світи становить 1,0–912,47 кг/м³ (середнє значення – 114,82).

Сумарна товщина кори вивітрювання, піщаних, глинистих відкладів іршанської світи становить 0,50–49,05 м (середнє значення – 13,45). Сумарний середній вміст ільменіту в корі вивітрювання, піщаних і глинистих відкладах іршанської світи становить 3,20–998,88 кг/м³ (середнє значення – 127,24).

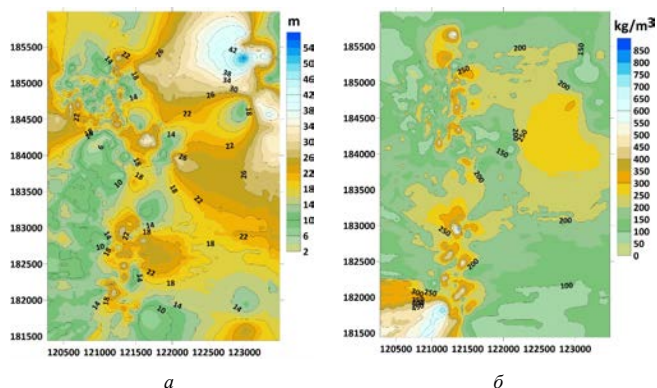


Рис. 6. Сумарна товщина (м) кори вивітрювання, пісків і перевідкладених каолінів іршанської світи й піщано-кремєневого горизонту мошно-руднянської світи (а) та латеральний розподіл сумарного середнього вмісту (кг/м³) ільменіту в цих відкладах (б)

Сумарна товщина піщаних і глинистих відкладів іршанської світи й піщано-кремєневого горизонту мошно-руднянської світи становить 0,3–97,2 м (середнє значення – 6,90).

Сумарний середній уміст ільменіту в піщаних і глинистих відкладах іршанської світи й піщано-кремневою горизонті мошно-руднянської світи становить 3,81–859,68 кг/м³ (середнє значення – 138,33).

Сумарна товщина кори вивітрювання, піщаних, глинистих відкладів іршанської світи й піщано-кремневою горизонту мошно-руднянської світи становить 0,5–56,7 м (середнє значення – 14,41). Сумарний середній уміст ільменіту в корі вивітрювання, піщаних і глинистих відкладах іршанської світи й піщано-кремневою горизонті мошно-руднянської світи становить 3,2–930,8 кг/м³ (середнє значення – 137,13).

За допомогою кореляційного аналізу досліджено кореляційні зв'язки та їх силу між товщиною і середнім умістом ільменіту у відкладах; між середнім умістом ільменіту в різновікових і різногенетичних відкладах, які між собою просторово-парагенетично пов'язані; між загальною товщиною різновікових відкладів, поєднаних у продуктивний пласт, і сумарним середнім умістом у них ільменіту.

Прямий дуже слабкий кореляційний зв'язок наявний лише між товщиною й середнім умістом ільменіту в перевідкладених каолінах іршанської світи (+ 0,13) і піщано-кремневою горизонті мошно-руднянської світи (+ 0,19); в інших випадках кореляція відсутня.

Кореляційний зв'язок між середнім умістом ільменіту: у корі вивітрювання й перевідкладених каолінах іршанської світи; у корі вивітрювання й пісках іршанської світи; у корі вивітрювання й піщано-кремневою горизонті мошно-руднянської світи; у перевідкладених каолінах іршанської світи й піщано-кремневою горизонті корі вивітрювання й перевідкладених каолінах іршанської світи; у пісках іршанської світи й піщано-кремневою горизонті мошно-руднянської світи в усіх комбінаціях відсутній. Лише між середнім умістом ільменіту в пісках і перевідкладених каолінах іршанської світи наявний прямий кореляційний зв'язок помірної сили (+ 0,44)

Прямий слабкий кореляційний зв'язок між загальною товщиною та сумарним середнім умістом ільменіту встановлено: у пісках і перевідкладених каолінах іршанської світи (+ 0,21); у корі вивітрювання й відкладах іршанської світи (+ 0,20); у корі вивітрювання й відкладах іршанської та мошно-руднянської світи (+ 0,28).

Отже, рудоносність Букінської ділянки Межирічного родовища представлена просторово-парагенетично пов'язаною рудною системою, яка складена титановмісними породами кристалічного фундаменту Володарськ-Волинського комплексу, їх корама вивітрювання, нижньокрейдовими континентальними (апт-нижній альб) продуктами розмиву й перевідкладення елювію (іршанська світа), верхньокрейдовими (турон) узбережно-морськими продуктами розмиву й перевідкладення (мошно-руднянська світа) кори вивітрювання кристалічних порід фундаменту й континентальних відкладів апту-нижнього альбу, а також різногенетичними відкладами кайнозою.

Практичний інтерес становлять елювіальні утворення та континентальні й узбережно-морські відклади мезозою. Їх сумарна товщина досягає 56,7 м (середнє значення – 14,41), а середній уміст ільменіту – 930,8 кг/м³ (середнє значення – 137,13).

Ільменітоносність кори вивітрювання є віддзеркаленням рудоносності материнських порід кристалічного фундаменту, натомість вертикальний і латеральний розподіл ільменіту у відкладах апту-нижнього альбу визначається фаціальними обстановками осадоагромадження й літологічним складом відкладів. Уміст ільменіту у відкладах мошно-руднянської світи турону зумовлений рудоносністю кори вивітрювання та відкладів іршанської світи й меншою мірою фаціальними обстановками їх утворення.

Зважаючи на різні чинники, що зумовлюють ільменітоносність різновікових і різногенетичних відкладів, які просторово-парагенетично пов'язані, і частковий розмив відкладів у ході геологічного розвитку території, кореляційні зв'язки між середнім умістом у них ільменіту

й середнім умістом ільменіту та товщиною переважно відсутні або дуже слабкі й слабкі. Виняток становлять одновікові алювіальні перевідкладені каоліни та піски іршанської світи, для яких між середнім умістом ільменіту наявний прямий кореляційний зв'язок помірної сили (+0,44).

З огляду на просторово-парагенетичний характер поширення рудоносною мезозойської кори вивітрювання, алювіальних, алювіально-делювіальних утворень нижньої крейди й узбережно-морських відкладів верхньої крейди, а також середній і загальний середній уміст у цих утвореннях ільменіту, вважаємо за доцільне рекомендувати в разі введення Букінської ділянки в експлуатацію видобуток ільменіту здійснювати із залученням до продуктивного пласту різногенетичних відкладів цих трьох стратиграфічних рівнів.

Цільова база даних, отримані результати й картографічні побудови, що візуалізують латеральний розподіл товщини та середнього вмісту ільменіту в ільменітоносних продуктивних відкладах, є інформаційною базою для наукового супроводу робіт із видобутку ільменіту в межах Букінської ділянки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Битва за титан. URL: <https://day.kyiv.ua/article/ekonomika/bytva-za-tytan> (дата звернення: 11.08.2023).
2. Головні геолого-промислові типи титанових і цирконієвих розсіпних родовищ України та умови їх утворення / Л.В. Бочай, Д.С. Гурський, Г.С. Веселовський та ін. *Мінеральні ресурси України*. Київ, 1998. № 3. С. 10–13.
3. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Аркуш М-35-XI (Коростень) / М.М. Костенко та ін. ; Мін-во екології та природ. ресурсів України, Північ. держ. регіон. геол. під-во «Північгеологія». Київ, 2001. 145 с.
4. Інвестиційний атлас надкористувача (стратегічні та критичні мінерали). URL: <https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/ukr/investicijnij-atlas-nadkoristuvacha-strategichni-ta-kritichni-minerali.pdf> (дата звернення: 11.08.2023).
5. Ковальчук М.С. Геолого-генетичні моделі рудоносних кір вивітрювання та продуктів їх розмиву і перевідкладення. *Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні* : збірник тез наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка (м. Київ, 14–16 травня 2019 р). Київ : НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка, 2019. Т. 2. С. 53–54.
6. Геологічна будова та корисні копалини басейну верхньої течії р. Уж : звіт геолого-господарського загону № 10 Житомирської КГРП і Правобережної геофізичної партії за 1991–99 рр. по геологічному довідченню масштабу 1:200000 території аркуша М-35-XI (Коростень) / М.М. Костенко та ін. Київ : Геоінформ, 1999.
7. Стратегічні мінеральні ресурси України: титан, скандій, нікель, кобальт / Г.В. Лисиченко, В.Г. Яценко, Г.О. Земсков та ін. Київ : Логос, 2012. 167 с.
8. Нестеренко Т. Повторна геолого-економічна оцінка запасів Межирічного родовища титанових руд (ділянки Середня, Емільська, Юрська, Осінова та Букинська) : звіт. Кривий Ріг, 2018.
9. Рудько Г.І., Бала Г.Р. Критична мінеральна сировина та її перспективи в Україні. *Мінеральні ресурси України*. Київ, 2021. № 2. С. 3–14. URL: <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14>.
10. Таранюк Л.М., Макаренко Т.Ю. Дослідження діяльності титанової галузі в системі формування євроінтеграційного розвитку економіки країни. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. Херсон, 2019. Вип. 34. С. 41–44. URL: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-34-8>.
11. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Рудоносність Осінової ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Геохімія та рудоутворення*. Київ, 2022. Вип. 43. С. 59–73. URL: <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059>.

12. Mineral Commodity Summaries 2020. Reston : U.S. *Geological Survey*, 2020. 204 p. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>.

REFERENCES

1. Bytva za tytan [Battle for Titan]. Retrieved from <https://day.kyiv.ua/article/ekonomika/bytva-za-tytan> (data zvernennia: 11.08.2023) [in Ukrainian].
2. Bochai L.V., Gurskyi D.S., Veselovskyi G.S. etc. (1998). Holovni geologo-promyslovi typy tytanovykh i tsvrkoniiievvykh rozsypanykh rodovyshch Ukrainy ta umovy yikh utvorennia [The main geological and industrial types of titanium and zirconium placer deposits of Ukraine and conditions of their formation]. *Mineralni resursy Ukrainy*. Kyiv. № 3. pp. 10–13 [in Ukrainian].
3. Kostenko, M.M. etc. (2001). Derzhavna geolohichna karta Ukrainy. Mashtab 1:200 000. Arkush M-35-XI (Korosten) [State geological map of Ukraine. Scale 1:200 000. Sheet M-35-XI (Korosten)]. Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy, Pivnichne derzhavne rehionalne heolichne pidpriemstvo «Pivnichheolohiia». Kyiv. 145 p. [in Ukrainian].
4. Investytsiinyi atlas nadrokorystuvacha (stratychni ta krytychni mineraly) [Investment atlas of the subsurface user (strategic and critical minerals)]. Retrieved from <https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/ukr/investicijnij-atlas-nadrokorystuvacha-stratychni-ta-krytychni-minerali.pdf> (accessed: 08/11/2023) [in Ukrainian].
5. Kovalchuk, M.S. (2019). Geoloho-genetychni modeli rudonosnykh kir vyvitriuvannia ta produktiv yikh rozmyvu i perevidkladennia [Geological and genetic models of weathering of ore-bearing crusts and products of their erosion and redeposition]. Zdobutky i perspektyvy rozvytku geolohichnoi nauky v Ukraini: zbirnyk tez naukovoi konferentsii, prysviachenoj 50-ricchju Instytutu geokhimii, mineralohii ta rudoutvorennia imeni M.P. Semenena (m. Kyiv, 14–16 travnia 2019 r.). Kyiv: NAN Ukrainy, In-t geokhimii, mineralohii ta rudoutvorennia im. M.P. Semenena. T. 2. pp. 53–54 [in Ukrainian].
6. Kostenko M.M. etc. (1999). Geolohichna budova ta korysni kopalyny baseinu verkhnoi techii r. Uzh [Geological structure and minerals of the basin of the upper reaches of the Uzh River]. Zvit geologoziomnoho zagonu № 10 Zhytomyrskoi KGRP i Pravoberezhnoi geofizychnoi partii za 1991–99 rr. po geolohichnomu dovyvchenniu masshtabu 1:200000 terytorii arkusha M-35- XI (Korosten). Kyiv: Geoinform [in Ukrainian].
7. Lysychenko G.V., Yatsenko V.G., Zemskov G.O. etc. (2012). Stratychni mineralni resursy Ukrainy: tytan, skandii, nikel, kobalt [Strategic mineral resources of Ukraine: titanium, scandium, nickel, cobalt.]. Kyiv: Lohos. 167 p. [in Ukrainian].
8. Nesterenko T. (2018). Zvit «Povtorna heoloho-ekonomichna otsinka zapasiv Mezhyrichnoho rodovyshcha tytanovykh rud (dilianky Serednia, Emilivska, Yurska, Osynova ta Bukinska)» [Repeated geological and economic assessment of reserves of the Mezhyrichne deposit of titanium ores (Serednia, Emilivska, Yurska, Osynova and Bukinska areas)]. Kryvyi Rih [in Ukrainian].
9. Rudko G.I., Bala H.R. (2021). Krytychna mineralna syrovyna ta yii perspektyvy v Ukraini [Critical mineral raw materials and their prospects in Ukraine]. *Mineralni resursy Ukrainy*. Kyiv. № 2. pp. 3–14. <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14> [in Ukrainian].
10. Taraniuk, L.M., Makarenko, T.Yu. (2019). Doslidzhennia diialnosti tytanovoi haluzi v systemi formuvannia yevrointehratsiinoho rozvytku ekonomiky krainy [Study of the activity of the titanium industry in the system of formation of the European integration development of the country's economy]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriya Ekonomichni nauky*. Kherson. Vyp. 34. pp. 41–44. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-34-8> [in Ukrainian].
11. Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2022). Rudonosnist Osynovoi dilianky Mezhyrichnoho rodovyshcha tytanovykh rud [Ore-bearing capacity of the Osynova ares of the Mezhyrichne

deposit of titanium ores]. *Geokhimiia ta rudoutvorennia*. Kyiv. Vyp. 43. pp. 59–73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059> [in Ukrainian].

12. Mineral Commodity Summaries 2020. Reston : U.S. *Geological Survey*. 204 p. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf/>

LATERAL DISTRIBUTION OF THE AVERAGE CONTENT OF ILMENITE IN THE PRODUCTIVE SEDIMENTS OF THE BUKINSKA AREA OF THE MEZHRYCHNE TITANIUM ORE DEPOSIT

Liubov Fihura, Myron Kovalchuk

*Institute of Geological Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine,
O. Gonchar Str., 55b, Kyiv, Ukraine, 01601
e-mail: liuba_figura@ukr.net; kms1964@ukr.net*

Brief information on the geological structure and ilmenite content of the Bukinska area of the Mezhyrichne deposit of titanium ores, which is located within the Volyn megablock, in the central part of the Korosten pluton, in the northeastern part of the Volodar-Volynsk massif, is presented. A target database containing the coordinates, description and test results of 732 wells has been created to study the ore potential of the Bukinska area. It was found that the main ore-bearing potential of the ilmenite of the Bukinska area is contained in the weathering crust of the crystalline rocks of the foundation and the Lower Cretaceous alluvial deposits (Aptian-lower Albian) of the Irshanska suite, which fill the buried river paleovalleys and were formed due to erosion and redeposition of eluvium. Mesozoic alluvium and Lower Cretaceous alluvium make up the main productive layer of the area. With erosion, the Upper Cretaceous (Turonian) coastal-marine deposits of the Moshno-Rudnyanska suite are sporadically deposited on the weathering crust of the crystalline rocks of the basement and alluvial deposits of the Aptian-lower Albian. Due to the erosion and partial redeposition of ilmenite-bearing eluvial and Lower Cretaceous alluvial deposits, in coastal-marine facies conditions, the formation of the Moshno-Rudnyanska suite also contains ilmenite in significant quantities. Using the database, the structural (absolute marks of top and bottom surface, and thickness of deposits) and ore (average ilmenite content) parameters of ilmenite-bearing deposits of different ages and genetics (Mesozoic-Cenozoic eluvium, fluvial continental deposits of the Irshanska suite, coastal-marine deposits of the Moshno-Rudnyanska suite) were investigated. The direction and strength of the correlations between the ilmenite content and the ilmenite content and thickness in sediments of different ages and genetics were investigated. On the basis of the database, cartographic constructions were created that reflect the lateral distribution of the average ilmenite content for various options for combining ilmenite-bearing formations of different ages and different facies in the composition of the productive layer. Taking into account the spatial and paragenetic nature of the distribution of the ore-bearing crust of weathering, alluvial, alluvial-deluvial and coastal-marine deposits, the average content of ilmenite in these formations, we consider it reasonable to recommend that the operational development of the deposit be carried out with the involvement of various genetic deposits of these three stratigraphic levels in the productive layer. The obtained results are the information basis for the assessment of the ore-bearing potential and investment attractiveness of the Bukinska area and scientific support of mining operations.

Key words: Korostenky pluton, Mezhyrichne deposit, Bukinska area, ilmenite, average content, lateral distribution, productive deposits.

МЕТОДИ ПОБУДОВИ 3D МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГІЧНИХ ТІЛ (НА ПРИКЛАДІ РОДОВИЩА САУЛЯК, ЗАКАРПАТТЯ)

Ігор Бубняк¹, Сергій Ціхонь², Тетяна Ціхонь²,
Уляна Луцак², Микола Бігун¹

¹Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013
e-mail: ibubniak@yahoo.com

²Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: serhii.tsikhon@lnu.edu.ua

Автори досліджують застосування сучасних комп'ютерних програм, які дають змогу ефективно опрацьовувати просторові й атрибутивні дані, що забезпечують аналіз і прогнозування рудних тіл на новому якісному рівні. У роботі аналізуються теоретичні й практичні аспекти 3D моделювання, зокрема використання програмних пакетів ArcGIS і Move для побудови геологічних карт, розрізів і тривимірних моделей. Особлива увага приділяється практичним аспектам створення цифрових геологічних карт, а також методам візуалізації та аналізу геоданих. Крім того, стаття містить інформацію про різні етапи створення 3D моделей, від первинного збору даних до їхньої обробки й інтерпретації. Значна увага приділяється організації та аналізу баз даних у програмах ArcGIS і Move, а також їхньому використанню для побудови комплексних 3D моделей. Авторі підкреслюють важливість 3D моделювання в геології, особливо в контексті побудови тривимірних цифрових геологічних моделей, які можна використовувати для оцінювання запасів і перспективності родовищ. Робота підкреслює важливість інтеграції та аналізу різноманітних даних у геологічних дослідженнях і робить цінний внесок у розвиток методів 3D моделювання в геологічній науці. Для відображення практичних аспектів зі створення 3D моделей геологічних тіл обрали золоторудне родовище Сауляк, яке добре вивчено за допомогою підземних гірничих виробок. Побудовано модель родовища Сауляк у тривимірному просторі з розташуванням відповідних штольневих горизонтів. В ArcCatalog створено базу даних мінералів, мінеральних асоціацій родовища, установлених на рівні штолень № 1 і № 2. У результаті отримано тривимірні моделі рудних тіл родовища Сауляк, які можуть бути використані для візуалізації геологічної будови, підрахунку запасів, оцінювання перспективності глибоких горизонтів і флангів родовища.

Ключові слова: ArcGIS, ArcGeology1, програма Move, рудне тіло, родовище Сауляк.

Застосування сучасних комп'ютерних програм дає змогу ефективно опрацьовувати й подавати в доступній формі просторові (орієнтація рудних тіл, підземних гірничих виробок, розривних порушень тощо) та атрибутивні (наприклад, уміст золота, мінеральні асоціації, елементи залягання рудних тіл тощо) дані. Це дає змогу проаналізувати фактичний матеріал, прогнозувати нові рудні тіла й перспективні ділянки на якісно новому рівні.

Мета роботи – продемонструвати використання новітніх технологій під час вирішення геологічних завдань, а саме побудови 3D моделей геологічних об'єктів.

Головне завдання – побудувати 3D модель родовища Сауляк, використовуючи нові підходи й відповідне програмне забезпечення.

Як приклад ми обрали родовище Сауляк, яке розташоване в Рахівському рудному районі Закарпаття на північно-західній околиці с. Ділове. Родовище Сауляк уже понад 40 років є об'єктом активних геолого-мінералогічних досліджень. Попередніми дослідниками: проф. О.І. Матковський [2; 3], О.О. Нечепуренко [4], проф. І.В. Попівняко [1; 5], доц. В.Б. Степанов [2], доц. С.І. Ціхонь [1; 6] та інші – здійснили великий обсяг геологічних, тектонічних і мінерало-геохімічних досліджень, які опубліковані в десятках праць. Родовище належить до Мармароського кристалічного масиву, що складається з комплексу метаморфічних порід. Нижні товщі масиву метаморфізовані в умовах епідот-амфіболітової фації (білопотіцька світа), а верхні – в умовах кварц-епідот-амфіболітової та кварц-альбіт-мусковіт-хлоритової субфації фації зелених сланців (брдецьельська, діловецька, мегурська світи). У межах родовища зафіксовані давні відклади фундаменту (гнейси, двослюдяні сланці білопотіцької світи, PR2bp) і чохла (теригенно-карбонатні й карбонатні відклади довгорунської світи J3dv). Рудні тіла виявлено в породах брдецьельської світи [2; 3; 4].

За допомогою сучасних комп'ютерних програм можливо комплексне опрацювання наявного фактичного матеріалу.

Теоретичні аспекти 3D моделювання

Для побудови тривимірних моделей родовищ корисних копалин використовують різні програмні пакети.

У статті розглянуто дві програми ArcGis і Move з її модулями. ArcGis (ArcCatalog та ArcMap) використовували для побудови геологічної карти, розрізів, а Move – для побудови тривимірних моделей рудних тіл родовища Сауляк. ArcGIS дає змогу візуалізувати (представити у вигляді цифрової карти) великі обсяги статистичної інформації, що має географічну прив'язку. У середовищі створюються й редагуються карти всіх масштабів: від планів земельних ділянок до карт світу. Також у ArcGIS убудований широкий інструментарій аналізу просторової інформації. ArcGIS розглядає специфічні набори сіток даних, класи елементів разом з атрибутами елементів, підтипи та домени, придатні для різноманітних геологічних карт. Крім геології (літологія, контакти, підтипи тощо) карти можуть включати перешарування й метаморфічні зміни, геологічні перетини й умовні позначення, наприклад, кореляційні колонки. Дизайн бази геоданих також можна використати й для польових робіт за допомогою програми ArcPad6.

Геологічні карти – це складні набори базових топографічних фактів, польових спостережень і суб'єктивної інтерпретації, вони є серед найскладніших картографічних продуктів. Широка автоматизація в науках про Землю, включаючи використання ГІС технологій, дає можливість здійснювати збір геологічних знань у вигляді карта-база даних. Крім картографічного зображення, такі карти-бази даних надають більшу багатогранність та аналітичні здатності, ніж це можливо з традиційними паперовими картами.

Грунтуючись на програмному продукті ESRI ArcGIS, американські дослідники розробили модуль ArcGeology (<http://www.usgs.gov/pubprod/maps.html>), який пропонує новий підхід під час створення *геологічної карти-бази даних (ГКБД)* і її використання. AG1 містить модель *геобаз* даних і супроводжувальні операційні процедури, що переважно стосуються просторових аспектів ГКБД [7].

Гармонізація різних ГКБД є необхідною для побудови цифрових геологічних карт даних, призначених для загального використання, особливо не геологами. Відповідно, AG1 використовує мінімалістичний підхід, зосереджений на просторових об'єктах карти, маючи на меті створення гармонії з використанням 1) спрощення та генералізації просторових класів елементів із застосуванням підтипів і доменів для необхідного опису й картографії та 2) відкладаючи селекцію/стандартизацію розширених атрибутів елементів до дискусії геологічної спільноти, яка вже почалася. Тобто AG1 буде розвиватися до AG2, AG3 за участі й підтримки геологічної картоуючої спільноти.

AG1 використовує ArcMap 9.1, ArcCatalog 9.1 і їх інструменти без потреби додаткового програмного забезпечення. Крім цього, AG1 функціонує з ArcPad 6 для польового картування (<http://www.usgs.gov/pubprod/maps.html>).

Тепер розглянемо *структуру геобаз даних* в ArcGeology1, *операційні концепції та метадані*.

Бази геоданих

На традиційній геологічній карті показано: головна просторова фігура – власне «карта», умовні позначення, один або декілька геологічних розрізів. Можуть бути також таблиці або графіки, координатні сітки, масштаби, підписи, логотипи тощо. Загальне оформлення може змінюватися від карти до карти. В ArcGeology1 зосередимо свою увагу на основній карті, легенді (умовних позначеннях), геологічних перетинах, кожний із яких розглядається паралельно зі своєю структурою [8]. У подальшому опис ГКБД здійснюється на підставі цієї роботи, включаючи таблиці.

База геоданих в ArcGeology1 організована в *набори даних елементів* (feature datasets), що відповідають трьом головним елементам, плюс четвертому перехресному для основи. **Геологія (Geology)** – займає основний зміст карти: полігони геологічних «одиниць» обмежені контактами (граніцями), розломами й іншими «структурними» лініями на картувальних горизонтах, плюс різноманіття «станцій» точкових даних. В AG1 *полігони розглядаються як похідні елементи*, побудовані за потребою з ліній і точок, із використанням **Feature to Polygon**. Такий підхід дає можливість досягти топологічних співвідношень, необхідних для геологічних карт, і допомагає під час редагування та копіювання карт.

Умовні позначення (LegendGraphic) – уміщує спеціальні діаграми, що пояснюють співвідношення на карті, яке відрізняється від колонкової легенди, що створюється безпосередньо в ArcMap. Прототипом умовного позначення є кореляційна діаграма, яка показує часові та просторові співвідношення геологічних одиниць, це також може бути включено в блок-діаграму самих одиниць, визначаючи співвідношення між фаціями й інтрузіями тощо.

Перетини (CrossSection\$) (де \$ – проста велика літера) – містить вертикальний геологічний профіль, розташований уздовж лінії перетину на основній геологічній карті. Кожний геологічний профіль створений як окрема геологічна карта в тій самій системі координат, що й геологічна карта, навіть якщо карта нарисована з двох наборів даних, що не є компланарними. Перетини можуть бути нарисовані на карті або вмонтовані в окремий фрейм (рамку) даних.

Основа (Basemap) – тут знаходяться векторні дані (горизонталі, контури озер, ріки, основні дороги тощо). Точкові дані, такі як тіки-координати (необхідні для фіксації розташування карти), можна отримати з простого текстового файлу.

ArcMap також можна використати для рисування інших точкових, лінійних і полігональних елементів.

Фотографії та растрові зображення не можуть бути включені в набори даних для елементів в ArcGis 9.1; вони зберігаються в папці, яка непрямо зв'язана з базою геоданих. Тим не менше ці зображення та растри можуть мати таку саму проекцію, як і базова карта.

У кожному наборі даних, крім базової (основи), три або чотири класи даних можуть існувати. Для набору даних «Геологія» є три основні класи – GeoFrame, що визначає обмеження досліджуваного району; GeoLines представляє всі лінійні елементи (контакти, розломи); GeoPolys відображає геологічні полігональні елементи (породи, перешарування), побудовані з GeoFrame та GeoLines. GeoPoints, є небов'язковим класом елементів, позаяк GeoLines уже вміщує всі геологічні «точкові дані» (точки спостереження, структурні заміри, місця відбору зразків). Паралельні класи даних із тими ж атрибутами належать до LegendGraphic і CrossSection\$ (таблиця 1).

Таблиця 1

Набори даних і класи елементів, використані в роботі [8]

	Класи об'єктів			
	Площинні дані (обов'язкові)	Лінійні дані (обов'язкові)	Точкові дані (додаткові)	Геологічні одиниці (похідні)
Geology Геологія	GeoFrame	GeoLines	GeoPoints	GeoPolys
LegendGraphic Умовні позначення	LGFrame (opt.)	LGLines	LGPoints	LGPOLYS
CrossSection\$ Геологічні перетини	Xs\$Frame	Xs\$Lines	Xs\$Points	Xs\$Polys

Для кожного класу даних, окрім «Frame», існує група, що вміщує до 7 базових (основних) атрибутів. Ці атрибути подано в таблиці 2 стосовно набору даних Geology, у таблиці 3 показано приклади їх використання. Перші п'ять стосуються символізації елементів на карті.

Таблиця 2

Типові атрибути для класів даних [8]

Атрибут	Опис
Kind Вид (кодований текст, домен)	Найвищої категорії геологічні елементи, наприклад, порода, перешаровування, метаморфізм тощо. Декілька геологічних видів можуть бути представлені як GeoLines, так GeoPolys. Нові види можуть бути визначені й додані до головного домену за необхідності без створення додаткових класів даних.
Type Тип (кодований текст, підтип селектор)	Підкатегорія елементів, наприклад, одиниця, контакт, розлом, позиція вимірювання. Подібно до виду, типи можуть бути встановлені під час редагування головного списку підтипів, якщо необхідно. Якщо цей атрибут не використовується, список підтипів включає NA
Style Стиль (кодований текст, домен згідно Типу)	Більш визначене поняття для елемента в його типі, наприклад, звичайний контакт, скид перекритий, седиментаційне нашарування. Поняття стилу підтримується в головному домені, подібно до виду; крім того, це поняття також взаємодіє за допомогою ESRI Style Manager зі стандартними символами, які повинні поновлюватися водночас
Symbol Символ (текст, максимальна к-сть знаків – 10)	Мнемонічне зображення для картографічного представлення окремих елементів, особливо геологічна одиниця кодується для GeoPolys. Такі коди зазвичай не керуються Style, тому що вони змінюються в кожному проекті, на відміну від звичних стандартних Style для GeoLines і GeoPoints. Symbols можна використовувати й для інших класів елементів
Symval (Floating-Pt)	Числове значення стосовно картографічних деталей або контролю, наприклад, номер польових зразків, значення простягання тощо
ItemID (Long Int)	Лінк до додаткових табличних даних, що стосується елемента (рис.), який використовується під час аналізу та символізації.
Selected (Boolean)	Постійний контроль (True/False) під час вибору окремих елементів і їх участі в різних операціях, особливо побудові полігонів

У підсумку **Kind**, **Type**, **Style** є ретельно контрольованими полями, створеними через домени та підтипи ArcGis. Ці поля кодують систему організації знань (відомостей) knowledge organization system (KOS) модуля ArcGeology1 для бази геоданих геологічної карти загалом і повинні визначатися дуже ретельно. У деяких випадках ці три поля функціонують ієрархічно, а в інших незалежно. Зауважте, що показано лише декілька прикладів (таблиця 3).

Таблиця 3

Приклади атрибутів виду, типу та стилю [8]

Kind	Type		Type		Type (Deleted after construction)	
	Style		Style		Style (Deleted as above)	
	"Symbol", Symval		"Symbol", Symval		"Symbol", Symval	
	GeoPoints		GeoLines		GeoPolys	
Rock	Label		Contact		0	
	N/A		Contact-Certain		0	
	"Kd"		Contact-Approximate		"Kd"	
	"Jg"		Fault		"Jg"	
	Station		Normal Fault-Certain			
	Attitude		Thrust Fault-Buried			
	"N45E", 60		Rock			
Fossil		Dike				
"#2006-01"		"Td"				
RadioAge		Fold				
"2.1 mA", 2.1		Anticline				
		">10 mA", 10				
Alter	Label		Contact		0	
	N/A		Contact-Inferred		0	
	"argillic"		Fault		"argillic"	
	"potassic"		Fault-Inferred		"potassic"	

Текст показаний у подвійних лапках для зрозумілості; ці лапки не включені в базу даних. Полям типу та стилю в GeoPolys (із GeoPoints) присвоюється значення 0, що легко знищується.

На відміну від вище описаного, Symbol, Symval, ItemID не обмежуються полями XXX, надаючи картографічні й описові деталі для окремих елементів за потребою. В ArcGeology1 з'єднання між елементами (об'єктами) і табличними даними здійснюється за допомогою поля з'єднань ItemID, залишаючи просторові й табличні аспекти вільними (рис. 1). Два ряди класів зв'язування включені: перший, просторовий, об'єктний лінк «in» до центрального Item таблиці, представлено в усіх базах геоданих модуля ArcGeology1.

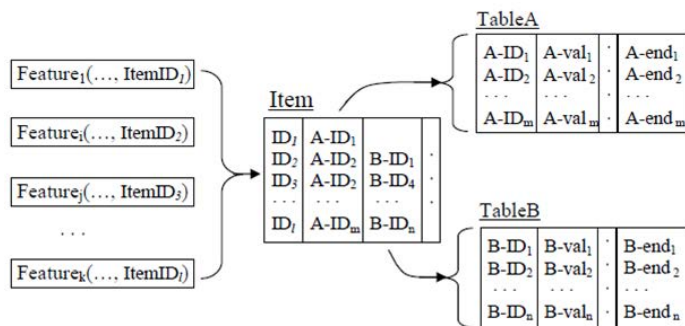


Рис. 1. Взаємне з'єднання між об'єктами й атрибутивними таблицями [8]

Двоступеневий підхід до об'єднання атрибутів надає велику гнучкість як у створенні описових таблиць (включаючи ключову структуру), так і в часові співвідношення (застосовуючи постійність категоризації). Кожний просторовий об'єкт з'єднаний через простий рядок у записі таблиці до будь-якої кількості описових таблиць, які можуть бути організовані в різній формі. Якщо декілька об'єктів належать до одного й того самого рядку запису, тоді з'являється груповий запис. На додаток під час повторення колонок у записі таблиці окремий об'єкт буде мати як індивідуальний, так і груповий опис (рис. 2).

```

Geology
GeoFrame (OID, Shape, Symbol, ItemID, Shape_Length, Shape_Area)
GeoPoints (OID, Shape, Kind, Type→, Style, Symbol, Symval, ItemID, Selected)
GeoLines (OID, Shape, Kind, Type→, Style, Symbol, Symval, ItemID, Selected, Shape_Length)
GeoPolys (OID, Shape, Kind, Symbol, Symval, ItemID, Shape_Length, Shape_Area) †

LegendGraphic
LGFrame (OID, Shape, Symbol, ItemID, Shape_Length, Shape_Area)
LGPoints (OID, Shape, Kind, Symbol, ItemID)
LGLines (OID, Shape, Kind, Symbol, ItemID, Shape_Length)
LGPolys (OID, Shape, Kind, Symbol, Symval, ItemID, Shape_Length, Shape_Area) †

CrossSectionA
XsAFrame (OID, Shape, Symbol, ItemID, Shape_Length, Shape_Area)
XsAPoints (OID, Shape, Kind, Type→, Style, Symbol, Symval, ItemID, Selected)
XsALines (OID, Shape, Kind, Type→, Style, Symbol, Symval, ItemID, Selected, Shape_Length)
XsAPolys (OID, Shape, Kind, Symbol, Symval, ItemID, Shape_Length, Shape_Area) †

CrossSectionB, etc.
XsBFrame (OID, Shape, Symbol, ItemID, Shape_Length, Shape_Area)
etc.

Basemap (No required contents. Convenient storage place for framework datasets.)
TicMarks (OID, Shape, Label)
StudyArea (OID, Shape, Symbol, ItemID)
topoquad-DLG
etc.
topoquad-DRG
imagery

```

Рис. 2. Схема просторових об'єктів [8]

Концепції операцій

На початку нового картувального проекту повинні бути створені база геоданих і карта. Схема бази геоданих програми ArcGeology1 під назвою ArcGeology1.xml використовують для заповнення порожньої бази геоданих нового проекту. Імпортуванням цієї схеми створюються всі набори даних для об'єктів, класи об'єктів і пов'язані з ними таблиці разом зі співвідношеннями класів серед них, заповнюються домени в програмі ArcGeology1. Водночас програма створює метадані для наборів даних для об'єктів і класи об'єктів створюються. Незважаючи на те що ця карта-база даних ще порожня, вона є повністю функціональною після того, як визначена система координат для наборів даних.

Супроводжуючий програму ArcGeology1 Документ (схематично показаний на рис. 2), що супроводжує програму ArcGeology1, створений із шаблону **ArcGeology1.mxt**, включає спеціальний стиль карти, стиль Геологічної служби США, а також стандартне розміщення шарів карти у вікні перегляду даних. Файли ієрархічних шарів (.lyr) також представлені для зручності: **geology.lyr** для даних фрейму геологічної карти й **LegendGraphic.lyr**

для фрейму умовних позначень. Спочатку з'являється геологічний перетин А на геологічній карті, накладений на рисунок основної карти, а потім це копіюється в окремий фрейм. Файл **CrossSection.lyr** також додається для зручності.

Організація показаних шарів – це один із можливих варіантів, що підтримує шаблон **ArcGeology1.mxt**. Сьогодні організація карти й картографія не є головним аспектом в AGI; але в майбутньому стандартизація також буде застосована як для спрощення створення програмних інструментів, так і для кращого розуміння карт неспеціалістами.

Зміст карти-бази геоданих в AGI монтується (створюється) за результатами польових робіт і/або за допомогою вже наявних паперових карт. У кожному випадку полігональні об'єкти карти (наприклад, GeoPlys) створюються з інших об'єктів (GeoFrame, GeoLines і додатково GeoPoints), використовуючи інструмент **Feature to Polygon** в ArcGis. За винятком GeoFrame (і паралельно класів об'єктів для інших наборів даних), форму полігонів неможливо редагувати в AGI.

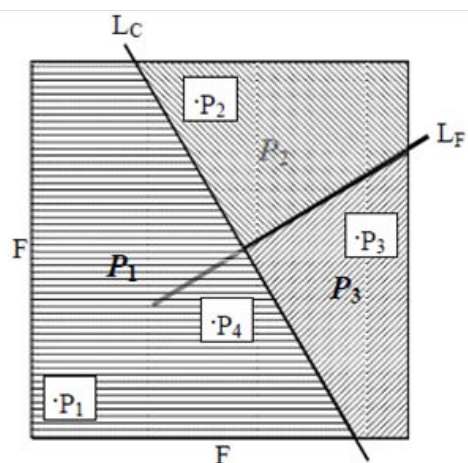


Рис. 3. Побудова полігонів із ліній і точок [8]

На рисунку 3 показано схематично побудову полігонів. GeoLines (L_x) і додатково GeoPoints (P_n) нарисовані, оцифровані або отримані іншим шляхом у GeoFrame (F). Комбінуючи ці елементи, інструмент програми ArcGis **Feature to Polygon** буде (створює) GeoPolys (P_n). Усі атрибути GeoPoints, включаючи запис з'єднання, автоматично копіюються до результуючого GeoPolys. Після того як створені GeoPolys, вони також можуть брати участь у створенні інших елементів. Побудова геологічної карти з тисяч ліній і точок займає декілька секунд.

Рутинна реконструкція GeoPolys особливо вигідна для польового картування, за якого границі геологічної карти з'являються протягом дня або тижня. У таких випадках можна зосередити увагу на окремих наборах об'єктів, що можуть бути швидко виділені. Вибраний атрибут у GeoLines і GeoPoints продовжує контроль вибору на рівні окремого об'єкта для цих цілей.

Як показано в таблиці 2, GeoPolys, GeoLines, GeoPoints є класами об'єктів, що можуть уміщувати багатократні види геології, а саме: породи, перешаровування, метаморфічні зміни тощо. Види розділяються в разі потреби із застосуванням **Definition Querys** ArcMap, що знаходиться у властивості шарів (layer Properties), даючи змогу полігональним об'єктам усіх видів зберігатися разом у GeoPolys.

Через те що семантику GeoLines і GeoPoints контролюють фіксовані домени й під-типи, побудова GeoPolys є простою. Тим не менше геолог стоїть перед різними виборами під час побудови карт. Деякі лінії (наприклад, контакти й наскрізні розломи) перетинають полігони, а інші (осі складок, розломи, що затухають) – не перетинають. Упевненість у типі й описі, навіть деколи в існуванні викликають питання. Багатократні підписи можуть з'явитися на великих полігонах (наприклад, P_1 і P_4 на рис. 3), навпаки, та ж точка підпису може бути присвоєна початковим полігонам. Інструмент **Feature to Polygon** автоматично вибирає перший підпис для атрибутів GeoPoly.

Метадані

Метадані в програмі AG1 для карти-бази геоданих організовані та зберігаються власне в базі геоданих, відображаючи загальну структуру трьох основних рівнів: бази геоданих (рівень проєкту), наборів даних для об'єктів (тематичний рівень), класів об'єктів (рівень об'єктів). Лише базові метадані створені на рівні бази геоданих, працюючи детальніше на рівні наборів даних і класів об'єктів.

Побудова 3D моделей родовища Сауляк

Для практичної реалізації побудови електронної геологічної карти після розробки структури бази геоданих необхідно здійснити низку операцій. Насамперед необхідно створити базу (топографічну) карту досліджуваного району – вибрати обмеження, і нанести всі необхідні топографічні елементи (рис. 4). Ці елементи включають населені пункти, ріки тощо. Обмеження (рамка) базової карти буде слугувати також для вирізування інших даних під час створення геологічної карти й моделей.

В ArcCatalog створюємо полігональний шейпфайл, що визначає обмеження досліджуваного району, присвоюючи йому відповідну систему координат. Цей полігональний шейпфайл надалі буде перетворений у лінійний під час побудови геологічної карти. У цьому самому фреймі створюємо низку лінійних шейпфайлів, що відображатимуть такі елементи (features) геологічної карти: насуви, розломи, геологічні межі й деякі інші елементи (рис. 5). Для присвоєння системи координат використовуємо команду **Import**. При цьому імпортуємо дані системи координат з уже створеної базової карти.

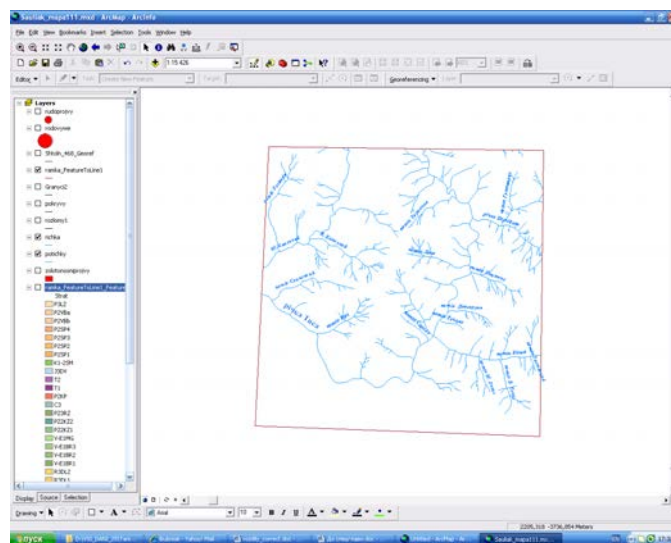


Рис. 4. Базова карта для побудов

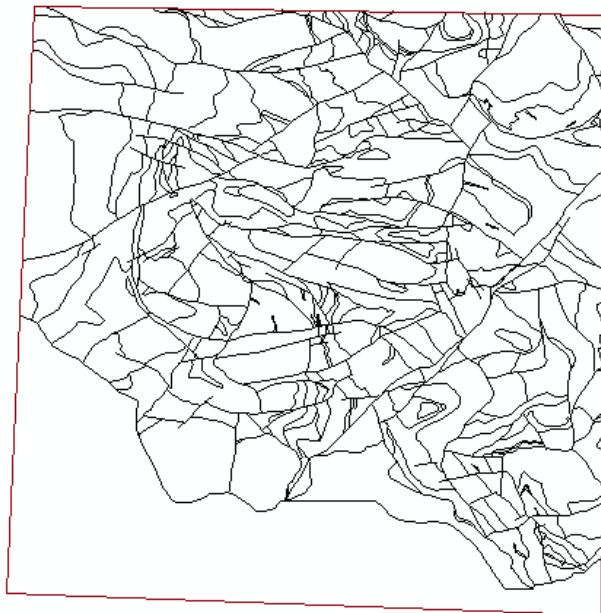


Рис. 5. Лінійні елементи, що використовуються для побудови полігонів: насуви, розломи, геологічні межі й обмежувальна рамка

Наступний крок перетворення лінійних шейпфайлів у полігони (рис. 6). Для цього використовуємо інструмент програми ArcMap – Tools – Data Management Tools – Features- Features to Polygon.

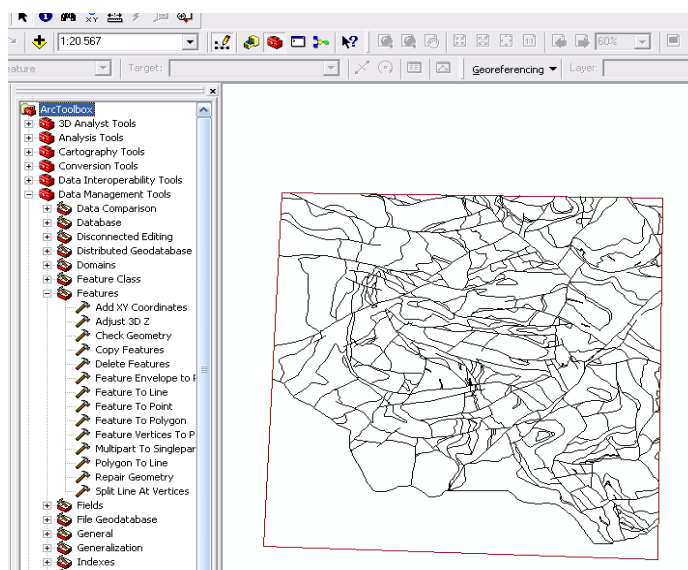


Рис. 6. Перетворення лінійних об'єктів у полігональні

Отримані полігональні об'єкти замальовуємо відповідно до прийнятих правил та інструкцій (рис. 7). Для цього створюємо атрибутивну таблицю, де кожному полігону присвоюємо відповідний вік, згідно з відсканованою картою, і відповідний символ.

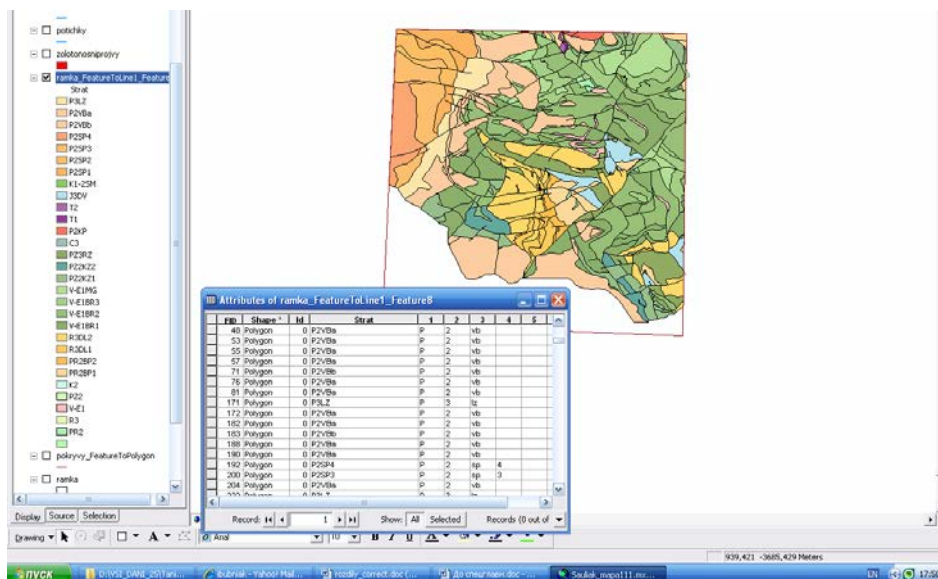


Рис. 7. Атрибутивна таблиця полігональних об'єктів геологічної карти

Підготовка до друку карти здійснюється у вікні Layout програми. Тут додаємо всі необхідні компоненти для карти: назву карти, напрям на північ, умовні позначення, числовий і лінійний масштаб. В окремих фреймах додаються стратиграфічна колонка й геологічний розріз (рис. 8).

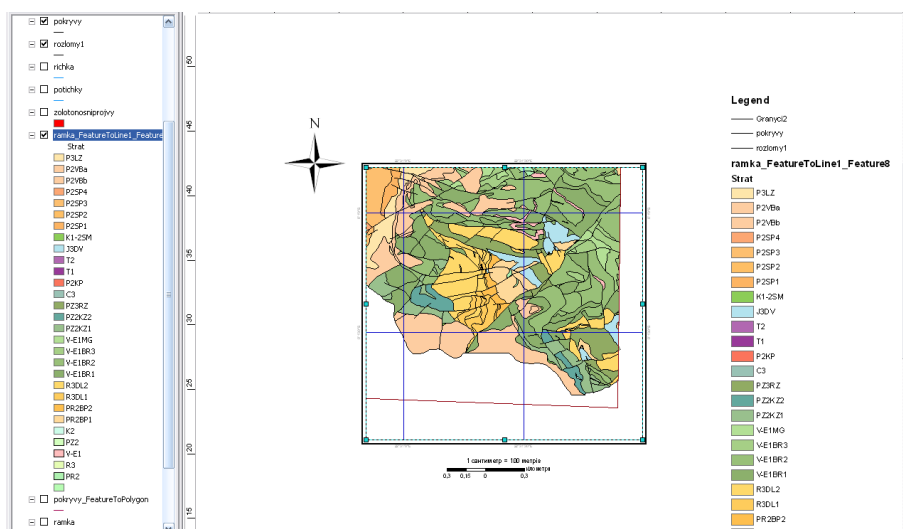


Рис. 8. Формування геологічної карти у вікні Layout

Результати, отримані в програмі ArcMap, експортуюмо в іншу програму – Move – для побудови тривимірних моделей (рис. 9).

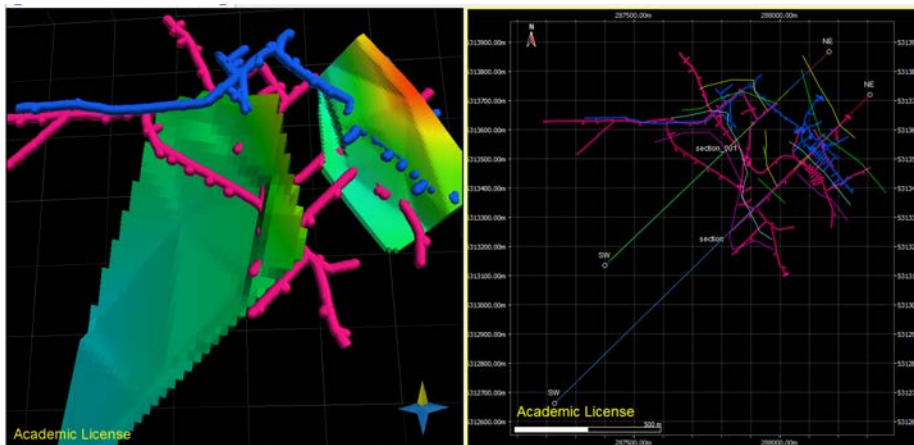


Рис. 9. Модель родовища Сауляк у тривимірному просторі й розташування штолень на карті

Найперше будуюмо 2,5 D поверхню родовища Сауляк. Для цього експортуюмо шейпфайли, що відображають рельєф.

Додаємо лінійні шейпфайли, що зображають штольні на карті, обов'язково враховуючи абсолютні висоти (рис. 10).

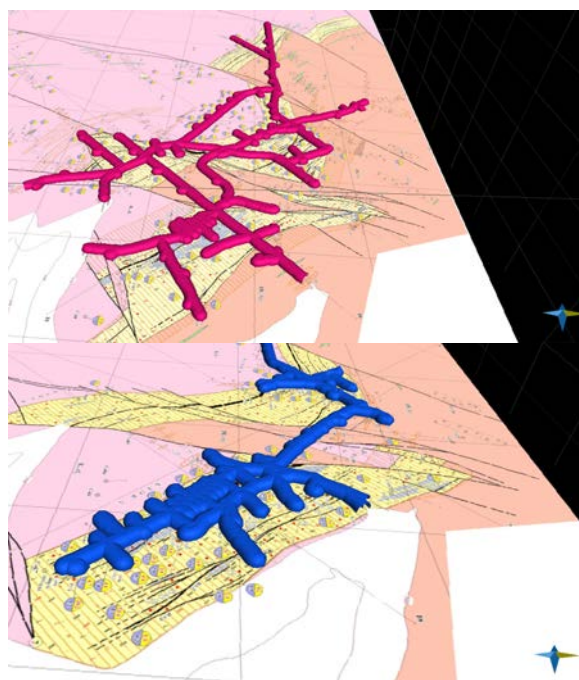


Рис. 10. Штольні й геологічні карти відповідних горизонтів

Додаємо геологічні карти та розрізи в тривимірному просторі (рис. 11).

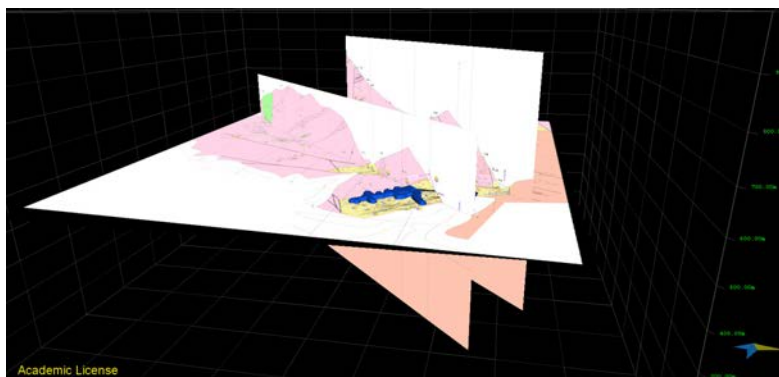
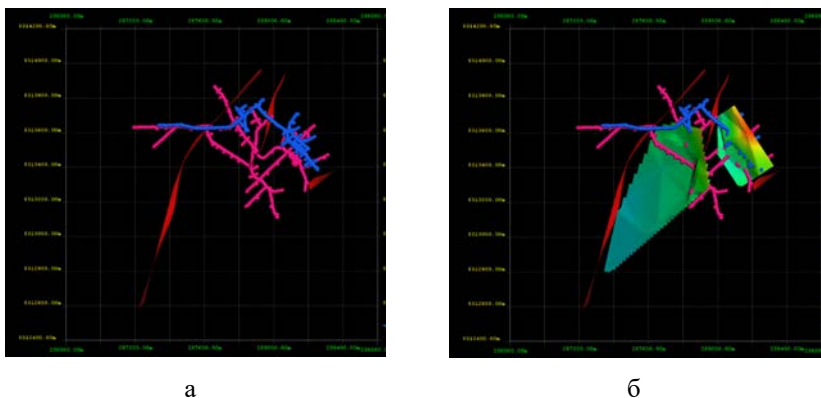


Рис. 11. Розрізи, додані до проекту

У результаті отримано тривимірні моделі рудного тіла (рис. 12 і 13).



а

б

Рис. 12. Розташування штолень № 1 і № 2 (а) та рудного тіла зі штольнями (б)

Застосування 3D моделей у геології

Застосування програмних пакетів ArcGis і Move для обробки й аналізу геологічних даних, побудови моделей рудних тіл чи родовищ дасть змогу істотно пришвидшити процес моделювання, точність і якість моделей.

Найчастіше 3D моделювання використовують у нафтогазовій геології для побудови тривимірних цифрових геологічних моделей.

Тривимірна модель рудних тіл чи родовища може бути використана для підрахунку запасів, оцінювання перспективності глибоких горизонтів і флангів родовищ.

Отже, за допомогою пакету програм ArgGis і Move побудовано геологічну карту району родовища і створено тривимірну модель родовища Сауляк. Показано положення головного рудного тіла на рівні штольні № 1 і № 2. В ArcCatalog створено базу даних мінералів, мінеральних асоціацій родовища Сауляк на рівні штолень № 1 і № 2.

За поширенням мінералів із мінеральних асоціацій продуктивного комплексу й низки інших ознак можна оконтурювати перспективні ділянки на виявлення можливих рудних тіл чи серії невеликих за розмірами рудних тіл.

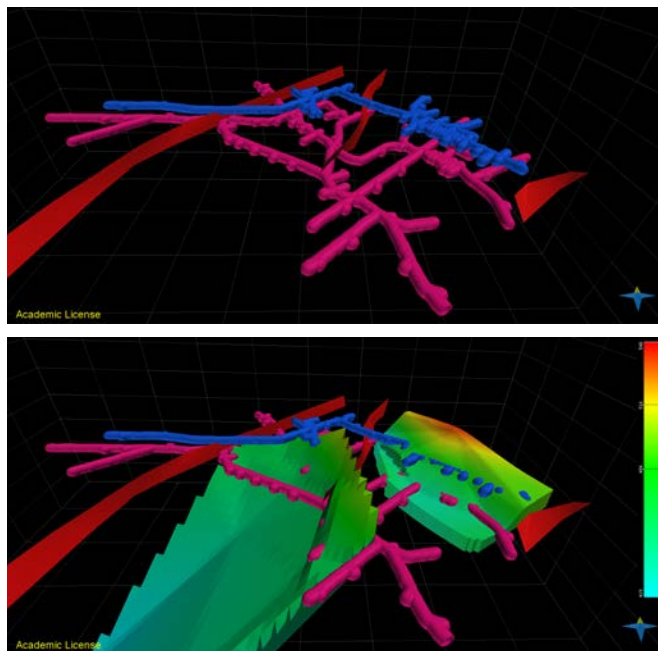


Рис. 13. Штольні з рудним тілом (кольором позначено глибину залягання зони зруденіння
 $\max=548$ м, $\min=300$ м)

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Просторова мінливість декрептометричних показників кварцу родовища Сауляк (Рахівський рудний район, Закарпаття) / А. Городечний, Т. Олійник, І. Попівняк, С. Ціхонь, В. Марусяк. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2010. № 24. С. 121–130.
2. Матковський О.І., Степанов В.Б. Критерії золотоносності доверхньопалеозойських метаморфічних порід Рахівського рудного району Закарпаття. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 1992. № 11. С. 121–127.
3. Матковський О.І. Родовища та рудопрояви золота Українських Карпат. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 1992. № 11. С. 96–120.
4. Нечепуренко О.О. Деякі особливості локалізації золотого зруденіння у Рахівському рудному районі. *Проблеми геологічної науки та освіти в Україні* : матеріали наукової конференції. Львів, 1995. С. 178–179.
5. Фізико-хімічні умови і стадійність формування золоторудного родовища Сауляк (Рахівський рудний район) / І. Попівняк, С. Ціхонь, Т. Олійник, А. Ніколенко, П. Ніколенко, В. Марусяк. *Мінералогічний збірник*. 2006. Вип. 56 (1–2). С. 76–97.
6. Ціхонь С.І. Фізико-хімічні умови розвитку та зональність гідротермального зруденіння Рахівського золоторудного району (за даними термобарогеохімічних та мінералогофізичних досліджень) : автореф. дис. ... канд. геол. наук. Львів, 2004.
7. Maps URL: <http://www.usgs.gov/pubprod/maps.html>.
8. Hastings J.T., Raines G.L., Moyer L.A. Proposal for an ArcGeology Version 1 A Geodatabase Design for Digital Geologic Maps using ArcGIS®. *In Digital Mapping Techniques '07-Workshop Proceedings: US Geological Survey Open-File Report*. 2008. Vol. 1385. P. 59–72.

REFERENCES

1. Horodechnyi, A., Oliinyk, T., Popivniak, I., Tsikhon, S., & Marusiak, V. (2010). Prostorova minlyvist dekrementometrychnykh pokaznykiv kvartsu rodovyscha Sauliak (Rakhivskiyi rudnyi raion, Zakarpattia) [Spatial variability of decretometric parameters of quartz from the Sauliak deposit (Rakhiv ore district, Transcarpathia)]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*, 24, pp. 121–130 [in Ukrainian].
2. Matkovskiyi, O.I., Stepanov, V.B. (1992). Kryterii zolotonosnosti doverkhnopaleozoiskykh metamorfichnykh porid Rakhivskoho rudnoho raionu Zakarpattia [Criteria of gold content of Upper Paleozoic metamorphic rocks of Rakhiv ore district of Transcarpathia]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*, 11, pp. 121–127 [in Ukrainian].
3. Matkovskiyi, O.I. (1992). Rodovyscha ta rudoproivayv zolota Ukrainskykh Karpat [Gold deposits and ore occurrences in the Ukrainian Carpathians]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*, 11, pp. 96–120 [in Ukrainian].
4. Nechepurenko, O.O. (1995). Deiaki osoblyvosti lokalizatsii zolotoho zrudennia u Rakhivskomu rudnomu raioni [Some features of gold mineralization localization in the Rakhiv ore district]. V materialakh naukovoii konferentsii «Problemy heolohichnoi nauky ta osvity v Ukraini», Lviv, pp. 178–179 [in Ukrainian].
5. Popivniak, I., Tsikhon, S., Oliinyk, T., Nikolenko, A., Nikolenko, P., & Marusiak, V. (2006). Fyzyko-khimichni umovy i stadiinist formuvannia zolotorudnoho rodovyscha Sauliak (Rakhivskiyi rudnyi raion) [Physical and chemical conditions and stages of formation of the Sauliak gold deposit (Rakhiv ore district)]. *Mineralohichniy zbirnyk*, 56 (1–2), pp. 76–97 [in Ukrainian].
6. Tsikhon, S.I. (2004). Fyzyko-khimichni umovy rozvytku ta zonalnist hidrotermalnoho zrudennia Rakhivskoho zolotorudnoho raionu (za danymy termobaroeokhimichnykh ta mineraloho-fyzychnykh doslidzhen) [Physicochemical conditions of development and zonation of hydrothermal mineralization of the Rakhiv gold ore district (according to thermobarogeochemical and mineralogical-physical studies)]. [Avtoref. dys. kand. heol. nauk]. Lviv [in Ukrainian].
7. Maps. URL: <http://www.usgs.gov/pubprod/maps.html>
8. Hastings, J.T., Raines, G.L., & Moyer, L.A. (2008). Proposal for an ArcGeology Version 1 A Geodatabase Design for Digital Geologic Maps using ArcGIS®. In *Digital Mapping Techniques '07—Workshop Proceedings: US Geological Survey Open-File Report (Vol. 1385, pp. 59–72)*.

METHODS OF BUILDING 3D MODELS OF GEOLOGICAL BODIES (ON THE EXAMPLE OF THE SAULIAK DEPOSIT, TRANSCARPATIA)

**Ihor Bubniak¹, Serhii Tsikhon², Tetiana Tsikhon²,
Uliana Lushchak², Mykola Bihun¹**

¹*Lviv Polytechnic National University,
Bandery Str., 12, Lviv, Ukraine, 79013
e-mail: ibubniak@yahoo.com*

²*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: serhii.tsikhon@lnu.edu.ua*

The authors explore the use of modern computer programs that allow to effectively process spatial and attribute data that provide analysis and forecasting of ore bodies at a new qualitative level. The paper

analyzes the theoretical and practical aspects of 3D modeling, including the use of ArcGIS and Move software packages for to create geological maps and three-dimensional models. Particular attention is paid to practical aspects of creating digital geological maps, as well as methods of of visualization and analysis of geodata. The article also contains information on the various stages of 3D model creation, from primary data collection to data processing and interpretation. Considerable attention is paid to the organization and analysis of databases in ArcGIS and Move programs, as well as their use for building complex 3D models. The authors emphasize the importance of 3D modeling in geology, especially in the context of building three-dimensional digital geological models that can be used to estimate reserves and prospects. The paper emphasizes the importance of integrating and analyzing diverse data in geological research and provides a valuable contribution to the development of 3D modeling methods in geological science. To reflect the practical aspects of creating 3D models of geological bodies we chose the Sauliak deposit, which is well studied with the help of underground mining workings. A model of the Sauliak deposit in three dimensions and the the location of the relevant adit horizons. As a result, the following were obtained three-dimensional models of the ore bodies of the Sauliak deposit, which can be used to calculate reserves, assess the prospects of deep horizons and flanks of the deposit. The article shows that according to distribution of minerals from the mineral associations of the productive complex can be used to outline prospective areas to identify possible ore deposits.

Key words: ArcGIS, ArcGeology1, Move program, ore body, Sauliak deposit.

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОЛОГІЧНІЙ ПЕРЕІНТЕРПРЕТАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ГДС

Юрій Віхоть^{1,3}, Ігор Бубняк², Соломія Кріль^{3,1}, Віталій Фурман¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: yuriy.vikhot@lnu.edu.ua

²Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Карпінського, 6, Львів, Україна, 79013
e-mail: ihor.m.bubniak@lpnu.ua

³УкрНДІгаз, АТ «Укргазвидобування»,
вул. Стрийська, 144, Львів, Україна, 79000
e-mail: solia_kr@ukr.net

Сучасну переінтерпретацію давніх паперових свердловинних даних за різними типами каротажу Західного нафтогазоносного регіону неможливо якісно виконати без застосування спеціалізованого програмного забезпечення або програмних модулів. У статті продемонстровано способи застосування комп'ютерних технологій для оцифрування, зберігання й візуалізації архівних паперових даних свердловин і всіх доступних паперових матеріалів геофізичного дослідження свердловин.

Метою статті є схарактеризувати сучасне доступне програмне забезпечення для оцифрування, зберігання графіків параметрів каротажу давніх свердловин із перспективних нафтогазоносних ділянок. Сформулювати основні переваги й недоліки програмних модулів і вирішити проблеми, що виникають під час оцифрування давніх свердловинних даних, і подальшого їх використання для переінтерпретації в програмах геологічного моделювання.

Завданням і новизною є визначити доступне програмне забезпечення для швидкого та якісного оцифрування й візуалізації паперових графіків параметрів каротажу, отриманих із різних ділянок Карпатської та Передкарпатської нафтогазоносної ділянок, оскільки цифрові свердловинні дані важливі для побудови регіональних глибинних розрізів, уточнення глибинної геологічної будови району досліджень і планування подальших досліджень із пошуку вуглеводнів.

Оцифрування матеріалів давніх паперових свердловинних даних, візуалізація графіків параметрів каротажу, створення баз даних по таких свердловинах із використанням комп'ютерних технологій дають змогу доповнити 3D геологічну модель родовища та заново переінтерпретувати матеріали геофізичних досліджень свердловин із мінімальними затратами й з урахуванням особливостей глибинної будови за новими свердловинними цифровими даними сучасних геолого-технологічних досліджень. Сучасна переінтерпретація навіть давніх і нових свердловинних даних є важливою для формування комплексних моделей з метою пошуку перспективних ділянок для першочергових детальних досліджень.

Ключові слова: свердловинні дані, каротаж, оцифрування, ГДС, графіки параметрів каротажу, NeuraLog, Mud logging.

Сьогодні сучасна світова нафтова й газова промисловість зіштовхується з основними проблемами, пов'язаними з недостатнім фінансуванням на дорозвідку та пошуки вуглеводнів, тому контроль над витратами й переінтерпретація наявних геологічних, геофізичних матеріалів стають значним фактором, що впливає на конкурентоспроможність нафтових

і газовидобувних компаній. Завдяки розвитку цифрових технологій нафтова та газова промисловість сподівається досягти зниження витрат, але водночас збільшення ефективності завдяки швидкій і якісній цифровій трансформації та переінтерпретації наявних матеріалів із нафтогазоносних регіонів. Давні свердловинні дані, які отримані методами геофізичного дослідження свердловин (далі – ГДС) і яких є достатньо багато за всі роки буріння свердловин у Карпатській і Передкарпатській нафтогазоносних ділянках Західного нафтогазоносного регіону, потребують оцифрування й сучасної переінтерпретації.

ГДС (каротаж, або промислова геофізика), результатом якого є отримання свердловинних даних із характеристиками геологічного середовища в навколосвердловинному та міжсвердловинному просторах і вздовж усього розрізу свердловини, є важливою ключовою технологією в нафтогазовій, геотехнічній, мінеральній, підземній, геотермальній та інших споріднених галузях. Результати геофізичного дослідження свердловин, що є невід’ємним під час пошуку й розвідки як нафти й газу, так і води в гідрогеологічних свердловинах і контролюють увесь процес буріння свердловин, записували у вигляді графіків каротажних кривих [6; 9; 14; 16].

У час розвитку інформаційних і комп’ютерних технологій, прогресивного впровадження їх у геологічну, геофізичну галузь, а головне, браку значних ресурсів у геологічних галузях постала потреба швидкісного та якісного оцифрування нафтовими й газовидобувними компаніями низки паперових матеріалів свердловин минулих десятиліть із нафтогазоносних регіонів України, зокрема Західного, у межах Українських Карпат, Передкарпатського прогину. Цифровий варіант свердловинних даних потрібний для створення інформаційних комп’ютерних баз даних, уточнення стратиграфічних розбивок по свердловинах, проведення відповідних кореляцій між уже наявними пробуреними свердловинами, розширеного аналізу й геологічної переінтерпретації даних у комплексі із сучасними матеріалами, що отримані по нових свердловинах під час аналізу на станціях геолого-технологічних досліджень (далі – ГТД) з використанням автоматизованого спеціалізованого програмного забезпечення, що застосовується під час буріння свердловин на всіх етапах – від моніторингу й аж до відкриття продуктивних пластів горизонтів.

Геофізичні дослідження свердловин електричними, магнітними, електромагнітними, радіоактивними, акустичними, термічними й іншими методами проводили та проводять на всіх етапах буріння свердловин для видобутку корисних копалин. Каротаж під час буріння є основою для визначення пористості, проникності, наявності й характеру тріщинуватості, реєстрації фізико-хімічних параметрів (температура, тиск, гамма-випромінювання, питомий опір тощо), глибини залягання водоносних горизонтів, нафтогазоносних пластів тощо. Отримані результати допомагають під час побудови й уточнення моделей глибинної геологічної будови в межах досліджених ділянок та аналізу зміни складу, структури геологічного середовища з глибиною, оцінювання інтервалів перспективних ділянок щодо насичення вуглеводнями, потужності нафтогазоносних пластів тощо [5; 6; 9–11; 14; 16; 17].

Промислова геофізика сучасних нафтових і газовидобувних компаній, що виконують роботи, пов’язані з пошуком і розвідкою вуглеводнів, відповідно, з вивченням глибинної геологічної будови, широко застосовують спеціальне програмне забезпечення для реєстрації, візуалізації в режимі реального часу свердловинних даних, отриманих за різними методами ГДС упродовж усього процесу буріння свердловин [5; 6; 9–11; 14; 16; 17].

Геофізичне дослідження свердловин сучасними методами не потребує оцифрування каротажних діаграм, оскільки запис у більшості випадків здійснюється автоматично під час буріння з використанням сучасних комп’ютеризованих станцій ГТД, які запропоновані вперше як комерційна послуга лише в 1939 р. [7; 11; 17; 21]. Світові геофізичні нафтові та сервісні компанії використовують автоматизовану систему реєстрації цифрових свердловинних даних на всіх етапах геофізичних досліджень під час буріння за

допомогою сучасного обладнання й ліцензованого програмного забезпечення, яке в разі збільшує продуктивність виведення графіків параметрів каротажу в цифрових форматах даних [7; 11; 17; 21]. Часто такі нафтові та газовидобувні компанії використовують власне чи наявне програмне забезпечення на станціях або користуються послугами сервісних компаній, що збирають та аналізують усю геолого-геохімічну, геофізичну й технологічну інформацію в режимі реального часу з метою підвищення якості буріння, ефективного розкриття пластових горизонтів і контролю стану свердловини впродовж буріння.

Сучасне досягнення в обчислювальних, мережних і комп'ютерних системах, поява різноманітних удосконалених датчиків переносять технологію каротажу у XXI століття [5–7; 9; 10; 11; 14; 16; 17; 21]. Сьогодні ще більше датчиків ведуть до блоку реєстрації, кожен із яких отримує дані з частотою кілька разів на секунду. Каротаж свердловин як процес вимірювання різних властивостей гірських порід уздовж свердловини включає низку досліджень різних параметрів, зважаючи на те що не так давно (середина-кінець XX ст.) у нафтовій і газовидобувній промисловості під час буріння свердловин почали застосовувати цифрові засоби фіксації й реєстрації параметрів та інші дослідження на станціях ГТД, багато кривих Карпатської та Передкарпатської нафтогазоносних ділянок і загалом цілого Західного нафтогазоносного регіону є у вигляді паперових графіків параметрів каротажу або в кращому випадку сканованих зображень.

Мета статті – схарактеризувати сучасне доступне програмне комп'ютерне забезпечення для оцифрування й візуалізації геофізичних свердловинних даних по типах каротажу – різних кривих (зондів), отриманих методами ГДС доступними програмними модулями; викласти переваги й недоліки оцифрування графіків параметрів каротажу цими програмами; проаналізувати доступне програмне забезпечення, за допомогою якого найкраще виконувати оцифрування, зберігання паперових свердловинних даних різних нафтогазоносних ділянок Українських Карпат, Передкарпатського прогину в межах Західного нафтогазоносного регіону, який залишається найголовнішим газовидобувним регіоном України та найстарішим за часом відкриття промислових родовищ вуглеводнів, сьогодні становить неабиякий інтерес для нарощування обсягів нафто- і газовидобування.

Оскільки існує проблема, яка полягає в тому, що низка каротажних діаграм по території Західного нафтогазоносного регіону в межах Українських Карпат і Передкарпатського прогину, виконаних раніше (кінець XX ст.), є паперовими, для аналізу каротажних кривих потрібне їх першочергове оцифрування із застосуванням комп'ютерних інформаційних технологій. Крім того, усі ці нафтогазоносні ділянки по-різному розбурені, нерівноцінні за вивченістю й наявністю як цифрових, так і паперових каротажних кривих, але досі залишаються потенційними ділянками для пошуку й розвідки вуглеводнів. У статті запропоновано способи оцифрування кривих каротажу свердловин різним програмним забезпеченням відповідно до графіків параметрів каротажу свердловин.

Більшість графіків параметрів каротажу відображали на папері до того, як прилади цифрового каротажу почали широко застосовуватися на нафтових і газових родовищах. Питання постійного зберігання графіків параметрів та ефективного використання свердловинних даних, що містять каротажні криві, досі залишаються відкритими в нафтогазовій промисловості.

Низка даних ГДС по різних типах каротажу нафтових і газових свердловин Західного нафтогазоносного регіону, що виконані десятки років назад багатьма організаціями та які були основою для побудови геологічного розрізу, оцінювання й підрахунку запасів нафти й газу та контролю розробки нафтових і газових родовищ, дійшла до нас у вигляді паперових, як правило, кількаметрових (залежно від глибини й масштабу представлення даних) каротажних кривих, частина з яких є погано збереженими (рис. 1, 2).

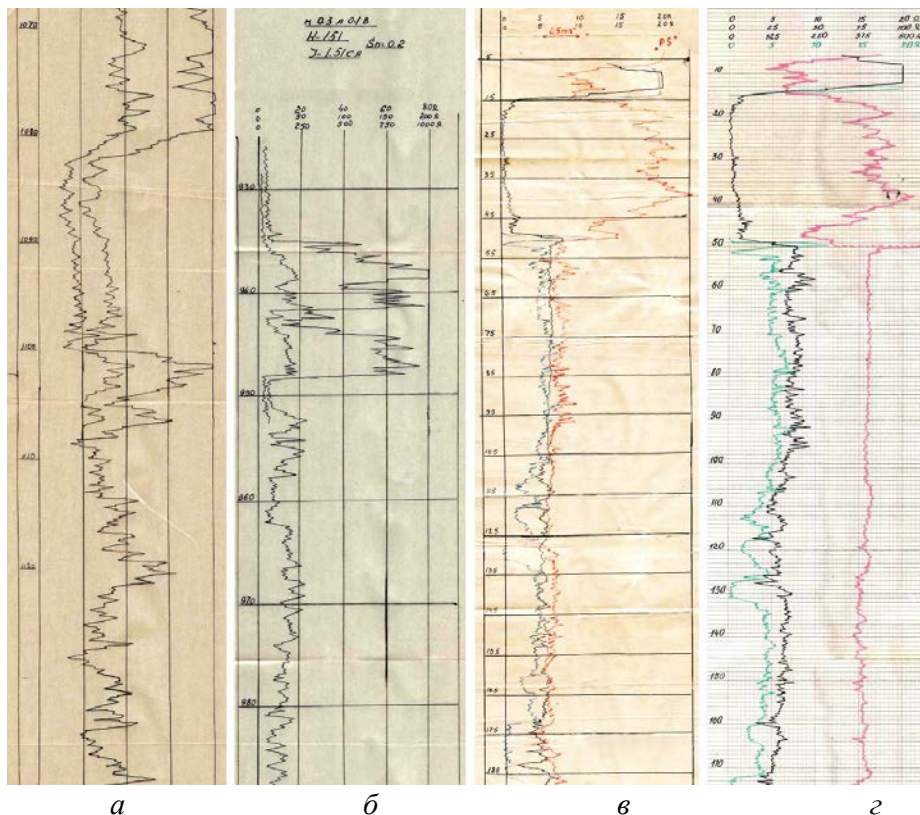


Рис. 1. Стан матеріалів ГДС із каротажними кривими (зондами) Карпатської нафтогазоносної провінції на прикладі 1949 р. (а, б – бокове каротажне зондування; в, г – стандартний каротаж)

До широкого використання цифрових каротажних приладів дані каротажу відображалися на графіку параметрів у форматі кривих, які мають низку недоліків. Серед значних недоліків – великий розмір паперових матеріалів (у більшості від кількох метрів), проблема в скануванні нестандартного формату зображень, великий об'єм пам'яті, якщо зображення вже якісно зіскановане та збережене в растрових графічних форматах, або надто багато кривих на одному графіку з різними масштабами по параметрах, що унеможливає швидкий аналіз і зіставлення даних. Проте найсуттєвішим недоліком є різний масштаб цих кривих навіть з однієї свердловини, наприклад, різних років, що без оцифрування неможливо ефективно аналізувати, зіставляти й корелювати за певними параметрами. Крім того, дуже часто відсутні зведені каротажні діаграми, а є декілька поінтервальних, виконаних у різних масштабах і з різною детальністю, що створює додаткові проблеми під час аналізу й зіставлення даних із них.

Комплекс виконаних промислово-геофізичних досліджень під час буріння свердловин на станціях ГТД використовував методи стандартного, мікробокового, бокового, індукційного, радіоактивного, акустичного каротажів, кавернометрію, термометрію, мікрокаротаж тощо, які часто зображали у вигляді декількох кривих із різними масштабними лініями (рис. 3).

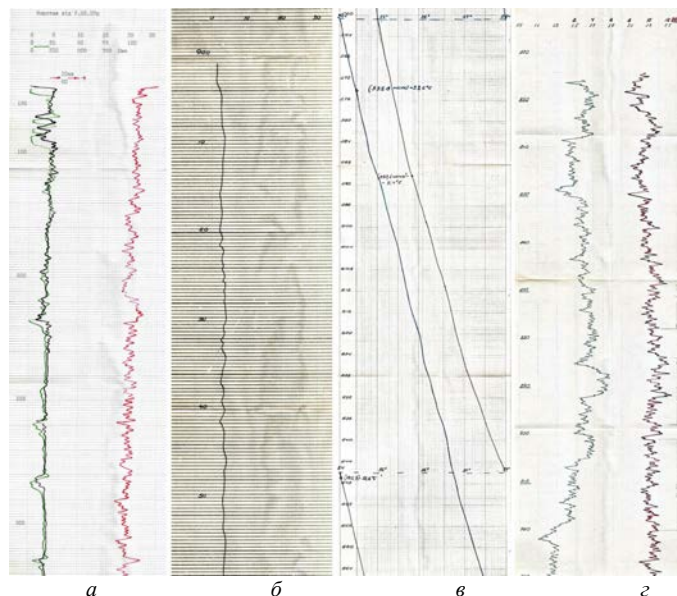


Рис. 2. Фрагменти сканованих матеріалів ГДС з однією або декількома каротажними кривими для свердловин різних років Західного нафтогазоносного регіону (а – стандартний каротаж, 1957 р.; б – бокове каротажне зондування, 1958 р.; в – термокаротаж, 1976 р.; з – гамма-каротаж і нейтронний гамма-каротаж, 1979 р.)

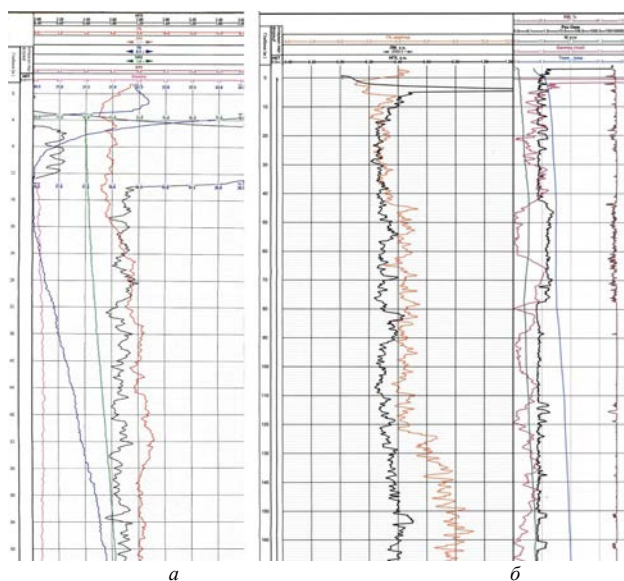


Рис. 3. Приклади деяких діаграм ГДС контролю з комплексним нанесенням кривих параметрів каротажу під час геолого-технологічних досліджень після 2000 р. в межах Передкарпатської нафтогазоносної ділянки (а – 2005 р.; б – 2017 р.; деякі скорочення на рисунку: гамма-каротаж (ГК), нейтронний гамма-каротаж (НГК), бокове каротажне зондування (БКЗ), боковий каротаж (БК), термокаротаж (ТК))

Універсальні формати запису та зберігання даних каротажу. Цифровий варіант даних каротажу по свердловинах у спеціальних універсальних форматах міг бути лише в тих компаній, які використовували спеціальне програмне забезпечення під час буріння свердловин у комплексі з датчиками, які були на ГТД. Інколи свердловинні дані оцифровували й уносили як у бази даних, так і в інші програми під час 3D моделювання на конкретному родовищі чи в межах ліцензованої ділянки. Через комерційну таємницю цифрові свердловинні каротажні дані в таких форматах часто залишаються недоступними.

За допомогою датчиків, які розміщуються в свердловинах, реєструються дані, що записуються у файли журналів з метою моніторингу зміни параметрів під час ГДС. У нафтогазовій промисловості використовуються різні формати для зберігання й обміну даними каротажу свердловин. Найпоширенішими форматами є файли LAS і DLIS (формати *.las, *.dlis), які є файлами журналу, створеними датчиками, і використовуються для обміну цифровими даними каротажу свердловин. Крім того, сьогодні різні пакети програмного забезпечення можуть використовувати універсальний формат під час оцифрування й реєстрації каротажних кривих або створювати власні, додаючи нові типи даних завдяки використанню збільшеної кількості датчиків для розширення кількості досліджених параметрів під час ГДС контролю.

Один із найдавніших форматів, у які записуються файли даних журналу під час буріння свердловини, є формат DLIS (Digital Log Information Standard). Це галузевий стандартний формат, який розробив наприкінці 1980-х рр. Комітет стандарту промислових даних каротажу (Logging Industry Data Standard), компанія Schlumberger і запровадив 1 травня 1991 р. як Рекомендовану практику 66 (Recommended Practice 66) Американський інститут нафти (American Petroleum Institute) для створення стандартизованого формату даних каротажу [2]. Цей формат, який досі використовують для обміну даними каротажних діаграм, призначений для зберігання даних каротажу в стандарті Digital Log Interchange так, щоб їх було легко читати, записувати й обмінюватися ними між різними системами, але за умови наявності спеціального пакета петрофізичного програмного забезпечення для його читання, оновлення й опрацювання.

Файли DLIS містять набір логічних записів, які описують дані каротажу та його характеристики, одиниці вимірювання й розташування даних у свердловині, а фактичні дані журналу зберігаються в окремих двійкових файлах і на них посилаються логічні записи [2]. З файлами DLIS важко працювати, оскільки їх неможливо відкрити в стандартному текстовому редакторі, що може перешкодити розумінню того, що в них міститься. Формат файлу DLIS іноді може бути складним і незручним у роботі, тому що розроблений уже 30 років і містить велику кількість метаданих, пов'язаних зі свердловиною та даними. Проте для перегляду повної структури чи внесення змін у параметри вже потрібно використовувати додаткові програми, наприклад, DlisBrowser і HexEdit 4.0 (безкоштовна) [8].

Іншим більш поширеним форматом є LAS (Log ASCII Standard), який став загальноприйнятим у галузевому стандарті для електронної передачі цифрових каротажних даних у світі. Попередні цифрові формати зазвичай кодувалися у двійковій формі, тому для їх читання вимагалось спеціальне програмне забезпечення. Завантажувати й переглядати дані із цього формату можна за допомогою блокнота, надалі експортувати у формат CSV.

Формат LAS став популярним у всьому світі, його запровадило Канадське товариство каротажу свердловин (Canadian Well Logging Society) [3; 4] у 1989 р. для стандартизації організації інформації цифрової кривої каротажу. Першою версією була версія 1.2, наступною – 2.0 (вересень 1992 р.), яку розробили для усунення деяких невідповідностей. Більш універсальна версія LAS 3.0 розроблена в 1999 р., однак LAS 2.0 залишається домінуючою. LAS 3.0 уточнює кілька погано визначених специфікацій LAS 2.0 й надає

розширені можливості зберігання даних, хоча має обмежене впровадження. Файли LAS мають плоску структуру з розділом заголовка, що містить метадані про свердловину та файл, що містять стовпці, які відображають значення для кожної кривої каротажу.

Сьогодні існує низка програмного забезпечення для оцифрування каротажних діаграм, що використовують нафтогазоносні компанії світу. Більшість із них мають комерційне призначення. Проте деякі розробники надають короткотермінові ліцензії для ознайомлення, а інші дають змогу придбати програмне забезпечення тільки для академічних цілей. Майже всі програми працюють під найпоширенішими операційними системами Windows, Linux, Mac OS X тощо. Крім того, необхідно відзначити, що отриманий результат опрацювання й інтерпретації свердловинних даних безпосередньо залежатиме від якості сканованих вихідних свердловинних даних, тому потрібно врахувати, що оцифрування каротажу має проводитися в такому спеціалізованому програмному забезпеченні, щоб запобігти погіршенню якості матеріалу.

Програми для оцифрування, зберігання й аналізу кривих каротажу й інших матеріалів ГДС. Лідером у розробці програмного забезпечення для оцифрування, обробки, редагування свердловинних даних для нафтової та газової промисловості й для сканування каротажних кривих нестандартного розміру є компанія NeuraLog Inc. [15].

Програмний пакет цієї компанії – NeuraLog – є одним із найкращих для оцифрування кривих каротажу з паперового оригіналу або сканованих зображень, що містять криві каротажу. Програма працює під операційною системою Windows. Усі програмні модулі компанії NeuraLog Inc. призначені для комерційного використання.

NeuraLog перетворює відскановані паперові каротажні діаграми в придатні для використання цифрові свердловинні дані (у файлових форматах *.las 2.0) у геологічних програмах моделювання. NeuraLog дає змогу здійснювати автоматизоване оцифрування, поліпшення якості, редагування й перевірку каротажних кривих. Крім того, у цьому пакеті можна вносити необхідну інформацію про каротаж: відомості про площу буріння, дані про свердловину (координати, глибину, масштаб), дату замірів, початку й закінчення буріння, тип і номер радіоактивного джерела, тип зонда, дані про оператора тощо. Крім того, програма NeuraLog підтримує й давніші формати файлів *.las, наприклад 1.2, а також зберігає цілий проект у форматі NeuraLog file – *.nlx.

Серед незначних недоліків програми є те, що через фонову сітку каротажу часто зупиняється автоматичне відстеження кривої, тому видалення в місцях перетину фонові сітки є рекомендацією перед процесом оцифрування кривих каротажу в програмі NeuraLog. Проте можна оцифрувати й напівавтоматичним способом. Програма також дає змогу оцифрувати криві поінтервально, навіть із додаванням декількох шкал для кожного виду кривої каротажу, а також робить автоматичну горизонтальну та вертикальну сітку.

Оцифровані й візуалізовані дані по свердловинах Карпатської нафтогазоносною провінції найкраще зберігати у форматі LAS 2.0 (*.las) (рис. 4), які можна навіть переглянути й дещо відредагувати в блоктоті (рис. 5), а надалі ці дані можуть бути представлені в інших програмах геологічного моделювання завдяки універсальному формату даних. Компанія NeuraLog Inc. також пропонує й інші програми, такі як NeuraMap, NeuraSection, NeuraView, NeuraDesktop [15]. Наприклад, NeuraMap працює із цифровими картами та забезпечує створення цифрових векторних карт зі сканованих паперових оригіналів і з нанесеними координатами свердловин для подальшого аналізу. Інший програмний модуль NeuraSection забезпечує геологічну інтерпретацію геофізичних даних на основі кореляції растрових і цифрових каротажних діаграм, оцифрованих у програмі NeuraLog, літологічних даних, дає змогу створити й аналізувати поперечні геологічні профілі. Інші допоміжні додатки NeuraView, NeuraDesktop дають можливість переглядати, сканувати

растрові паперові карти та каротажні діаграми, друкувати оцифровані свердловинні дані, упорядковувати їх, створювати бази даних і візуалізувати геологічні дані й побудовані розрізи за допомогою інтерактивного екрану. NeuraDesktop забезпечує перегляд усіх даних проекту в одному додатку.

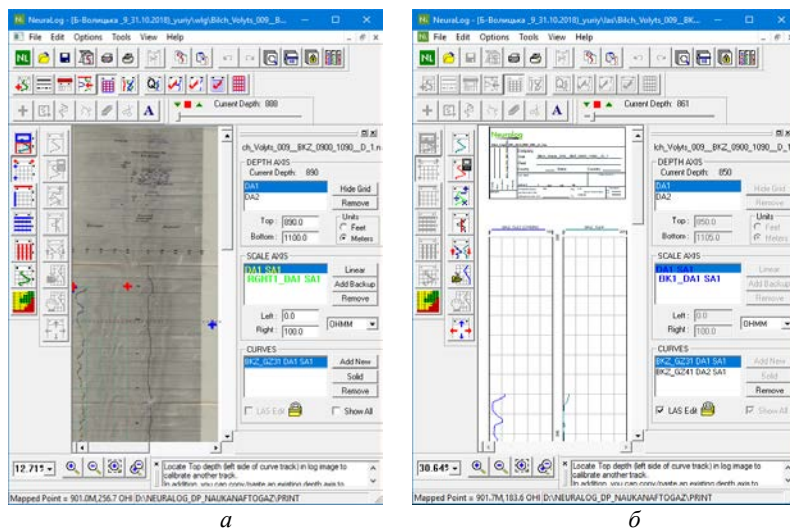


Рис. 4. Приклади оцифрування свердловин у програмі NeuraLog: *a* – оцифрування каротажної діаграми; *б* – оцифрована каротажна діаграма у форматі *.las 2.0

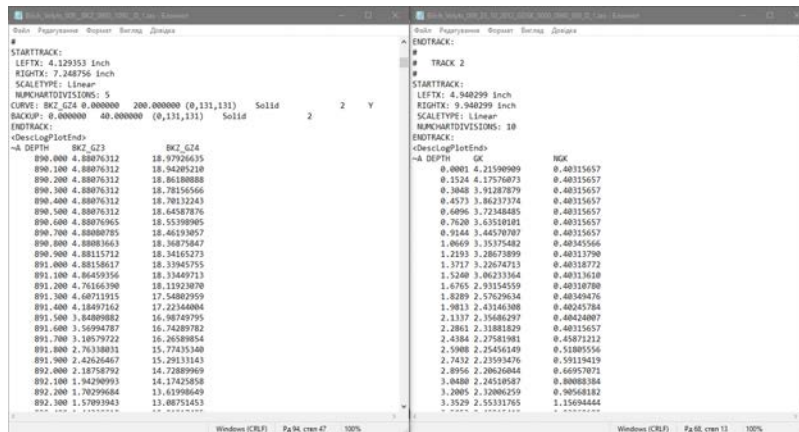


Рис. 5. Перегляд формату *.las 2.0 у блокноті на прикладі оцифрованих свердловин Більче-Волицької зони

Оцифровувати, опрацьовувати та здійснювати інтерпретацію даних каротажних кривих можна й у програмному продукті промислової геофізики «Геопошук» [1]. Програма теж комерційна, але є академічна для навчальних цілей. Вона призначена для перетворення растрових зображень (відсканованих карт, каротажних кривих) у векторний формат. Програма дає змогу редагувати векторні об'єкти, видаляти їх і додавати нові. У програмі є можливість додавання до чотирьох шкал перетворення координат та індивідуальне

призначення для кожної кривої або її частини певної шкали. Результати оцифрування каротажних кривих можна експортувати у файли *.dat, *.csv та *.las

Інша програма LogView++, розробником якої є Сугіянто Сувоно (Індонезія), поширюється у вільному доступі й може працювати під операційними системами Windows [13]. Проте LogView++ порівняно з програмними модулями компанії Neuralog Inc. має не так багато функціональних можливостей. Програма працює з уже готовим свердловинними даними й підтримує універсальний формат *.las. За допомогою інструментів LogView++ можна редагувати, додавати нові дані по свердловинах, проводити кореляцію між свердловинами й будувати геологічний розріз і літологічну колонку за матеріалами ГДС.

Програмний пакет WellCAD 5.7, що розроблений компанією Advanced Logic Technology [20], підтримує і дає змогу редагувати, опрацювати, аналізувати й візуалізувати свердловинні дані у форматах (*.las, *.dlist), а також підтримує векторні й растрові формати даних (*.csv, *.bmp, *.tif). За допомогою WellCAD 5.7 можна зіставляти криві різних типів каротажу, на основі отриманої інформації складати літологічну колонку та вносити уточнення.

Інша програма LogPlot, розробником якої є компанія RockWare, яка працює під операційними системами Windows [12], призначена для графічного відображення та візуалізації геофізичних свердловинних даних, а також кривих різних типів каротажу, дає змогу зберігати й відкривати файли в різних форматах даних, включаючи формат *.las. Графічне опрацювання свердловинних даних у цьому програмному модулі можна представити в потужному програмному забезпеченні RockWorks [18], яке має більше функціональних можливостей і дає можливість зіставляти геофізичні дані, отримані по свердловинах.

Програмне забезпечення RockWorks працює з різними типами даних, такими як карти, свердловини, розрізи, діаграми тощо. RockWorks дає змогу представляти свердловинні дані у вигляді 2-D і 3-D моделей. Крім того, це програмне забезпечення дає можливість наносити отримані дані на карту, використовуючи Google Earth.

Також цікавим є Techlog [19] – програмний комплекс, який призначений для обробки результатів геофізичних досліджень свердловин. Він дає змогу зіставляти всі дані зі свердловини в одну інтуїтивно зрозумілу програму для проведення аналізів. За допомогою цього комплексу програмного забезпечення є можливість аналізувати свердловинні дані для уточнення геологічної будови наявних родовищ, меж покладів і запасів вуглеводнів тощо. Разом із Techlog упроваджується й інше програмне забезпечення, що дасть змогу створювати детальні 3D-моделі родовищ.

Отже, будь-які паперові свердловинні дані по різних типах каротажу мають низку обмежень. Відсутність свердловинних даних у цифровому форматі викликає проблему під час візуалізації каротажних кривих різного масштабу, кореляції даних декількох свердловин для уточнення геологічних розрізів і побудови 2D чи 3D моделі родовища.

Безперечно, наявність цифрових даних у разі підвищує ефективність інтерпретації, так як аналіз каротажних кривих є завершальним етапом геофізичних досліджень, тому від того, як вони будуть проінтерпретовані, залежить, які висновки будуть складені про нафтогазоносність і геологічну будову району досліджень. Використання програмного забезпечення підвищує ефективність інтерпретації даних ГДС, вивчення особливостей зміни конфігурації кривих уздовж профілю, визначення літологічних характеристик, установлення глибини залягання й товщини нафтогазоносних шарів, які підлягають промислому використанню, що, відповідно, дасть змогу виділити перспективні горизонти або ділянки для першочергових досліджень.

Відсутність цифрових свердловинних даних в універсальних файлових форматах не дає змоги здійснювати якісно переінтерпретацію результатів. Використання програм

та універсального формату *.las 2.0 необхідне, щоб отримати надійне геологічне тлумачення результатів, отриманих із паперових каротажних кривих і давніших матеріалів геофізичних досліджень свердловин.

Опрацювання й подальша комплексна переінтерпретація свердловинних даних Західного нафтогазоносного регіону можлива лише завдяки якісному оцифруванню кривих різних типів каротажу в програмах, які б забезпечували універсальність застосування таких даних у подальших програмах моделювання родовищ відповідних корисних копалин.

Саме тому оптимальний вибір наявного програмного забезпечення та програмних модулів, що розроблені нафтовими, газовидобувними й іншими компаніями, значно підвищить достовірність отриманої інформації під час геологічної переінтерпретації каротажних даних і матеріалів геофізичного дослідження свердловин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Геопошук: програма промислової геофізики. URL: <https://www.geoposhuk.com.ua/>.
2. American Petroleum Institute: Recommended Digital Log Interchange Standard (DLIS), Version 1.00: API Recommended Practice 66 (RP66), First Edition, May 1, 1991. URL: http://www.posc.org/technical/data_exchange/RP66/V1/rp66v1.html.
3. Canadian Well Logging Society. URL: <https://www.cwls.org/>.
4. Canadian Well Logging Society, LAS Version 2.0: A Digital Standard for Logs, Update February 2017. URL: https://www.cwls.org/wp-content/uploads/2017/02/Las2_Update_Feb2017.pdf.
5. Datel J.V., Kobr M., Prochazka M. Well logging methods in groundwater surveys of complicated aquifer systems: Bohemian Cretaceous Basin. *Environmental geology*. 2009. № 57. P. 1021–1034.
6. Ellis D.V., Singer J.M. Well logging for earth scientists. Dordrecht : Springer, 2007. Vol. 692. 708 p.
7. Erzinger J., Wiersberg T., Zimmer M. Realtime mud gas logging and sampling during drilling. *Geofluids*. 2006. № 6 (3). P. 225–233.
8. HexEdit. URL: https://download.cnet.com/HexEdit/3000-2352_4-10208432.html.
9. Holstein E.D. Petroleum Engineering Handbook: Reservoir Engineering and Petrophysics / L.W. Lake (Ed.). Richardson, USA : Society of Petroleum Engineers, 2007. Vol. 5. P. 357–377.
10. Kobr M., Mareš S., Paillet F. Geophysical well logging: Borehole geophysics for hydrogeological studies: Principles and applications. *Hydrogeophysics*. 2005. P. 291–331.
11. Liu H. Principles and applications of well logging. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2017. P. 237–269.
12. LogPlot. URL: <https://www.rockware.com/product/overview.php?id=176>.
13. LogView++. URL: <https://firagiel.com/web/technicalsoftware/logview/>.
14. Luthi S. Geological well logs: Their use in reservoir modeling. Springer Science & Business Media, 2001. 373 p.
15. NeuraLog. URL: www.neuralog.com.
16. Prenskey S.E. Advances in borehole imaging technology and applications. Geological Society, London, Special Publications. 1999. № 159 (1). P. 1–43.
17. Poppelreiter M., Garcia-Carballido C., Kraaijveld M. (Eds.). Dipmeter and borehole image log technology: AAPG Memoir 92. *AAPG*. 2010. Vol. 92. 357 p.
18. RockWorks. URL: <https://www.rockware.com/product/rockworks/>.
19. Techlog 2023. URL: <https://www.software.slb.com/products/techlog>.
20. WellCAD 5.7. URL: <https://www.alt.lu/software.htm>.
21. Yuan B., Yang Q. Digitization of Well-Logging Parameter Graphs Based on Gridlines-Elimination Approach. *J. Softw.* 2019. № 14 (12). P. 573–578.

REFERENCES

1. GeoPoshuk: prohrama promyslovoi heofizyky [GeoPoshuk: program of industrial geophysics]: Retrieved from <https://www.geoposhuk.com.ua/> [in Ukrainian].
2. American Petroleum Institute (1991) : Recommended Digital Log Interchange Standard (DLIS), Version 1.00: API Recommended Practice 66 (RP66), First Edition, May 1, 1991. Retrieved from http://www.posc.org/technical/data_exchange/RP66/V1/rp66v1.html.
3. Canadian Well Logging Society. Retrieved from <https://www.cwls.org/>.
4. Canadian Well Logging Society, LAS Version 2.0: A Digital Standard for Logs, Update February 2017. Retrieved from https://www.cwls.org/wp-content/uploads/2017/02/Las2_Update_Feb2017.pdf.
5. Datel, J.V., Kobr, M., & Prochazka, M. (2009). Well logging methods in groundwater surveys of complicated aquifer systems: Bohemian Cretaceous Basin. *Environmental geology*, 57, pp. 1021–1034.
6. Ellis, D.V., & Singer, J.M. (2007). Well logging for earth scientists (Vol. 692). Dordrecht: Springer, 708 p.
7. Erzinger, J., Wiersberg, T., & Zimmer, M. (2006). Real-time mud gas logging and sampling during drilling. *Geofluids*, 6(3), pp. 225–233.
8. HexEdit. Retrieved from https://download.cnet.com/HexEdit/3000-2352_4-10208432.html.
9. Holstein, E.D. (2007). Petroleum Engineering Handbook: Reservoir Engineering and Petrophysics (Vol. 5). L.W. Lake (Ed.). Richardson, USA: Society of Petroleum Engineers, pp. 357–377.
10. Kobr, M., Mareš, S., & Paillet, F. (2005). Geophysical well logging: Borehole geophysics for hydrogeological studies: Principles and applications. *Hydrogeophysics*, pp. 291–331.
11. Liu, H. (2017). Principles and applications of well logging. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 237–269.
12. LogPlot. Retrieved from <https://www.rockware.com/product/overview.php?id=176>
13. LogView++. Retrieved from <https://firagiel.com/web/technical-software/logview/>.
14. Luthi, S. (2001). Geological well logs: Their use in reservoir modeling. Springer Science & Business Media, 373 p.
15. NeuraLog. Retrieved from www.neuralog.com.
16. Prensky, S.E. (1999). Advances in borehole imaging technology and applications. Geological Society, London, Special Publications, 159(1), pp. 1–43.
17. Poppelreiter, M., Garcia-Carballido, C., & Kraaijveld, M. (Eds.). (2010). Dipmeter and borehole image log technology: *AAPG Memoir 92* (Vol. 92). AAPG, 357 p.
18. RockWorks. Retrieved from <https://www.rockware.com/product/rockworks/>.
19. Techlog 2023. Retrieved from <https://www.software.slb.com/products/techlog>.
20. WellCAD 5.7. Retrieved from <https://www.alt.lu/software.htm>.
21. Yuan, B., & Yang, Q. (2019). Digitization of Well-Logging Parameter Graphs Based on Gridlines-Elimination Approach. *J. Softw.*, 14 (12), pp. 573–578.

COMPUTER TECHNOLOGIES FOR THE GEOLOGICAL REINTERPRETATION OF WELL LOGGING DATA

Yuriy Vikhot^{1, 3}, Ihor Bubniak², Solomiia Kril^{3, 1}, Vitaly Fourman¹

¹*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: yuriy.vikhot@lnu.edu.ua*

²*Lviv Polytechnic National University,
Karpinskoho Str., 6, Lviv, Ukraine, 79013
e-mail: ibubniak@yahoo.com*

³*UkrNDIgas, GSC Ukrigasvydobuvannya,
Stryiska Str., 144, Lviv, Ukraine, 79000
e-mail: solia_kr@ukr.net*

Qualitative interpretation of old archival paper logging well data of the Western oil-gas region cannot be efficiently carried out without using of the special software or modules. This article demonstrates how to use computer technologies for digitizing, storing and visualization of archival paper well data and all available paper materials for geophysical well surveys.

The purpose of this article is to characterize available software for digitizing, storing graphs of oil and gas fields wells logging data. To formulate the main advantages and disadvantages of software modules and solve the task of digitization of old well data and further using for reinterpretation for geological modelling.

The target and novelty is to determine accessible software for fast and high-quality digitization and visualization of paper logging parameters graphs obtained from different areas of the Carpathian and Pre-Carpathian oil and gas regions. Well logging data is important for regional deep geological sections building, to clarify the deep geological structure of the study area, and to plan further research for the search for hydrocarbons.

Digitization of old paper well data, visualization of logging parameters graphs, creation of wells database using computer technology allows to supplement the 3D geological model and reinterpretation the well logging data with minimal costs and taking into account the features of the deep structure. Geological and technological research, modern reinterpretation of old and new well data, is important for the formation of a comprehensive models for searching perspective areas for priority detailed research.

Key words: well data, carotage, digitizing, well logging, well-logging parameter graphs, NeuraLog, Mud logging.

GROUNDWATER OF VOLYN REGION: CONDITIONS OF LOCATION, FEATURES OF USE, WAYS OF PRESERVATION AND IMPROVEMENT

**Oleksandr Vovk¹, Victoriia Horbach²,
Liudmyla Horbach², Denys Nedbailo¹**

*¹Lesya Ukrainka Volyn National University,
Bankova Str., 9, Lutsk, Ukraine, 43021*

e-mail: vovk.oleksandr@vnu.edu.ua; denbay@ukr.net

*²The Volyn Viacheslav Lypynskiy Institute of the Private Joint Stock Company "Higher
education institution "The Interregional Academy of Personnel Management",
Copernyka Str., 8, Lutsk, Ukraine, 43025*

e-mail: vicahorbach@gmail.com; ludmilahorbach@gmail.com

Water is a vital resource that sustains life on our planet. However, its distribution is uneven, leading to water scarcity in some areas and excess in others. Human activities further exacerbate the reduction of usable water volume. It is predicted that water scarcity may become a significant factor in conflicts of the 21st century.

Groundwater serves as a primary source of water and is classified as an exhaustible renewable natural resource. However, the replenishment of groundwater occurs at a slow rate. Given the global water scarcity issue, there is a pressing need for comprehensive research on groundwater, particularly at local and regional levels. Therefore, this article focuses on investigating the underground water resources in the Volyn region, including their occurrence, and analyzing their utilization by the local population and regional economy.

The article provides a detailed description of aquifers of various geological ages in the Volyn region, including their occurrence patterns and distribution boundaries. The study examines the specific locations of each aquifer in relation to the geological structure of the area, following a geochronological sequence. Additionally, the article investigates mineralized underground waters, noting that the most prevalent types are chloride-sodium, sulfate, sodium, and hydrogen carbonate-chloride calcium waters.

The study focused on the period from 2015 to 2020 to assess the current status of groundwater and identify trends in water resource utilization. The research revealed a consistent increase in the proportion of underground water in overall water usage. Surprisingly, however, the actual volume of water extracted from underground sources has been decreasing. The study examined the dynamics of water usage by various industries. It was determined that the housing and communal sector was the largest consumer of water during the study period, mainly due to the region's limited economic development and correspondingly low water demands from other sectors. Analysis showed that, on average, 25.8% and 21.3% of the total water withdrawals were utilized for industrial and agricultural purposes, respectively. Irrigation and fisheries represented the smallest water-consuming activities, accounting for 9.5% and 6.5%, respectively. Notably, a significant portion of water intake, approximately 13%, was attributed to transportation purposes.

To ensure the rational utilization, preservation, and enhancement of groundwater quality, several measures have been recommended. These measures include the implementation of water-saving and water-free technologies in industrial processes, adopting reversible water usage practices, and upgrading water supply systems to improve efficiency. To safeguard and improve the quality of underground water, it is essential to upgrade treatment facilities in communal enterprises, implement rainwater and sewage treatment

systems, promote the responsible use of pesticides and fertilizers in agriculture, among other practices. These actions aim to optimize water usage, mitigate pollution, and enhance the overall management of groundwater resources.

The article represents a significant contribution as it provides a comprehensive description of the characteristics of underground aquifers in relation to the geological structure of the Volyn region. It establishes the distribution boundaries of underground waters of different geological ages within the region, offering valuable insights. The creation of a modern geochronological scale during the research adds further value to the study. The article also sheds light on the utilization of water resources by various economic sectors during the specified period (2015–2020), highlighting important trends. The proposed measures for preserving water resources and improving their quality demonstrate a practical approach. The research findings can serve as a valuable resource for the Department of Ecology and Natural Resources of the Volyn Regional State Administration in their efforts to develop regional environmental programs.

Key words: underground water, geological age, aquifer, mineral water, water intake, water supply, rational water use, conservation measures.

Formulation of the problem. Water is a vital and indispensable natural resource that holds paramount importance for humanity. Experts studying future prospects have raised concerns about the heightened likelihood of conflicts arising from water scarcity, considering it as a primary economic resource. The term «water wars» was initially introduced by former UN Secretary-General Boutros Boutros-Ghali in 1985 and has since become part of the political discourse [19]. Forecasts from the Food and Agricultural Organization of the United Nations and the United States Agency for International Development suggest that by 2025, approximately 3 billion people (over 40% of the global population) could face water scarcity, with two-thirds of the population experiencing a severe lack of access to clean drinking water [20, p. 45].

Groundwater serves as the primary source of water resources, constituting 99% of all available liquid freshwater. It supplies approximately half of the water utilized for domestic purposes by the population, including drinking water [21]. Underground water resources are formed through processes such as mantle degassing and the infiltration of surface water, representing a replenishable but exhaustible natural resource. However, their replenishment rate is relatively slow, averaging around 0.1–0.3% per year [18, p. 98].

In order to address the issue comprehensively, it is crucial to conduct in-depth investigations of groundwater at the local level. Therefore, this study focuses on examining the underground water resources of the Volyn region, which includes analyzing the geological structure of the area, studying the occurrence patterns of aquifers, assessing the dynamics of water extraction, and understanding the overall structure of water usage.

Review of previous publications and studies. The study of underground water resources in the Volyn region has involved numerous scientists specializing in geography, geology, and economics. These experts have examined various aspects, including the formation and occurrence of aquifers, as well as the assessment of their resource potential. Notable contributions to the understanding of underground water features have been made by researchers such as K.I. Gerenchuk [11], F.V. Zuzuk, L.K. Koloshko, Z.K. Karpiuk [6], and others. The emergence of groundwater through springs has been studied by O.V. Mishchenko [10], V.O. Fesiuk [15], and additional researchers. L.M. Trush and Y.O. Molchak [14] have focused on the ecological and economic aspects of water usage. Statistical data regarding the state of groundwater is regularly published by the Department of Ecology and Natural Resources of the Volyn Regional State Administration, the State Geology and Subsoil Service of Ukraine, and the State Scientific and Production Enterprise “State Information Geological Fund of Ukraine”.

Identification of previously unidentified parts of the general problem. Despite previous research on underground water in the Volyn region, there has been a lack of comprehensive studies regarding their occurrence, current status, utilization, and conservation measures. Therefore, this article provides a detailed description of the occurrence of underground aquifers, considering the geological structure of the region. It also establishes the approximate boundaries for the distribution of underground water

from different geological periods within the Volyn region. Additionally, a modern geochronological scale has been developed during the course of this study. The article emphasizes the specific water usage patterns within different economic sectors during the period from 2015 to 2020. Furthermore, efforts to preserve and enhance the quality of water resources in underground aquifers are given significant attention and further advancements are proposed.

Formulation of the purpose of the article. The main objective of this study is to assess the present condition of groundwater in the Volyn region, considering the geological structure of the area. To achieve this goal, the following tasks were addressed:

- Establishing the relationship between the underground water conditions in the Volyn region and its geological structure, along with characterizing the primary aquifers in the region.
- Evaluating the level of underground water resources available for the region's economic sector.
- Suggesting measures to optimize the utilization of groundwater and proposing methods for enhancing its quality.

Methods. The research employs various scientific and geographical approaches, including the problematic, comparative, systemic, territorial, constructive, and comprehensive approaches. The comprehensive approach was particularly utilized to study underground waters in the Volyn region, considering their interconnections with other elements of the geographical environment and society. Furthermore, a constructive approach was employed to thoroughly analyze the present condition of underground aquifers and to identify strategies for their sustainable utilization and conservation.

The following formula was used to estimate the annual reserves of groundwater per inhabitant of the region:

$$AR = \frac{BS}{P} \times 365,$$

where: BS is the balance reserves of underground water, expressed in m³ per day; P is the population of the region.

Results. The Volyn region is situated entirely within the Volyn-Podillia region of the East European Platform. From a geological perspective, the region falls within the Baltic-Transnistrian zone of pericratonic subsidence. The key geological structures within the region include the northern portion of the Lviv Paleozoic Depression (LPD), the Volyn Paleozoic Uplift (VPU), the Lviv-Ratniv Horst Zone (LRHZ), and the southern part of the Brest Depression.

The region has undergone a complex geological history, characterized by multiple stages and cycles of formation of its basement and platform cover. Its geological structure is highly diverse and heterogeneous, encompassing both Cryptozoic and Phanerozoic formations.

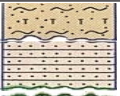

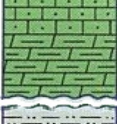
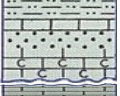
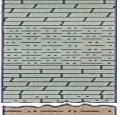
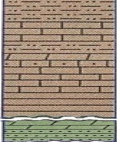
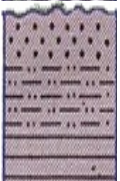
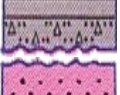



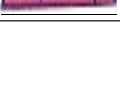

The basement is predominantly composed of granites, granodiorites, slates, gneisses, and other crystalline rocks. However, the study of the basement is limited and based primarily on core samples from a few wells. The crystalline basement, dating back to the Archaean-Proterozoic era, has been identified in reference and parametric wells such as I-Berestechko, I-Volodymyr-Volynskyi, I-Horokhiv, I-Lutsk, and I-Ovadne. Absolute age determinations suggest that most of these rocks belong to the lower and middle Proterozoic. Mineral deposits associated with the crystalline basement rocks have not been discovered within the region. This is primarily due to the significant depths at which these rocks occur, ranging from 150 meters in the tectonic blocks of the Lviv-Ratne Horst Zone (LRHZ) to 3.5 kilometers in the Lviv Paleozoic Depression (LPD), as well as the limited extent of exploration and study.

The sedimentary cover of the region consists of deposits from the upper Proterozoic, Paleozoic, Mesozoic, and Cenozoic eras. It is comprised of a thick layer of volcanic and sedimentary rocks, reaching depths of 3–3.5 kilometers in the southwestern part of the region, specifically in the Lviv Paleozoic Province (LPP).

To conduct a detailed study of the sedimentary cover in the region, it is recommended to utilize the geochronological scale that aligns with the International chronostratigraphic chart [17]. This standardized scale provides a framework for understanding the chronological sequence and relationships of the various rock formations and geological events within the region (table 1).

Table 1

Consolidated Geologic time scale*

Eratthem	System	Stage, series	Horizon, formation	Lithological composition	Thickness, m	Brief lithological characteristics of rocks	
Cenozoic	Quaternary				Up to 40	Peat, sand, loam, clay	
	Paleogene				Up to 20	Glauconite sands, clays	
Mesozoic	Cretaceous	Maastrichtian Campanian Santonian Coniacian Turonian Cenomanian			Up to 400	Carbonate rocks	
Paleozoic	Carboniferous	Bashkirian Namurian Viséan Tournaisian			Up to 1000	Limestones, argillites, coal, siltstone	
		Devonian	Famennian Frasnian			Up to 2000	Carbonate rocks with admixtures of terrigenous material
	Silurian		Givetian Eifelian				Terrigenous carbonate rocks
		Ludlow Wenlock	Skal	Skal		Up to 730	Clay-carbonate rocks
			Malynovets	Bahovytsya			
				Kytaihorod			
	Ordovician						
	Cambrian	Upper and Middle				90–265	Limestones, sandstones
			Berezhky series	Svitiaz		285–500	Sandstones, siltstones, argillites
		Liuboml					
Dominopol							
Baltic series		Stokhid			150–245	Sandstones, siltstones, argillites	
	Rivne						
Proterozoic	Ediacaran (680-570 million years ago)	Valday	Kotlyne		Up to 200	Sandstones, siltstones, argillites	
			Gdov				
	Volyn	Berestovets	Up to 186	Sandstones, siltstones, argillites, phosphorites			
		Gorbashi					
Paleoproterozoic – Neoproterozoic (1650–680 million years ago)	Polissia			Up to 900	Sandstones, argillites, siltstones in the form of layers. There are bodies of igneous rocks up to 100 m thick		
Archean						Crystal foundation. Amphibolites, gneisses, granites, granodiorites, granosyenites	

*made by authors based on the [1, p. 4].

Aquifers are found within the Upper Proterozoic, Cambrian, Silurian, Devonian, Carboniferous, Paleogene, and Quaternary sediments (Fig. 1). To conduct a comprehensive study of the sedimentary cover and the distribution of groundwater, it is recommended to examine each geological period or system separately. This approach allows for a detailed analysis of the specific characteristics and properties of aquifers associated with each geological period.

Proterozoic Erathem

Polissia series (1650–680 million years). The sedimentary cover of the southwestern edge of the East European platform includes the ancient formations known as the Polissia series, which are found in a discordant relationship over the crystalline basement. According to the International chronostratigraphic chart [17], the Polissia series is classified as Paleoproterozoic-Neoproterozoic in age. These rocks are overlain by younger Ediacaran, Paleozoic, and Mesozoic formations. The Polissia series occupies the linear graben-like Volyn-Orsha depression and represents the aulacogenic stage of development in the sedimentary cover of the southwestern edge of the East European Platform. It serves as a transitional complex situated between the folded Archean-Proterozoic basement and the actual platform cover.



Fig. 1. Hydrogeological map of the Volyn region

*made by authors based on the [2, p. 8].

In the Volyn-Podillya region, the deposits of the Polissia series consist of sandstones, siltstones, and argillites. Among these, the sandstones are predominantly fine-grained quartz and feldspar-quartz varieties. Siltstones and argillites are present as thin layers within the sandstones, occupying a subordinate position in the sedimentary section. In certain areas such as Horochiv, Lutsk, Berestechko, Ovadne, etc., bodies of igneous rocks with a thickness of up to 100 m can be found within these deposits. These igneous rocks comprise dark green and black gabbro, gabbro-diorite, and gabbro-dolerite. The thickness of the Polissia series sediments varies, with an increasing trend towards the central part of the Polissia basin. The maximum recorded thickness of these sediments, reaching 870 m, was observed in the Lutsk area.

Proterozoic and Cambrian fractured sandstone deposits in the region contain an aquifer with a high groundwater pressure. This aquifer is widely distributed in the northeastern part of the region and is utilized for various economic purposes, including water supply for the urban-type settlement of Manevychi.

Ediacaran (680–570 million years ago). Rocks of this age, which are part of the Baltic series of the Cambrian, are found throughout the entire territory of Volyn-Podillya. These rocks consist of sedimentary and volcanogenic-sedimentary formations, with a maximum thickness reaching up to 950 meters. They discordantly overlie the sediments of the Polissia series and are themselves overlain by younger geological formations.

In the Ediacaran section, two distinct strata, known as the Volyn and Valdai series, can be identified. These series are positioned in a discordant manner, with one overlaying the other. The Volyn series comprises the Gorbashi and Berestovets formations. The Gorbashi formation consists of multigrained, multicolored sandstones and gravelites predominantly composed of arkose. This rock layer, with a thickness of up to 46 meters, is easily distinguishable on well log diagrams and serves as a reliable reference for cross-plane correlation.

The Berestovets formation, which is up to 465 meters thick, consists of volcanic rocks including effusive, pyroclastic, and partially intrusive formations. In the northern part of Volyn-Podillya, the Berestovets region can be divided into three parts based on rock composition: the lower and upper parts consist of effusive rocks, while the middle part comprises tuffogenic rocks, indicating the cyclic nature of volcanic activity. Thin layers of tuffs and tuffites can be found within the thick basalt covers. The basalts are predominantly dark gray with a dark shade and have a massive texture. The tuffs exhibit greenish-gray and brownish-lilac colors, lack distinct layering, and possess a fine fragmental structure. Red-brown argillites and siltstones are occasionally present as lenticular layers within the tuffs. The thickness of the basalt layers decreases from north to south, primarily due to the subsidence of rocks in the lower section. Adjacent to the traps in the Berestovets formation, intrusive rocks such as picrite gabbro-dolerites can be found. These rocks are dark in color, displaying shades of green and brown, and possess a fine-grained structure. An example of such an intrusive rock is observed in Well I-Berestechko.

The Valdai series is characterized by sediments that overlie the eroded formations of the Volyn series and, in some areas, directly rest on the rocks of the crystalline basement. Above the Valdai series, there are deposits of the Baltic series from the Lower Cambrian, as well as Cretaceous and Quaternary deposits. The Valdai series can be further divided into two parts: the lower part, known as the Gdov horizon, and the upper part, referred to as the Kotlyne horizon. In the reference sections of Podillya Transnistria, the lower part of the Valdai series is represented by the Mohyliv, Yaryshiv, and Nahoryany formations, while the upper part is represented by the Kalynivka formation.

The Lower Valdai sediments, specifically the Gdov horizon, consist of irregularly grained quartz-feldspar sandstones with interbedded layers of siltstones of varying thickness. Among the argillites, phosphorite concretions can be found, particularly in the Nahoryany formation.

The maximum thickness of the Lower Valday formations, reaching 186 meters, was encountered in the eastern part of the region. Towards the western direction, the thickness gradually decreases as the lower part of the section thins out.

The Upper Valday sediments within the Kotlyne horizon consist of thinly bedded gray-colored sandstones, siltstones, and argillites with wavy layering. Unlike the Gdov horizon, the thickness of the Kotlyne horizon increases from east to west, reaching up to 200 meters. This observation suggests a change in paleogeographic conditions during the Kotlyne time, which influenced the sediment accumulation and spatial distribution. It is worth noting that no aquifers were identified within the sediments of this particular section.

Paleozoic erathem

Cambrian. Cambrian sediments lie everywhere on Ediacaran rocks and overlap with a stratigraphic break Silurian, and in places – Ordovician and Upper Cretaceous formations. The boundaries between the Upper Proterozoic and Lower Paleozoic are drawn along the sole of the Rivne formation.

In the section of the Cambrian, the rocks of the lower part and the sediments, which conditionally belong to the middle-upper parts, are distinguished. The lower division is divided into two series: Baltic, composed of the Rivne and Stokhid formations, and Berezhky, which unites the Dominopol, Liuboml, and Svitiaz formations. The most complete section of the Cambrian sediments was revealed by deep wells in the Lviv depression. At the base of the section lies a pack of fine-grained quartzite sandstones of the Rivne formation. The upper part and the entire above-lying Stokhid formation are composed of a thin layering of argillites and siltstones, with rare layers of sandstones. A peculiar textural feature of argillites is the presence of slip mirrors. The thickness of Rivne and Stokhid formations is 100–240 m.

The boundaries between the deposits of the Baltic and Berezhky series are clearly recorded on the well log diagrams by a sharp change in the physical and mechanical properties of the rocks of the overlying Dominopol formation. The lower part of this formation is characterized by packs (thickness up to 20 m) of fine-grained quartz sandstones with layers of siltstones and, to a lesser extent, argillites. Clay varieties predominate up the section. Rocks of the Liuboml formation are represented by alternating low-thick packs of fine-grained, in places quartzite-like, fractured sandstones and siltstones with rare layers of argillites. In the sediments of Svitiaz, argillites and siltstones with interlayers of fine-grained sandstones prevail. The thickness of the rocks that make up the Berezhky series is 280–500 m and more.

The monotonous stratum of the Middle-Upper Cambrian with a thickness of 90–260 m is mainly fine-grained quartz sandstones and siltstones. Argillites are found in subordinate quantities.

In general, Cambrian rocks are light gray, gray, and dark gray to black in color. The strength is not constant, and the stratigraphic integrity of the section is not the same. In the western and southwestern directions from the Ukrainian shield, the thickness of these deposits is constantly increasing, exceeding 1000 m in the area of Lviv.

The aquifer of the Cambrian period lies deep from the surface, but its waters are under pressure and during their development can reach static levels shallow from the surface. The horizon extends over almost the entire territory of the region, but it is absent only in the northeast of the region. The conditional boundary of the spread of the aquifer can be drawn along the line village of Kortelisy – village of Zhyrychi – village of Vydrychi – village of Datyn – village of Nuino – village of Pishchane – village of Nova Ruda – village of Kopyllyya – village of Tsuman. Wells are opened near the urban-type settlement Turiysk and the village of Turopyn at a depth of 250–300 m [11, p. 26]. In connection with the significant depth of occurrence, the water resources of the research horizon are not sufficient and are not used in the economy.

Ordovician. Formations of the Ordovician system are widespread. They overlie Cambrian and Ediacaran sediments in a transgressive manner and are discordantly overlain by Silurian rocks. Ordovician deposits are most extensively exposed in the northern part of the region, where they are divided into three units. Based on lithological characteristics, two rock assemblages can be distinguished: a lower unit composed of terrigenous clastic and glauconitic sandstones, and an upper unit predominantly consisting of multicrystalline limestones. The thickness of Ordovician deposits in the Volyn uplift area reaches 90 m. There are no aquifers in this system.

Silurian. Silurian deposits transgressively lie on Ordovician, Cambrian, and Ediacarian rocks and are overlain by younger Paleozoic and Mesozoic-Cenozoic formations. The lower part of the Silurian system is formed by accumulations of the Wenlock layer in the Kytaihorod horizon, the upper part by the Ludlow and Skal stages. The first includes deposits of the Bahovytsya and Malynovets horizons, the second – the formation of the horizon of the same name.

Silurian sediments consist of clay-carbonate rocks that are abundant in brachiopod fauna, ostracods, graptolites, conodonts, and other skeletal remains. There is a gradual transition from the carbonate type to the clay type of the section when moving from east to west. Within the distribution area of the carbonate section, a belt of reefogenic limestones is present, extending from the northwest to the southeast, spanning from the city of Volodymyr to the region of Chernivtsi. The thickness of the Silurian deposits progressively increases in the western and southwestern directions, reaching 730 m in the Lviv depression.

Due to the peculiarities of Silurian deposits and the territory of the Volyn region, the aquifer of the system is also discontinuous. The horizon is present in the central and western regions of the region (Fig. 1). In Silurian argillite, limestone, and dolomite deposits, water reserves and well flow rates increase with depth [11, p. 26]. Wells were opened near the village of Stavok of Lutsk district and village Hodomychi of the Kamin-Kashyrskiyi district, however, are not used in water supply.

Devonian. Formations of the Devonian system are represented by the middle and upper series. The Middle Devonian deposits are composed of the Eifelian and Givetian stages. In general, these are terrigenous-carbonate accumulations, which alternate unevenly, have a heterogeneous composition and a rather variegated color. The Upper Devonian deposits are represented by the Frasnian and Famennian layers, composed almost entirely of gray carbonate rocks with a small admixture of colorful terrigenous material. The total thickness of Devonian sediments in the western part of the Volyn-Podillya plate is, 3200 m or more.

Two aquifers were formed in the limestone, dolomite, and siltstone deposits of the Middle and Upper Devonian. They lie in the south of the region, and the limit of their distribution runs along the line of the village of Stenzharychi – village of Bilyn – village of Tulychiv – village of Drozdni – village of PISOCHNE – village of LITOHOSHCHA – town of Kivertsi – village of PIDDUBTSI. Enrichment of the horizon with water resources is sufficient for their use in water supply. So, in the city of Lutsk and the city of Kivertsi, there are wells in which water is pressurized and used for economic purposes.

Carboniferous. Deposits of the Carboniferous System are developed in the Lviv Depression, where the lower and part of the middle divisions (Bashkirian stage) are distinguished. They are represented by a limnic-paralic polyfacies layer composed of terrigenous and chemogenic rocks, which is characterized by a rhythmic structure. The constituents of this stratum, including limestone, argillite, siltstone, and coal, form a series of repeating rhythms. Deposits of this age include significant coal seams, forming the Lviv-Volyn basin deposit. The total thickness of the deposits exceeds 1000 m.

The aquifer of the Carboniferous system is located in the southwest of the region, its boundaries tentatively run along the line of the village of Stenzharychi – village of Ovadne – village

of Viinytsya – village of Shel'viv – town of Horokhiv. Water resources are contained in the Viséan and Namurian stages. However, due to the weak enrichment of sediments with water and insignificant flow rates of wells, the horizon is not used for water supply.

Mesozoic erathem

Cretaceous. Cretaceous deposits are widely distributed. The area of their development is called the Lviv Cretaceous Trough. In the section of the Cretaceous system, the lower and upper divisions are distinguished. Formations of the Early Cretaceous age, which are represented by the Neocomian and Albian stages, are limited in distribution. Neocomian deposits are composed of terrigenous carbonate rocks: clays, sandstones, and limestones. The Albian stage is formed by quartz-glaucinite sands and weakly cemented sandstones with mossy-echinoderms and organogenic-detrital limestones. The Cenomanian, Turonian, Coniacian, Santonian, Campanian, and Maastrichtian stages are distinguished as part of the Upper Cretaceous deposits. The sedimentary layer of the upper part of the Cretaceous system is represented by carbonate and terrigenous rocks. The total thickness of Cretaceous deposits on the southwestern edge of the ancient platform reaches 900 m.

In the Upper Cretaceous deposits, the aquifers were formed in the Cenomanian and Cenon-Turonian stages. The Cenomanian horizon is deep, not thick, flow rates of water points are insignificant, it is not used for water supply [11, p. 27].

In contrast, the Cenon-Turonian aquifer is the most important for the water supply of the region. This is the most water-enriched horizon, with the thickness of the aquifer from 10 to 80 m and the flow rate of wells 3–10 m²/h [11, p. 28]. It is the main source of centralized water supply for industrial enterprises and large settlements such as Lutsk, Kovel, Novovolynsk, Volodymyr, etc. The horizon is spread over the entire territory of the region, and its waters are contained in chalk and marl deposits. Renewal of the horizon's water resources occurs through infiltration of surface and ground water, as well as inflow of water from tectonic disturbances.

Cenozoic erathem

A relatively low-thickness (up to 30.0 m) complex of terrigenous-carbonate rocks of Paleogene age crowns the section of the sedimentary cover of the southwestern edge of the East European platform. Metasomatic limestones containing sulfur, gypsum, and anhydrites, characterized by barium-strontium mineralization, are distinguished as part of carbonate rocks. Terrigenous rocks are represented by sandstones and clays.

In Cenozoic sediments, Paleogene and Quaternary sediments are aquifers. The Paleogene aquifer was formed in the deposits of the Kharkiv formation of the Upper Paleogene, it is sporadically distributed in the northern regions of the region, where Paleogene deposits were formed in places of lowering of the Cretaceous relief. For economic purposes, the horizon is practically not used.

The waters of Neopleistocene and Holocene sediments, which are interconnected and form a single complex, are of great importance for the region [6, p. 12]. They form the first aquifer from the surface (groundwater) and are closely related to the level regime of surface waters and the regime of precipitation. The temperature of groundwater during the warm period of the year ranges from 12 °C to 15 °C [3, p. 269]. The depth varies from a few tens of centimeters in the floodplains of rivers to more than 10 m in the territory of the Volyn upland. The horizon is formed in modern swamp and alluvial deposits in river floodplains; in Upper Quaternary alluvial deposits on floodplain terraces of medium and large rivers; in mid-Quaternary water-glacial sediments at interfluves. The boundary of the distribution of the aquifer runs along the conditional line of the village of Ludyn – village of Glybyna – village of Lukovychi – village of Pryvitne – village of Oderady – city of Lutsk – village of Romaniv – village of Zhornyshche. South of the line, the first aquifer from the day surface is formed in the Turonian – Senonian deposits of the Upper Cretaceous.

The water resources of the considered horizon are used by the local population to meet economic and drinking needs. However, for centralized water supply of large settlements and industrial productions, the horizon is not used due to the unstable discharge of wells and the threat of runoff contamination of agricultural lands and urban areas.

In the studied aquifers, there are layers of both fresh and mineralized waters. The Volyn region belongs to the hydrogeological province of nitrogen, nitrogen-methane and methane artesian basins and hydrogeological regions [1, p. 139]. At the beginning of the 1990s, the Rivne Geological Exploration Expedition completed an assessment of the territory of Volyn in relation to the distribution of mineral waters. The most common are sodium chloride, sodium sulfate and calcium bicarbonate-chloride waters.

1. Chloride-sodium drinking water of the Myrhorod type (DST 13273–73) is the most common. These waters are confined mainly to volcanic-terrigenous sediments of the Ediacaran and Paleozoic, lying at a depth of up to 750 m. Water reserves have been explored in Lutsk and Zhuravychi.

2. Chloride-sodium highly mineralized waters (in many cases, brines) – have widespread development at depths of more than 1000 m. Chloride-sodium brines were studied at the Zhobryn deposit (the border between the Rivne and Volyn regions), on which the approved reserves of SCR of Ukraine reach 240 m³/day at mineralization 32 g/dm³, and the important microcomponents in the water are iodine and bromine, which determine the main balneological value of the water. Bromine content in brine is 104 mg/dm³, iodine is 8.5 mg/dm³.

The Shatsk deposit of mineral waters has reserves of 16.7 m³/day with water mineralization of 70.4 g/dm³. The well operating in the Kovel sanatorium “Turia” has the ability to produce 90 m³/day of brine from a depth of 1300–1400 m, the mineralization of which reaches 124 g/dm³ with a bromine content of up to 1000 mg/dm³ and iodine – up to 20 mg/dm³. Higher concentrations of bromine (up to 1500 mg/dm³) were recorded in oil exploration wells drilled in the south-western part of the region. Low water capacity of rocks and great depths (1500–3000 m) significantly reduce the prospects of their use. According to the conclusions of the Odesa Institute of Spas, sodium chloride waters are recommended for balneological purposes of a wide therapeutic range.

3. Sulfate sodium drinking quality waters with mineralization of 3–6 g/dm³ are confined to Devonian, rarely Silurian gypsum-bearing deposits, which are distributed in the southeastern part of the region. These waters were studied in individual wells, which indicates their presence, but a comprehensive study for wide consumption was not carried out.

4. Hydrocarbonate-chloride calcium waters with a mineralization of 1.4 g/dm³, similar to the well-known “Slavutych” water (Cherkasy region).

Both mineralized and fresh underground waters often have healing properties, and their natural exits to the earth's surface (springs) are objects of worship and form so-called sacred landscapes. Thus, according to O.V. Mishchenko's calculations, there are more than 84 springs operating in the territory of the Volyn region, the most famous of which is a spring near the village of Budyatychi, a fresh source of the Holy Spirit near the village of Stara Lishnya, the fresh spring of the prophet Elijah and John the Baptist, near the village of Laskiv, a well 7 km from the village of Syl'ne, fresh spring near the village of Kusnyshcha [10, p. 91].

Groundwater is the main source of centralized and decentralized water supply for the population, and is also used in industry and agriculture. During 2015–2020, they account for 77.8% of water withdrawals from all natural sources. It should be noted that the share of groundwater in the water intake structure is constantly increasing. Thus, in 2015 they accounted for 72.0% of all water intake, and in 2020 their share increased to 85.2%.

The population of all 11 cities, 18 settlements (82%), and 319 villages (30%) in the region is provided with centralized water supply [13, p. 43]. For this purpose, water wells are utilized,

drawing from Upper Cretaceous sediments as well as other aquifers. Decentralized water sources cater to the freshwater needs of the population, certain enterprises, and organizations. It is worth noting that the decentralized water withdrawal by the population occurs without accounting and taxation, whereas organizations and enterprises pay rent for the utilization of specialized water sources. The majority of the region's population, relying on decentralized water supply, utilizes groundwater that lacks protection from water-resistant layers, thus posing a risk of contamination from agricultural runoff and urban areas. Enterprises and organizations typically rely on artesian wells for their water supply.

In general, the Volyn region has significant underground water reserves, which are estimated at 900 million m^3 [15, p. 51]. When studying underground water reserves, it is advisable to consider forecast and balance reserves. Predicted reserves reflect the real possibilities of groundwater extraction with a rational arrangement of water intakes and stable conditions of their operation. Balanced reserves are reserves that, at the time of assessment, according to technical and economic calculations, can be economically efficiently extracted and used [7]. Estimated operational resources amount to 2,586.3 thousand m^3/day , of which 354.1 thousand m^3 are balance [12, p. 14]. Accordingly, 0.34 m^3/day and 125.7 m^3/year of balance operational groundwater reserves per 1 inhabitant of the region (calculated based on the average population during 2015–2020). According to the standards of the UN European Commission, regions with less than 1.500 m^3/year per inhabitant are considered the least water-provided [16, p. 5]. Therefore, the Volyn region can be classified as the least equipped with underground water reserves.

However, water reserves are sufficient to meet the economic and drinking, industrial and agricultural needs of the region. There are 549 enterprises participating in water use in the region, of which 134 are municipal enterprises, 107 are agricultural enterprises, 101 are industrial enterprises, 54 are fisheries enterprises, and 11 are energy enterprises [8, p. 65]. Yes, only 50 million m^3 is withdrawn from underground sources every year (calculated for 2015–2020). During the studied years, a general trend towards a decrease in the volume of water resources withdrawal from underground sources is characteristic (Fig. 2).

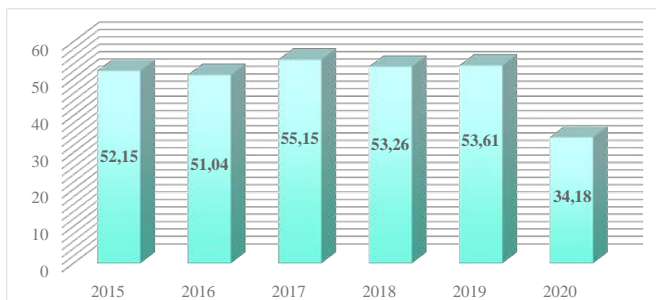


Fig. 2. Volumes of water intake from underground sources during 2015–2020, million m^3 (compiled based on [4, p. 14; 5, p. 14])

Thus, compared to 2015, water intake in 2020 decreased by 18 million m^3 , which is 35%. We observe that the least amount of water was collected in 2020, which is due to a decrease in production volumes by various sectors of the economy due to the introduction of quarantine restrictions during the spread of the COVID-19 coronavirus disease.

The reduction in the volume of water intake from underground sources is due to a decrease in water consumption by economic sectors (Fig. 3). Analyzing the proposed schedule, we observe

that most of the water is spent on household and drinking needs. On average, they account for 33.9% of all water intake (calculated for 2015–2020). A significant share of domestic and drinking water in the water intake structure is explained by the weak development of the industrial complex, the lack of need for irrigation in agriculture, as well as the impossibility of introducing circulating water supply in the industry.

On average, agriculture accounted for 21.3% of the withdrawn water during 2015–2020. By 2019, there was a noticeable increase in the volume of water intake, attributed to the region's agricultural development and the growing demand for fresh water for livestock complexes, product storage, and processing [9, p. 308]. However, in 2020, there was a sharp decline in the volume of water intake, reaching 0.15 million m³.

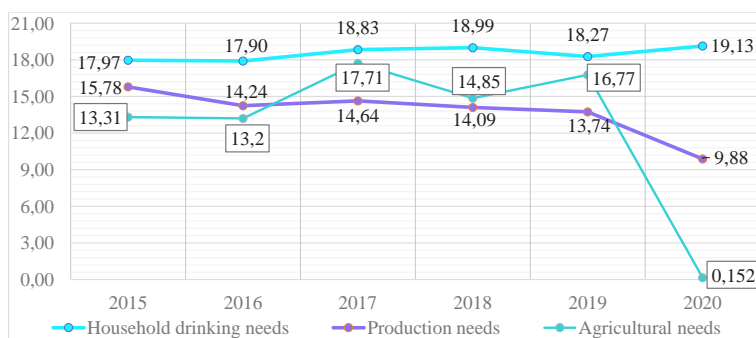


Fig. 3. Volumes of water resource use by economic sectors during 2015–2020, million m³ (compiled based on [4, p. 14; 5, p. 14])

In recent years, the industrial sector has been the least water-intensive among the considered sectors of the economy. Industries such as sugar and food production are the most water-intensive. Production accounts for 25.8% of water withdrawals, and these withdrawals are decreasing. It is worth noting that recycled water is also used for production needs, resulting in a 51.4% reduction in fresh water consumption. During the studied period, the percentage of fresh water savings through recycled water has been increasing (from 21.8% in 2015 to 61.6% in 2019 and 45.7% in 2020).

In addition, water resources are used for irrigation and fisheries, however, the volumes of withdrawal are insignificant. Thus, water intake for irrigation is 9.5% of the total water intake, and for fisheries – 6.5%. Water needs for irrigation tend to decrease, while for fish farming, on the contrary, they increase.

Significant costs of the collected water are observed during their transportation. They make up an average of 13% of the total water intake. A characteristic trend is the increasing share of water consumption during transportation (from 14% in 2015 to 16% in 2020). The phenomenon is explained by the obsolescence of the water supply systems, which have been operating since the 60s of the last century, are morally and technically obsolete, and require repair and modernization.

Despite the region's sufficient resources of underground aquifers, their high quality and the reduction of consumption by economic sectors, their condition is constantly deteriorating under the conditions of technogenesis. In particular, irrational use of groundwater leads to its depletion. Carrying out drainage reclamation in Polissia, reducing forested areas leads to a decrease in the level of groundwater, drying up of wells, which, in turn, affects the level of interlayer waters, which replenish their reserves due to infiltration of surface and groundwater.

In addition, human economic activity leads to deterioration of the quality of groundwater. In particular, along with surface runoff from agricultural lands and settlements, pollutants infiltrate underground horizons. Yes, agricultural wastes contain mineral and organic fertilizers.

Therefore, groundwater needs rational use and protection. An important direction for solving water management and environmental problems is a comprehensive approach to the protection of all surface and underground water sources from pollution, exhaustion and exhaustion [14, p. 164]. In our opinion, the main measures that will contribute to the preservation and restoration of water resources of underground aquifers include:

- introduction of low-water and water-free production technologies;
- expansion of the practice of recycled water use;
- repair and modernization of water pipes.

In order to improve the quality of groundwater, it is necessary to carry out a number of measures to prevent the ingress of pollutants into groundwater and infiltration into interlayer waters. In particular, such measures should include:

- rational use of mineral fertilizers and plant protection products in agriculture; modernization of treatment facilities of industrial enterprises and communal enterprises;
- implementation of modern systems of wastewater treatment of rainwater from urban areas.

Conclusion. The Volyn region exhibits a diverse geological structure, characterized by a substantial sedimentary cover comprising deposits from various geological periods, hosting multiple aquifers. The primary aquifer is situated within the Turonian-Senonian deposits of the Upper Cretaceous, serving as a crucial source for centralized water supply, industrial activities, and agricultural production. Additionally, other interlayer waters are utilized, while groundwater plays a significant role in decentralized water supply systems.

During the period from 2015 to 2020, there has been a notable increase in the proportion of groundwater in the overall water intake, rising from 72% in 2015 to 85% in 2020. The residential and communal sector stands out as the largest consumer of water resources, supplying the region's population with the necessary water for drinking and other domestic purposes. Due to the limited economic development in the region, water usage for industrial purposes is relatively low, with the majority being allocated to the food and sugar industries, as well as agricultural activities.

The region is facing various environmental challenges resulting from the unsustainable utilization of natural resources, particularly in relation to water. These issues include the depletion, contamination, and deterioration of groundwater, rendering it unsuitable for use. In order to safeguard and restore water resources, it is crucial to adopt sustainable practices such as employing low-water and water-free production technologies, promoting reversible water usage, and upgrading water supply infrastructure. Additionally, preserving and improving the quality of underground water necessitates the rational application of mineral fertilizers and pesticides, upgrading wastewater treatment facilities, and implementing advanced systems for treating both wastewater and rainwater.

Acknowledgments. The authors would like to express their gratitude to the former director of CE “Volynpririodresurs” of the Volyn Regional Council, Tuz Veniamin Stepanovych, for providing information and valuable advice on the geological structure of the Volyn Region.

BIBLIOGRAPHY

1. Геологія і корисні копалини України : атлас / голов. ред. Л.С. Галецький. Київ : Інститут геологічних наук НАН України, УІЦПТ «Геос-XXI століття», 2001. 168 с.
2. Атлас Волинської області / за ред. Ф.В. Зузука : Комітет геодезії і картографії, 1991. 42 с.

3. Екосередовище і сучасність / С.І. Дорогунцов, М.А. Хвесик, Л.М. Горбач, П.П. Пастушенко. Київ : Кондор, 2006. Т 1 : Природне середовище у сучасному вимірі : монографія. 424 с.
4. Екологічний паспорт Волинської області. Луцьк, 2018. 139 с. URL: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoiy-oblasti/> (дата звернення: 14.01.2024).
5. Екологічний паспорт Волинської області. Луцьк, 2021. 133 с. URL: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoiy-oblasti-za-2020-rik/> (дата звернення: 14.01.2024).
6. Зузук Ф.В., Колошко Л.К., Колошко З.К. Осушені землі Волинської області та їх охорона : монографія. Луцьк : Волинський національний університет ім. Лесі Українки, 2012. 294 с.
7. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ питних і технічних підземних вод. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/REG4330?an=21> (дата звернення: 14.01.2024).
8. Лажник В., Майстер А. Водогосподарська освоєність території Волинської області. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Розділ II «Економічна і соціальна географія»*. 2016. № 15 (340). С. 64–71.
9. Мельничук М.М., Горбач В.В., Горбач Л.М. Особливості використання водних ресурсів Волинської області та їх екологічний стан у сучасних умовах. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. Вип. 54. С. 306–315. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-23>.
10. Міщенко О. Водні джерела Волинської області в структурі сакрального ландшафту. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Географія»*. 2018. № 3(72). С. 88–93.
11. Природа Волинської області / за ред. К.І. Геренчука. Київ : Вища школа, 1975. 147 с.
12. Стан підземних вод України, щорічник / за ред. Н.Б. Коваленка, В.Ф. Величка. Київ : Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2021. 124 с.
13. Стратегія розвитку Волинської області на період до 2027 року. URL: <https://voladm.gov.ua/article/strategiya-rozvitku-volinskoiy-oblasti-na-period-do-2027-roku/> (дата звернення: 14.01.2024).
14. Труш Л.М., Мольчак Я.О. Еколого-економічні проблеми водокористування та шляхи їх вирішення. Луцьк : Волинський академічний дім, 1999. 200 с.
15. Фесюк В.О., Полянський С.В. Водні ресурси Волинської області, їх екологічний стан. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету. Серія «Географія»*. 2009. Вип. 19. С. 49–53.
16. Хвесик М.А., Мандзик В.М. Водні ресурси – інвестиція сьогодення і перспектива майбутнього. *Теорія інвестицій. Інвестиції: практика та досвід*. 2009. № 1. С. 2–8. URL: http://www.investplan.com.ua/pdf/1_2009/3.pdf (дата звернення: 14.01.2024).
17. International chronostratigraphic chart / International Commission on Stratigraphy. 2015. URL: <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2015-01.pdf> (дата звернення: 14.01.2024).
18. Water resources: agriculture, the environment, and society / D. Pimentel, J. Houser, E. Preiss, O. While, H. Fang, L. Mesnick, T. Barsky and other. *BioScience*. 1997. Vol. 47 (2). P. 97–106.
19. Starr J.R. Water Wars. *Foreign Policy*. 1991. № 82 (Spring). P. 17–36. URL: <http://www.ciesin.org/docs/006-304/006-304.html> (дата звернення: 14.01.2024).
20. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World / UNESCO World Water Assessment Programme. 2015. 122 p.
21. The United Nations World Water Development Report 2022: groundwater: making the invisible visible / UNESCO World Water Assessment Programme. 2022. 225 p.

REFERENCES

1. Haletskiy, L. S. (Ed.). (2001). *Atlas «Heolohiia i korysni kopalyny Ukrainy»* [Atlas «Geology and minerals of Ukraine»]. Kyiv: Instytut heolohichnykh nauk NAN Ukrainy, UITsPT «Heos-KhKhI stolittia». 168 p. [in Ukrainian].
2. Zuzuk, F.V. (Ed.). (1991). *Atlas Volynskoi oblasti* [Atlas of the Volyn region]. Komitet heodeziyi i kartohrafiyi. 42 p. [in Ukrainian].
3. Dorohuntsov, S.I., Khvesyuk, M.A., Horbach, L.M. & Pastushenko, P.P. (2006). *Ekoseredovyshe i suchasnist. T 1. Pryrodne seredovyshe u suchasnomu vymiri. K.: Kondor.* 424 p. [in Ukrainian].
4. Volynska oblasna derzhavna administratsiia. (2018). *Ekolohichnyi pasport Volynskoi oblasti* [Ecological passport of the Volyn region]. Lutsk. Retrieved from <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti/> [in Ukrainian].
5. Volynska oblasna derzhavna administratsiia. (2021). *Ekolohichnyi pasport Volynskoi oblasti* [Ecological passport of the Volyn region]. Lutsk. Retrieved from <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2020-rik/> [in Ukrainian].
6. Zuzuk, F.V., Koloshko, L.K. & Koloshko, Z.K. (2012). *Osusheni zemli Volynskoi oblasti ta yikh okhorona: monohrafiia* [Drained lands of Volyn region and their protection: monograph]. Lutsk: Volynskiy natsionalnyi universytet im. Lesi Ukrainky. 284 p. [in Ukrainian].
7. Instruktisiia iz zastosuvannia Klasyfikatsii zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn derzhavnoho fondu nadr do rodovyshech pytnykh i tekhnichnykh pidzemnykh vod. Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/REG4330?an=21> [in Ukrainian].
8. Lazhnik, V. & Maister, A. (2016). *Vodohospodarska osvoinist terytorii Volynskoi oblasti* [Water economy development of territory of Volyn Region]. *Naukovi visnyk Skhidnoevropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Rozdil II. Ekonomichna i sotsialna heohrafiia.* 15 (340), 64–71 pp. [in Ukrainian].
9. Melniichuk, M.M., Horbach, V.V. & Horbach, L.M. (2021). *Osoblyvosti vykorystannia vodnykh resursiv Volynskoi oblasti ta yikh ekolohichnyi stan u suchasnykh umovakh* [The peculiarities of using water resources at the Volyn region and their ecological state in the modern conditions]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»,* (54), 306–315 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-23>.
10. Mishchenko, O. (2018). *Vodni dzherela Volynskoi oblasti v strukturii sakralnoho landsaftu* [The springs of Volyn region in the structure of the sacred landscape]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heohrafiia,* 3(72), 88–93 pp. [in Ukrainian]. <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2018.72.15>.
11. Gerenchuk, K.I. (Ed.). (1975). *Pryroda Volynskoyi oblasti* [Nature of the Volyn region]. Kyiv: Vyscha shkola. 147 p. [in Ukrainian].
12. Kovalenko, N.B. & Velychko, V.F. (Eds.). (2021). *Stan pidzemnykh vod Ukrainy, shchorichnyk.* Kyiv: Derzhavna sluzhba heolohii ta nadr Ukrainy, Derzhavne naukovovyrobnyche pidpriemstvo «Derzhavnyi informatsiyni heolohichnyi fond Ukrainy». 124 p. [in Ukrainian].
13. *Stratehiia rozvytku Volynskoi oblasti na period do 2027 roku.* Retrieved from <https://voladm.gov.ua/article/strategiya-rozvitku-volinskoyi-oblasti-na-period-do-2027-roku/> [in Ukrainian].
14. Trush, L.M. & Molchak, Ya.O. (1999). *Ekoloho-ekonomichni problemy vodokorystuvannia ta shliakhy yikh vyrishennia* [Environmental and economic problems of water using and ways to solve them]. Lutsk: V-vo «Volynskiy Akademichnyi dim». 200 p. [in Ukrainian].
15. Fesiuk, V.O. & Polianskyi, S.V. (2009). *Vodni resursy Volynskoi oblasti, yikh ekolohichnyi stan* [The Water resources of the Volynska region, their ecological state]. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Seriya: Heohrafiia,* (19), 49–53 pp. [in Ukrainian].
16. Khvesyuk, M.A. & Mandzyk, V.M. (2009). *Vodni resursy – investytsiia sohodennia i perspektyva maibutnoho* [Water resources – an investment today and a prospect for the

- future]. *Teoriia investytsii. Investytsii: praktyka ta dosvid*, 1, 2–8 pp. Retrieved from http://www.investplan.com.ua/pdf/1_2009/3.pdf [in Ukrainian].
17. International Commission on Stratigraphy (2015). *International chronostratigraphic chart*. Retrieved from <https://stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2015-01.pdf>.
 18. Pimentel, D., Houser, J., Preiss, E., While, O., Fang, H., Mesnick, L. et al. (1997). Water resources: agriculture, the environment, and society. *BioScience*, (47), 97–106 pp.
 19. Starr, J.R. (1991). Water Wars. *Foreign Policy*, 82, 17–36 pp. Retrieved from <http://www.ciesin.org/docs/006-304/006-304.html>.
 20. UNESCO World Water Assessment Programme. (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*. 122 p.
 21. UNESCO World Water Assessment Programme. (2022). *The United Nations World Water Development Report 2022: groundwater: making the invisible visible*. 225 p.

ПІДЗЕМНІ ВОДИ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ: УМОВИ ЗАЛЯГАННЯ, ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ, ШЛЯХИ ЗБЕРЕЖЕННЯ Й ПОЛІПШЕННЯ

Олександр Вовк¹, Вікторія Горбач²,
Людмила Горбач², Денис Недбайло¹

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки,
вул. Банкова, 9, Луцьк, Україна, 43025
e-mail: vovk.oleksandr@vnu.edu.ua; denbay@ukr.net

²Волинський інститут імені В'ячеслава Липинського ПрАТ «Вищий навчальний
заклад «Міжрегіональна академія управління персоналом»,
вул. Коперника, 8, Луцьк, Україна, 43025
e-mail: vicahorbach@gmail.com; ludmilahorbach@gmail.com

Стаття присвячена дослідженню підземних вод Волинської області, умов їх залягання й особливостей використання населенням та економікою регіону. Охарактеризовано різновікові водоносні горизонти, їх ареали й межі поширення на території області. Досліджено особливості залягання кожного водоносного горизонту у зв'язку з геологічною будовою території в геохронологічній послідовності. Описано мінералізовані підземні води, визначено, що найбільш поширеними є хлоридно-натрієві, сульфатні, натрієві та гідрокарбонатно-хлоридні кальцієві води.

Для дослідження сучасного стану підземних вод обрано часовий проміжок із 2015 по 2020 роки, визначено основні тенденції використання водних ресурсів. Так, установлено, що частка підземних вод у структурі водокористування постійно зростає, але обсяги водозабору з підземних джерел, навпаки, скорочуються. Проаналізовано динаміку використання водних ресурсів за галузями господарства. Виявлено основного водокористувача протягом досліджуваних років, яким є житлово-комунальне господарство, що зумовлено слабким розвитком економіки регіону й, відповідно, незначними обсягами використання водних ресурсів галузями господарства. Так, досліджено, що на виробничі та сільськогосподарські потреби в середньому витрачається 25,8% і 21,3% відповідно від усіх забраних вод. З'ясовано, що найменше водних ресурсів використовується для потреб зрошення й рибного господарства (9,5% і 6,5% відповідно), однак значними є витрати води під час її транспортування, на які припадає 13% усього водозабору.

З метою раціонального використання, збереження й покращення якості підземних вод запропоновано низку заходів. Зокрема, для раціоналізації водокористування доцільним є впровадження маловодних і безводних технологій у виробництво, перехід до зворотного водокористування, реконструкція систем водопостачання. Збереження та поліпшення якості підземних вод вимагають модернізації очисних споруд комунальних підприємств, упровадження очищення стічних дощових вод, ефективного використання в сільському господарстві засобів захисту рослин і мінеральних добрив тощо.

Ключові слова: підземні води, геологічний вік, водоносний горизонт, мінеральні води, водозабір, водопостачання, раціональне водокористування, заходи збереження.

ПАЛЕОНТОЛОГІЧНІ ЗНАХІДКИ НА ТЕРИТОРІЇ ПАРКУ «ЗНЕСІННЯ» (ЛЬВІВ, ЗАХІДНА УКРАЇНА)

Антоніна Іваніна, Галина Гоцанюк, Тетяна Сметанюк

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: antonina.ivanina@lnu.edu.ua; halyna.hotsanyuk@lnu.edu.ua;
Tetiana.Smetaniuk@lnu.edu.ua*

Регіональний ландшафтний парк «Знесіння», розташований майже в центрі Львова, є надзвичайно цікавим та унікальним місцем як для геотуризму, так і для геологічних досліджень. На території парку є відслонення крейдової та неогенової систем, які містять численні рештки палеоорганізмів. Польові обстеження відслонень і решток давніх організмів парку «Знесіння» виконано в семи локаціях. Виявлено численні фосилії різного походження. Це іхнофосилії (нірки рийних тварин); зоофосилії (скелети, відбитки скелетів, ядра молюсків, брахіопод, голкошкірих); фітофосилії (скам'янілі колонії літотамнієвих водоростей, відбитки стебел наземних рослин); мікрофосилії – форамініфери. Переважають рештки морських мешканців – водоростей і молюсків, деколи брахіопод; інші види фосилій рідкісні. Уперше наведено особливості поширення фосилій і загальну палеонтологічну характеристику крейдових і неогенових відкладів парку. Розподіл палеонтологічних решток у розрізі нерівномірний. Вони зосереджені на чотирьох стратиграфічних рівнях (один – крейдовий, три визначені в неогені: у баранівських, нараївських, тернопільських верствах). Визначено склад біоти кожного з описаних рівнів, наведено зображення деяких палеонтологічних знахідок різних стратиграфічних рівнів. Такі дослідження важливі для відновлення геологічної історії Землі, вирішення прикладних геологічних завдань, мають наукове та пізнавальне значення й можуть стати цікавим об'єктом геотуризму. Вони сприятимуть популяризації палеонтологічних знань, зростанню інтересу до історії життя на Землі, збереженню геологічної спадщини парку «Знесіння» від руйнування та вандалізму.

Ключові слова: палеонтологія, крейдова, неоген, фосилії, регіональний ландшафтний парк «Знесіння».

Регіональний ландшафтний парк «Знесіння» є чи не єдиним парком міста Львова, у якому є численні геологічні об'єкти. Передусім це природні експозиції нашарувань відкладів крейдової та неогенової систем. Вони відображають геологічну будову й геологічну історію розвитку території Львова, яка добре експонується на всій території парку у відслоненнях порід і скам'янілій флорі й фауні. Залишки давніх організмів трапляються в парку «Знесіння» повсюдно: на стінках колишніх піскових кар'єрів, у місцях виходу на поверхню пісків, пісковиків і вапняків, на схилах гір, останцевих пагорбах і стрімких ярах, уздовж потоків і в скелястих уступах.

Знахідки фосилій на теренах, які нині є територією парку, відомі ще з XIX ст. (М. Ломницький, 1884, 1898 [7; 8]). У XX ст. фрагментарні палеонтологічні дослідження території майбутнього парку «Знесіння» проводили В. Горецький (рукописні й друковані праці), Л. Кудрін, О. Вялов [1] та інші. У 2016–2022 роках група дослідників геологічного факультету ЛНУ ім. І. Франка вивчила, облікувала, створила паспортизовані характеристики, визначила наукову, пізнавальну, геоатракційну цінність природних геологічних об'єктів регіонального ландшафтного парку «Знесіння» [3–6]. Поміж них є лише одна

палеонтологічна пам'ятка – «Скам'янілі мешканці дна міоценового моря», про яку багато написано й у науковій літературі [3; 5; 6], і в соціальних мережах. Не менш цікавими є інші геосайти парку із залишками давніх організмів.

Метою цього етапу досліджень є палеонтологічна характеристика місцезнаходжень решток давніх організмів у парку «Знесіння» для їхньої популяризації, захисту й використання для освітньо-пізнавальної, навчальної, пропагандистської, природоохоронної роботи, а також для вирішення традиційних прикладних геологічних завдань, таких як: визначення віку вмісних порід; зіставлення розрізів поміж собою та з одиницями регіональної й міжнародної стратиграфічної шкали; відновлення умов утворення вмісних порід і способу проживання палеоорганізмів; реконструкція органічного світу геологічного минулого тощо.

Завдання на цьому етапі – пошук і збір фосилій, фотодокументація й систематизація палеонтологічних матеріалів; надалі визначення систематичного складу скам'янілостей по кожному відслоненню, морфологічний опис і створення атласу викопних організмів парку «Знесіння».

Матеріалом для дослідження слугують фосилії – рештки давніх істот, що мешкали на Землі багато мільйонів років тому й закарбовані в природних відслоненнях парку «Знесіння».

Інформаційно-емпірична база досліджень сформована внаслідок власних спостережень та узагальнень, а також завдяки матеріалам наукових досліджень М. Ломницького, В. Горецького, Л. Кудріна, О. Вялова й інших.

Під час вивчення фосилій використовували комплексну методику, яка поєднує геологічні обстеження порід, що містять рештки, і палеонтологічні методи вивчення власне скам'янілостей, відбувається у два етапи: натурні (польові) спостереження та камеральні роботи.

Під час польового етапу виконували чітку адресну й географічну прив'язку об'єктів досліджень; фотографування; візуальні обстеження, опис і попереднє визначення. Під час камерального етапу визначали фосилії за методикою морфолого-порівняльного аналізу, опісаного в праці [2]. З отриманих даних формували датасети (зразки, морфологічний опис, фотозображення), які в майбутньому будуть основою реєстру й атласу фосилій парку «Знесіння».

На етапі натурних досліджень виявлено численні фосилії в семи локаціях парку (див. рис. 1). Скам'янілості представлені їх нософіліями (ядра нірок), мікрофосиліями, біофосиліями рослинного (скам'янілі колонії літотамнієвих водоростей, відбитки стебел вищих рослин) і тваринного (скелети повної чи неповної збереженості, відбитки стулок, ядра; зрідка трапляються перерізи через черепашку, контури скелетів) походження.

У парку «Знесіння» викопні рештки є на чотирьох стратиграфічних (геохронологічних) рівнях (рис. 2): перший – верхньокрейдовий, виявлено у відкладах крейдової системи східної частини парку; другий – четвертий – у неогенових породах Знесенської височини.

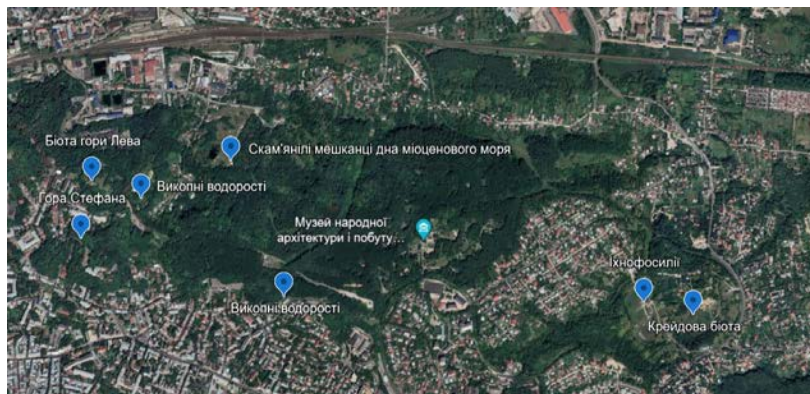


Рис. 1. Картосхема розміщення знахідок викопних організмів на території парку «Знесіння»

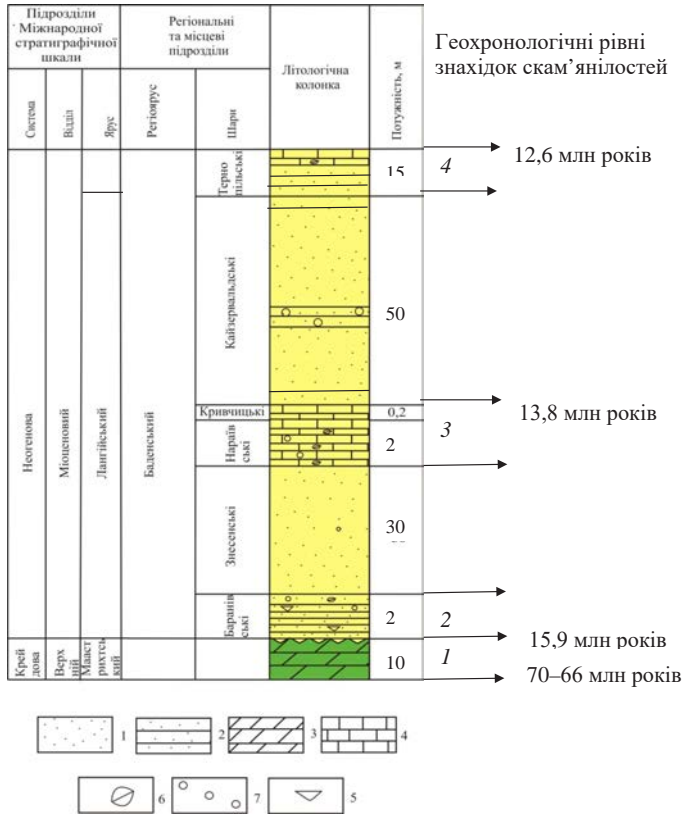


Рис. 2. Схематичний зведений стратиграфічний розріз парку «Знесіння» (за [4; 6] зі змінами) і геохронологічні рівні поширення фосилій.

Склад порід: 1 – піски; 2 – пісковики; 3 – мергелі; 4 – вапняки. Органічні залишки: 5 – брахіоподи; 6 – двостулкові молюски; 7 – літотамнієві водорості у неогенових породах Знесенської височини

Викопні рештки найдавнішого на території парку верхньокрейдового стратиграфічного рівня представлені біофосиліями тваринного походження (зоофосиліями) у вигляді відбитків скелетів і рострів (рис. 1, 3, фіг. 1). Склад решток аналогічний фосиліями пізньокрейдового віку сусідніх теренів. Це залишки вимерлих істот – відбитки стулків брахіопод, двостулкових молюсків, відбитки скелетів головоногих молюсків підкласу Амоноїдеї (*Scaphites* sp.); ростри колеоїдей (белемніти *Belemnitella lanceolata* (Schloth.) тощо (рис. 3, фіг. 1). Вмісні відклади – мергелі верхньої крейди, містять помірну кількість фосилій, які розосереджені в породі.

Викопні рештки другого стратиграфічного рівня є в базальних відкладах неогену – баранівських верствах, які відслонюються біля північного та східного підніжжя Знесенської височини (рис. 1). Викопні рештки у вигляді іхнофосилій (нірки рийних тварин); біофосилій тваринного (відбитки стулків і ядра брахіоподів, двостулкових молюсків; голки морських їжаків) і рослинного (скам'янілі колонії літотамнієвих водоростей, фрагменти відбитків стебел наземних вищих рослин) походження; мікроскопічних скелетів одноклітинних твариноподібних організмів – форамініфер. На цьому стратиграфічному рівні визначено дві локації з численними рештками – у східній частині парку – місцезнаходження іхнофосилій; у північній – локація, відома під назвою «Скам'янілі мешканці дна міоценового моря».

Перша локація другого стратиграфічного рівня припадає до лінії контакту між відкладами крейдової та неогенової систем. Вона незгідна, підкреслена ядрами *U*-подібних нірок. Їхні круглі вхідний і вихідний отвори розміщені на покрівлі крейдових мергелів. Порожнини нірок заповнені міоценовим піщаним матеріалом. Власне нірки у вигляді зліпків (ядер) тунелів нірок розташовані всередині крейдових мергелів; орієнтовані перпендикулярно або під крутим кутом до поверхні незгідності. Такі біогенні утворення вперше описав М. Ломницький (1884 р.) [8] саме на території «Знесіння». Зараховані до виду *Rhizocorallium saxicavum* (Lomnicki) (1964 р.) та інтерпретовані як нірки міоценових бентосних рийних організмів (імовірно, хробаків чи ракоподібних), вириті у верхньокрейдових осадах, що тоді покривали дно морського басейну, і заповнені осадами міоцену (Вялов, 1964 р.) [1] (рис. 3, фіг. 2 (за [2])).

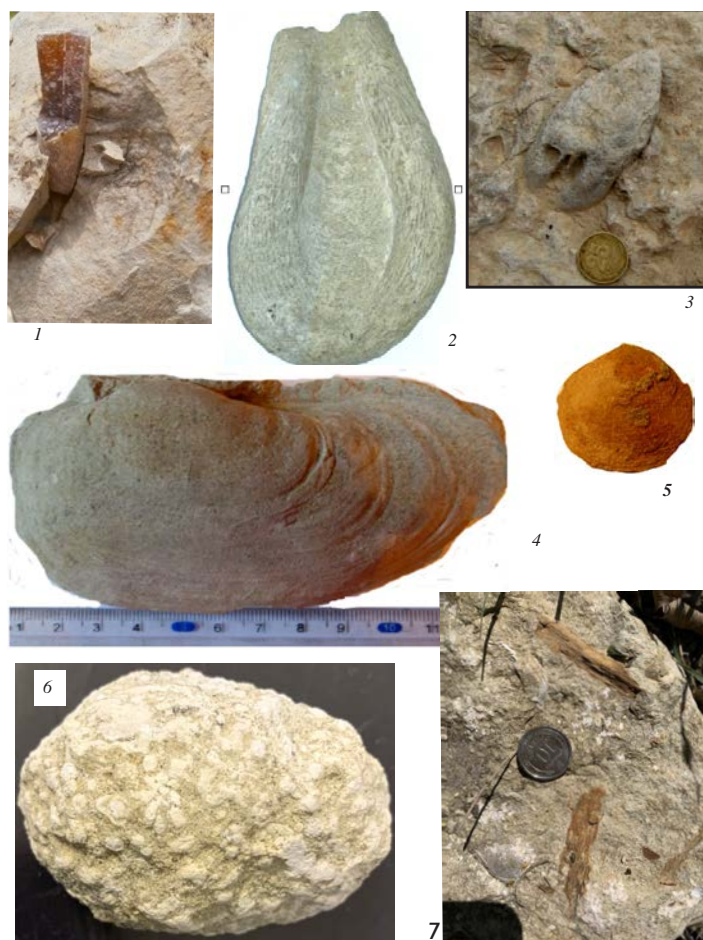


Рис. 3. Палеонтологічні рештки парку «Знесіння» (усі зображення X1/2)
1 – ростр белемніту *Belemnitella lanceolata* (Schloth.); перший стратиграфічний рівень; верхня крейда; 2 – *Rhizocorallium saxicavum* (Lomnicki), 1964 – нірки міоценових бентосних рийних організмів, другий стратиграфічний рівень; 3, 4 – *Panopea menardi* Deshayes, 1828, другий стратиграфічний рівень; 3 – прижиттєве положення; 4 – ядро, вигляд збоку; 5 – *Terebratula cochlear* Poli (брахіопода); 6 – скам'яніла колонія літотамнієвих водоростей; 7 – фрагменти стебел наземних рослин

Відома палеонтологічна пам'ятка парку «Знесіння» – «Скам'янілі мешканці дна міоценового моря» (віком 15,9 млн років) є місцезнаходженням переважно автохтонних організмів; їх систематичний та екологічний склад схарактеризовано в працях [3–6]. У цьому місцезнаходженні визначено багатий комплекс біофосилій (відбитки, ядра) різноманітних морських і, менше, наземних організмів. Поміж морських мешканців визначено 17 видів двостулкових молюсків, один вид гастроподів, один вид брахіоподів, сім видів форамініфер, один вид літотамнієвих водоростей; макрорештки й пилок наземних вищих рослин. Фотографії деяких фосилій є на рис. 3 (фіг. 3–5). Більшість (75%) скам'янілостей цього місцезнаходження – це рештки автохтонних організмів – мешканців дна неглибокого субтропічного моря, що існувало в міоценовий час.

«Скам'янілі мешканці дна міоценового моря» – це рідкісне за кількісним, видовим, екологічним складом угруповання скам'янілих морських організмів міоценового часу, єдине в межах Львова та його околиць.

Його унікальність полягає в такому:

- чисельності й різноманітності мешканців міоценового моря;
- збереженні прижиттєвих стосунків і характеру розміщення палеобіоти;
- доступності для спостережень і подальшого вивчення.

Описане місцезнаходження є визначною пам'яткою природи та цінним палеонтологічним об'єктом, важливою ланкою для відновлення історії Землі; має значну наукову цінність. Це атракційне геологічне місце, придатне для освітніх цілей і геотуризму.

Третій стратиграфічний рівень відкладів, збагачених палеонтологічними рештками, визначено в нараївських верствах міоцену, які в парку поширені повсюдно. У них є численні фітофосилії – скам'янілі жовна різного розміру (1–8 см) та онколіти (дрібні, до 5–7 мм у діаметрі, кулясті, з концентричною будовою всередині), утворені червоними водоростями роду *Lithotamnium*. Скупчення літотамній утворюють органогенні фітоморфні вапняки, названі за родовою назвою породотворних водоростей літотамнієвими вапняками (рис. 4, фіг. 1). Перекривні кривчицькі верстви, суцільно складені з дрібних відбитків стулок бівальвій *Ervilia pusilla* Phil., відомі лише за описами з праці [1].

Четвертий рівень із численними й різноманітними палеонтологічними рештками визначений лише в одному місцезнаходженні. Це тернопільські верстви (скеляста «шапка») неогену гори Лева. Залишки давніх організмів тут трапляються в різних типах порід – пісковиках, вапняках, глинистих прошарках. Вони розрізняються за збереженістю і складом. У пісковиках трапляються переважно алохтонні неповної збереженості відбитки стулок двостулкових молюсків. Вапняки двох літотипів містять численні викопні рештки. Перший літотип суцільно складений скелетами *Ostrea digitalina* Dub., які утворюють автохтонні (прижиттєві) скупчення у вигляді лінз і прошарків повно збережених скелетів, і породи – устричники (рис. 4, фіг. 3, 4). Другий різновид органогенних біоморфних вапняків – пеліциподово-літотамнієві з ядрами черевоногих молюсків, скам'янілими колоніями літотамнієвих водоростей, алохтонними відбитками стебел наземної рослини, стулками двостулкових молюсків, ядрами морських їжаків (рис. 4, фіг. 2; рис. 5). У них трапляються численні відбитки стулок двостулкових молюсків родів *Pecten*, *Chlamys*, *Glycymeris*, *Cardium*, *Ervilia* тощо (рис. 5, фіг. 1–4, 6). На горі Лева фрагменти стулок устриць можна спостерігати також на самій вершині гори в глинисто-піщаних осадах буглівських верств неогену.

Палеонтологічні рештки є дуже інформативною компонентою осадових порід. За ними визначають вік умісних відкладів, тип і параметри середовища осадконагромадження, гідродинамічний режим водного басейну тощо. Усі фосилії, знайдені на території парку, – це залишки морських мешканців, свідчать про існування тут у крейдовий і неогеновий час тропічного моря з численними й різноманітними переважно донними мешканцями.



**Рис. 4. Органогенні породи парку «Знесіння» (усі зображення X1/2).
1 – літотамнієвий вапняк, другий стратиграфічний рівень; 2–4 – органогенні біоморфні
вапняки третього стратиграфічного рівня: 2 – пелециподово-літотамнієвий;
3, 4 – устричники**

Як показали виконані дослідження, на території парку «Знесіння» є унікальний природний комплекс із цікавими палеонтологічними об'єктами – свідками складної й тривалої історії формування земної кори. Узагальнену характеристику розподілу залишків давніх організмів у відслоненнях парку наведено вперше. Фосилії, виявлені в парку, важливі для пізнання геологічного літопису території Львова, є важливою ланкою для відновлення історії Землі, мають наукову, пізнавальну, культурно-естетичну цінність, важливі для навчального процесу навчальних закладів України й можуть стати цікавими геотуристичними об'єктами.



Рис. 5. Фосилії четвертого стратиграфічного рівня парку «Знесіння» (усі зображення Х1/2).
1 – *Ostrea digitalina* Dubois de Montpereux, 1831: а – ліва стулка зсередини; б – права стулка ззовні; 2–4 – двостулкові молюски: 2 – *Cardium* sp., відбиток скелету; 3 – *Glycymeris* sp., ядро; 4 – *Pecten* sp., відбиток скелету; 5 – внутрішнє ядро червоногого молюска; 6 – *Chlamys* sp., відбиток скелету; 7 – морський їжак

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вялов О.С., Горецький В.О. Про міоценові *Rhizocorallium* Подільської плити. *Геологія і нафтогазоносність Волино-Подільської країни Руської платформи*. Надра, 1964. С. 135–150.
2. Гоцанюк Г.І., Іваніна А.В. Історична геологія з основами палеонтології. Ч. 1 : Палеонтологія (у схемах, рисунках і таблицях) : навчально-методичний посібник. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2017. 310 с.
3. Характеристика унікальної палеонтологічної пам'ятки – місцезнаходження міоценової біоти в центрі Львова / А. Іваніна, Г. Гоцанюк, Г. Спільник, Г. Салінська, О. Підлісна. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2016. Вип. 30. С. 149–158.
4. Іваніна А., Підлісна О. Стандартизована характеристика природних геологічних об'єктів регіонального ландшафтного парку «Знесіння» (Львів). *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2017. Вип. 31. С. 118–129.

5. Міоценова біота як геотуристичний об'єкт регіонального ландшафтного парку «Знесіння» (Львів) / А. Іваніна, Г. Гоцанюк, Г. Спільник, О. Підлісна. *Геотуризм: практика і досвід* : збірник матеріалів III Міжнар. наук.- практ. конф., 26-28 квітня, 2018, Львів. Львів : Каменяр, 2018. С. 54–56.
6. Систематизація та характеристика геотуристичних об'єктів регіонального ландшафтного парку «Знесіння» (м. Львів) / А. Іваніна, Г. Гоцанюк, Г. Спільник, О. Підлісна. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Геологія, географія*. 2018. № 26 (1). С. 50–63. doi: 10.15421/111806.
7. Łomnicki A.M. Atlas geologiczny Galicyi. Tekst do zeszytu dziesiątego. Cz. 1, *Geologia Lwowa i okolicy*. Kraków : Drukarnia Uniw. Jagiellońskiego, 1898. S. 55–62.
8. Łomnicki M. Slodkowodny utwor trzeciorzędny na Podolu Galicyjskim. *Kosmos*. 1884. № 9. S. 7–12.

REFERENCES

1. Vialov O.S., Horetskyi V.O. (1964). Pro miotsenovi Rhizocorallium Podilskoi plyty [About the Miocene *Rhizocorallium* of the Podillia plate] // *Heolohiia i naftohazonosnist Volyno-Podilskoi okrainy Ruskoj platformy*. Nadra. S. 135–150.
2. Hotsaniuk H.I., Ivanina A.V. (2017). Istorychna heolohiia z osnovamy paleontolohii. Ch. 1. Paleontolohiia (u skhemakh, rysunkakh i tablytsiakh) [Historical geology with the basics of paleontology. Part 1. Paleontology (in diagrams, figures and tables)]: navch.-metod. posibnyk, Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU im. I. Franka, 310 s.
3. Ivanina A., Hotsaniuk H., Spilnyk H., Salinska H., Pidlisna O. (2016). Kharakterystyka unikalnoi paleontolohichnoi pamiatky – mistseznakhodzhennia miotsenovoi bioty v tsestri Lvova [The characteristic of the unique paleontological landmark – the location of the Miocene biota in the center of Lviv] // *Visnyk Lvivskoho universytetu*. Ser. heol. Vyp. 30. S. 149–158.
4. Ivanina A., Pidlisna O. (2017). Standartyzovana kharakterystyka pryrodnykh heolohichnykh ob'ektiv rehionalnoho landshaftnoho parku Znesinnia (Lviv) [Standardized characteristics of natural geological objects of the Znesinnia regional landscape park (Lviv)] // *Visnyk Lvivskoho universytetu*. Ser. heol. Vyp. 31. S. 118–129.
5. Ivanina A., Hotsaniuk H., Spilnyk H., Pidlisna O. (2018). Miotsenova biota yak heoturystychnyi ob'iekt rehionalnoho landshaftnoho parku «Znesinnia» (Lviv) [Miocene biota as a geotourism object of the regional landscape park «Znesinnia» (Lviv)] // *Heoturizm: praktyka i dosvid*: zb. mat. III mizhnar. nauk.- prakt. konf., 26-28 kvitnia, 2018, Lviv. Lviv: Kameniar. S. 54–56.
6. Ivanina A., Hotsaniuk H., Spilnyk H., Salinska H., Pidlisna O. (2018). Systematyzatsiia ta kharakterystyka heoturystychnykh ob'ektiv rehionalnoho landshaftnoho parku «Znesinnia» (m. Lviv) [Systematization and characterization of geotourist objects of the regional landscape park «Znesinnia» (Lviv)]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Heolohiia, heohrafiia – Bulletin of Dnipropetrovsk University. Geology, geography*, № 26 (1), S. 50–63. DOI: 10.15421/111806.
7. Łomnicki A.M. Atlas geologiczny Galicyi [Geological atlas of Galicia] Tekst do zeszytu dziesiątego. Cz. 1, *Geologia Lwowa i okolicy*. Kraków: Drukarnia Uniw. Jagiellońskiego, 1898. S. 55–62.
8. Łomnicki M. Slodkowodny utwor trzeciorzędny na Podolu Galicyjskim [Tertiary freshwater formation in the Galician Podolia] // *Kosmos*. N 9. 1884. S. 7–12.

PALEONTOLOGICAL FINDINGS ON THE TERRITORY OF “ZNESINNIA” PARK (LVIV, WESTERN UKRAINE)

Antonina Ivanina, Halyna Hotsanyuk, Tetiana Smetaniuk

Ivan Franko National University of Lviv,

Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005

e-mail: antonina.ivanina@lnu.edu.ua; halyna.hotsanyuk@lnu.edu.ua;

Tetiana.Smetaniuk@lnu.edu.ua

Regional Landscape Park “Znesinnia”, located almost in the center of Lviv, is an extremely interesting and unique place for both geotourism and geological research. On the territory of the park there are outcrops of Cretaceous and Neogene systems, which contain numerous remains of paleoorganisms. Field surveys of outcrops and remains of ancient organisms in the “Znesinnia” Park were carried out in seven locations. Numerous fossils of various origins were discovered. These are ichnofossils (kidneys of burrowing animals); zoofossils (skeletons, prints of skeletons, cores of molluscs, brachiopods, echinoderms); phytofossils (fossilized colonies of lithotamnium algae, prints of the stems of terrestrial plants); microfossils – foraminifera. Remains of marine inhabitants prevail. There are algae and molluscs, sometimes brachiopods; other types of fossils are rare. The peculiarities of the fossils’ spreading and the general paleontological characteristics of the Cretaceous and Neogene deposits of the park are given at first. The distribution of paleontological remains in the section is uneven. They are concentrated on four stratigraphic levels (one is Cretaceous, three are defined in the Neogene: in the Baraniv, Narayv, and Ternopil layers). The composition of the biota of each of the described levels is determined, images of some paleontological finds of different stratigraphic levels are given. Such studies are important for restoring the geological history of the Earth, solving applied geological problems, have scientific and cognitive significance and can become an interesting object of geotourism. They will contribute to the popularization of paleontological knowledge, the growth of interest in the history of life on Earth, and the preservation of the geological heritage of Znesinia Park from destruction and vandalism.

Key words: paleontology, Cretaceous, Neogene, fossils, “Znesinnia” Regional Landscape Park.

ВИКОПНА ДЕРЕВИНА – ПАЛЕОБОТАНІЧНИЙ ОБ'ЄКТ ГЕОЛОГІЧНОЇ СПАДЩИНИ УКРАЇНИ: МІСЦЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ, СТРАТИГРАФІЧНЕ ПОЛОЖЕННЯ, МІНЕРАЛОГІЧНИЙ СКЛАД

Ярина Тузяк¹, Уляна Борняк¹, Марина Рагуліна²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: ragunatuzyak@gmail.com; ulyana.bornyak@lnu.edu.ua

²Державний природознавчий музей НАН України,
вул. Театральна, 18, Львів, Україна, 79000

Викопна деревина – геологічний феномен національного й міжнародного значення, належить до категорії палеоботанічних пам'яток природи. Це унікальний самоцвіт, який цікавий не тільки своїми декоративними властивостями, а й походженням, яке є предметом дискусій не одного покоління геологів і не має єдиного погляду серед дослідників. Фосилізовані рештки деревини з давніх-давен привертала й надалі привертають увагу науковців, комерсантів, колекціонерів. Це матеріал, який активно використовують у побуті. На сучасному етапі у викопному стані зустрічаються породи деревини різного мінерального складу. Вони можуть бути заміщені карбонатом чи фосфатом кальцію, різними мінералами заліза та міді, оксидом марганцю, флюоритом, баритом, натролітом і смектитовою глиною, гіпсом, гетитом. В окремих випадках скам'яніла деревина може містити прожилки золота, срібла, урану. Найвідомішими, найпоширенішими й найбільш вивченими є фосилізована деревина, мінералізована поліморфними відмінами кремнезему – опалу, халцедону та кварцу. Незалежно від складу процеси мінералізації відбуваються за участі однакових чинників: наявності розчинених елементів, рН, Eh і температури поховання. Також не менш важливими під час мінералізації є проникність деревини й анатомічні особливості. Коли процеси осадження відбуваються в декілька етапів, викопна деревина може мати складну мінералогію.

Метою започаткування досліджень є відтворення цілісної картини еволюції планети Земля з фрагментів геологічного й палеонтологічного літопису на підставі вивчення палеоботанічних залишків території України, яка полягає в з'ясуванні: а) історії досліджень і ревізії досягнених результатів і висновків із зазначеної тематики; б) стратиграфічного положення й систематичної належності палеоботанічних знахідок; в) мінералогічного складу палеофлори та геохімічних умов метасоматозу; г) палеофлористичного скарбу України як пам'ятки природи національного й міжнародного значення з перспективою використання в майбутньому.

Ключові слова: міоцен, скам'яніла деревина, Розточчя, силіцифікація.

Мінерально заміщена деревина значно поширена в осадовому чохла й зустрічається на всіх континентах, починаючи з пізнього палеозою (середній-пізній девон), із часу появи перших деревних рослин і перших лісів [11]. Завдяки природним (геологічним) процесам, які сприяли скам'янінню деревини, отримано неоціненний науковий, археологічний і комерційний матеріал. Різноманітний мінеральний склад зумовив використання викопної деревини в різних сферах людської діяльності (рис. 1).

Хоча скам'яніла деревина відома з часів давніх цивілізацій (античні часи [15; 16], Стародавній Єгипет [13], епоха Відродження [6; 23]), інтерес до неї не втрачений. Так, наприклад, корінне населення центральної частини Вашингтона використовувало викопну деревину для виготовлення наконечників для стріл [19] (рис. 1), у Давньому Єгипті зі скам'янілої деревини

виготовляли амулети й обереги, давнє населення Італії, етруски, використовували фосилізовану деревину для створення релігійних предметів ручної роботи. Трохи згодом ці фосилії почали застосовувати в архітектурі й будівництві як матеріал для декорування, оздоблення тощо [4].



Седліска. Скам'янілий пен'юк біля церкви



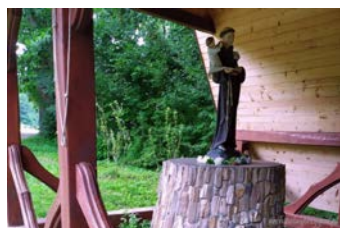
Седліска. Каплиця при костелі



Седліска. Використання скам'янілого дерева в спорудженні надгробків



Седліска. Викопна деревина в музеї



Седліска. Фрагмент каплиці святого Антонія



Седліска. Каплиця святого Флоріана



Рава-Руська. Використання скам'янілого дерева в спорудженні надгробків



Рис. 1. Сфери використання скам'янілої деревини

Такі палеоботанічні знахідки на глобальному рівні рідкісні, приваблюють своєю незвичністю й загадковістю, мають науково-дослідне, культурно-освітнє й комерційне значення. Ці фітофосилії, як і будь-які палеонтологічні рештки, неоціненні. Вони створюють уявлення та розуміння про таксономічний склад порід дерев, які проростали в далекому минулому, палеокліматичні умови середовища, палеоекологічні й палеогеографічні особливості регіонів, у яких вони виявлені. На окрему увагу заслуговують мінеральні заміщення органічної складової викопної деревини, які викликають дискусії в наукових середовищах, залежать від комплексу чинників, мають багатостадійну природу й потребують детального вивчення.

У 1975 р. законодавчий орган штату Вашингтон прийняв скам'янілу деревину як офіційний державний коштовний камінь [19]. Так ці рештки дерев стали об'єктом дослідження різних наукових напрямів – археології, архітектури, природничих наук. Серед спектру геологічних наук вони викликали зацікавлення палеонтологів, які прагнуть зрозуміти еволюцію рослинних спільнот, інтерпретувати палеосередовища й оцінити кліматичні особливості давніх геологічних епох, мінералогів, петрографів і геохіміків, які намагаються з'ясувати процеси метасоматозу й геохімію середовища поховання.

Метою започаткування досліджень є відтворення цілісної картини еволюції планети Земля з фрагментів геологічного й палеонтологічного літопису на підставі вивчення палеоботанічних залишків території України, що полягає в з'ясуванні: а) історії досліджень і ревізії досягнених результатів і висновків із зазначеної тематики; б) стратиграфічного положення й систематичної належності палеоботанічних знахідок, їх середовища поховання; в) мінералогічного складу палеофлори та геохімічних умов метасоматозу; г) палеофлористичного скарбу України як пам'ятки природи національного й міжнародного значення з перспективою використання в майбутньому.

У світовому масштабі «ксілоліти», «петрифікації» або «скам'янілий ліс» розглядають як геологічний скарб (феномен) національного й міжнародного значення. Місця, у межах яких виявлені мінералізовані палеоботанічні залишки – фітофосилії, належать до охоронних територій – національних парків, геопарків або палеопарків [5–7; 9; 12; 13; 15; 16; 22].

Органічна тканина у фосилізованих зразках може бути заміщена різними мінералами. Найпоширенішим і детально вивченим є кремнезем на різних стадіях кристалізації, від аморфного опала через частково кристалізовані форми – кристобаліт, халцедон, аж до кварцу [8; 20; 21 тощо]. В інших випадках деревина минулих геологічних епох може бути мінералізована кальцитом [8; 14; 21], доломітом та апатитом [8; 14; 21], а також такими мінералами заліза, як гематит, гетит і пірит. Широкий огляд петрифікацій різного складу наведено Буурманом [8]. Доведено, що залучення карбонатів заліза, доломіту й, можливо, апатиту сприяє поганому ступеню збереження деревини, ніж у випадку з кремнеземом або кальцитом [14]. До 70-х років ХХ ст. вважали, що в процесі фосилізації деревини бере участь лише один мінерал. Проведені дослідження останніх десятиліть [14; 17–21] із залученням спектра методів довели, що простір клітин і клітинні стінки можуть бути заповнені різними як мінералами, так і поліморфами кремнезему. Новак та ін. [21] виявили, що деякі органічні полімери з первинної деревини можуть бути збережені в клітинній стінці та співіснувати з відкладеними мінералами у вигляді структури, що нагадує органічно-неорганічний композит. Точніше кажучи, це скоріше композитна мінеральна структура, вибірково накладена на залишки оригінальної органічної сітки. На сучасному етапі можна спостерігати різні моделі багатокомпонентної пермінералізації [14].

Процеси мінералізації рослинних решток вивчають давно. Одна з проблем в інтерпретації процесу фосилізації полягає в тому, що силіцифікація деревини може відбуватися

в декілька етапів; результати, отримані з однієї місцевості, не можуть бути застосованими до викопних дерев, що походять з інших локацій. Ще одна складність пов'язана з труднощами точної ідентифікації мінералів на основі обмежених аналітичних даних. Це дослідження передбачає вивчення різноманітних наборів даних за допомогою широкої комбінації методів. Результати показують, що силіцифікація деревини може бути надто складною. Заміщена кремнеземом деревина з одного місця може містити кремнезем як у кристалічній, так і в некристалічній формах, ці варіації іноді можна простежити в одному маленькому зразку або навіть у суміжних клітинах.

Можливий підхід до проблеми й з іншого боку. Докладено певних зусиль для скам'яніння деревини штучним способом, що дало хороші результати за відносно короткий (не геологічний) час [10]. Особливий інтерес становила насиченість кремнеземом. Цей процес був освоєний настільки, що в репліках збереглася навіть первинна орієнтація фібрил целюлози. Але в деяких природних умовах процес відбувається й відносно швидко. Таке штучне заміщення компонентів деревини мінералами викликає живий інтерес у галузі матеріалознавства, оскільки припускає, що можна синтезувати цілком нові матеріали на основі структури деревини.

Осадний чохол України також містить фосилізовану деревину, таких місць декілька, кожне є унікальним і заслуговує на увагу. Найбільш відомими є силіцифікована деревина неогену Розточчя, вік якої становить 20–13 млн років, кам'яновугільні петрифікації Донбасу (Дружківка), віком 300–280 млн років. Також є відомості про знахідки ксилолітів у межах Закарпаття, Борислава, Криму, Запоріжжя тощо. Вони являють собою цінність як природні утворення, які не підлягають відтворенню, і становлять частину національної палеоботанічної спадщини України, своєрідні свідчення поєднання середовища формування й геологічних подій, що мали місце на території сучасної України у відповідні відрізки часу геологічного минулого. На сучасному етапі фосилізована деревина України не вивчена з позиції мінералогічного складу. У дослідженні ми розглянемо петрифікації міоцену Розточчя.

Історія виявлення унікальних знахідок міоценової викопної деревини території України сягає глибокої давнини. Через підпорядкування теренів України різним державним устроєм викопну деревину вивчали дослідники різних національностей – поляки, українці та ін. Перші відомості про мінералізовані (скам'янілі) стовбури дерев і їхні фрагменти з'явилися в XV ст. в період Епохи Відродження, коли Ян Дугош (рис. 2) описав їх у «Хроніці» як одну з «двох особливостей польської країни» (cf. Buraczynski, 2002). Він писав, що в околиці Гребенного, на полях і болотах знайдено великі відрізки скам'янілих стовбурів. Я. Дугош уважав, що це соснові стовбури. Однак цьому твердженню суперечить означення скам'янілого дерева, знайденого в повоєнний період в околицях Гарая, згідно з яким це *Taxodioxydon sequoianum* Goth [6; 23]. Звичайно, важко припустити, що на тій території ріс тільки один вид дерев. На жаль, у пошуках істини виникають труднощі. У процесі силіцифікації часто відбувається значне затирання натуральної структури дерева, що ускладнює визначення виду рослин. Як відомо, на польських землях маємо справу з вторинними відкладами, у яких частіше можна сподіватися на виявлення частини дерев, аніж цілого дерева. Поєднання зусиль польських та українських науковців могло б дати добрі результати, тому що в околицях м. Жовкви й с. Глібовичі маємо справу з первинним покладом, у якому можна сподіватися щонайменше на виявлення пилків, які полегшують визначення порід [6; 23].



Рис. 2. Ян Длугош (1415–1480) – польський історіограф, який висунув гіпотезу утворення скам'янілої деревини

У межах польського Розточчя знаходили чимало скам'янілої деревини, яку використовували навіть у будівництві (рис. 1). У селі Седліска на фундаменті із цього матеріалу зведено дзвіницю біля церкви. Розточанський національний парк у Звезинці закупив фундамент із розібраної стодоли, яка складалася з 36 «колод» скам'янілого дерева. У наш час заможні люди скуповують в околицях скам'янілості й роблять із них підлоги, стіни чи димарі. Зусилля обмежити цей промисел переважно невдалі, що пов'язано з великою бідністю та безробіттям місцевого населення, які прагнуть збагачення для задоволення найбільш необхідних потреб. І сьогодні закони не спроможні захистити ці пам'ятки природи від знищення. У вітчизняній літературі відомості про викопну деревину околиць Львова знаходимо в працях Л.М. Кудріна, І.В. Венглінського, В.О. Горецького та ін. Праці, які б містили детальнішу інформацію про процеси метасоматозу, умови поховання, відсутні. Більше уваги цій проблемі надали закордонні дослідники [5; 7–9; 14–22; 24].

Зазвичай уважають, що силіфікації підлягали виключно голонасінні види, деревина яких насичена смолою, і за наявності твердої деревини важче піддається або не піддається швидкому розкладанню. Однак дійсність може бути дещо іншою. Серед досліджуваних експонатів найчастіше натрапляємо на скам'янілу деревину саме цих видів, але нерідко маємо справу зі скам'янілою деревиною покритонасінних. Про наявність видів листяних порід у давніх лісах цього періоду, що й описувані скам'янілості з Розточчя, знаємо з описів їхніх зелених частин, відбитих у відкладах бурого вугілля в Польщі, а також Україні в глинисто-теригенних утвореннях. Як зазначає З. Лаурув [3], пов'язувати скам'янілості деревини в третинних відкладах із Розточчя тільки із секвоюми, кипарисами чи ялівцями проблематично, тому що види, які ростуть сьогодні, не мають смоляних ходів у деревині, а отже, смоли, яка консервує, у ній не може бути багато. Дослідження дерев'яних стовбурів із шахти в Турошові довели брак смоляних ходів у їхній деревині, а отже, і смоли. У досліджуваних сьогодні зразках скам'янілостей найбільш імовірно, що смоляні ходи таки виступають. Сьогодні смоляні ходи простежуємо в деревині сосни, модрини, ялини й кедрів. Метасеквої можуть мати скупчення клітин смоляних ходів у деревині, а в кипарисів смола може інколи виступати в серцевинних променях. До того ж підтверджено, що в третинних лісах росли також сосни. На поточний момент потрібно достовірно ідентифікувати види скам'янілого дерева або необхідно з'ясувати причини силіфікації майже виключно деревини голонасінних видів. Це однак проблема палеоботаніків. Наприклад, у вікових аналогах США [19], Туреччини серед викопної деревини також трапляються фрагменти покритонасінних. Варто зазначити, що покритонасінні або листяні дерева мають дещо складнішу будову, на відміну від хвойних.

Широке використання засобів дослідження скам'янілої деревини, якими володіємо, вимагає використання сучасної апаратури. Самі описи зовнішнього вигляду скам'янілостей не сприяють отриманню вичерпної інформації. Означення видів скам'янілих дерев вимагає мікроскопічних досліджень. Дотепер користувалися передусім оптичною мікроскопією, завдяки якій можна спостерігати лише тонкий зріз скам'янілостей. Однак багато структурних елементів піддається руйнуванню. Сьогодні науковці користуються іншим інструментом – електронним сканувальним мікроскопом і комп'ютерною томографією, які створюють зображення, близькі до тривимірних, що характеризуються майже непорушеною структурою матеріалу.

Актуальність детальних досліджень викопної деревини міоцену Розточчя полягає у створенні транскордонного геопарку «Кам'яний ліс Розточчя» з метою паспортизації палеонтологічних (палеоботанічних) об'єктів.

Ідея щодо створення міжнародного геопарку на Розточчі ініціювали польські геологи під час реалізації наукового проекту «Геопарк Кам'яний ліс на Розточчі». Останніми роками наукові інституції Кракова, Любліна й Львова розробляють концепцію та програму створення транскордонного геопарку «Кам'яний ліс Розточчя». Прецедент утворення транскордонних геопарків уже відомий на Європейському континенті, зокрема транскордонним є геопарк «Мужакова Дуга» [2; 6], розташований біля кордону між Польщею та Німеччиною. На польській частині Розточчя наукові дослідження щодо створення геопарку розпочато у 2006 р. у рамках національного дослідницького проекту «Кам'яний ліс Розточчя». Цей проект дав змогу здійснити документацію відслонень із фрагментами скам'янілих дерев із роду кипарисових (вид *Taxodium taxodii*) на території Равського Розточчя (околиці Гребенного) [23]. На українській частині Розточчя дослідження щодо створення транскордонного геопарку «Кам'яний ліс Розточчя» розпочато у 2010 р. в рамках підготовки до участі в програмі INTERREG III (Україна – Польща – Білорусь), де українськими співвиконавцями стали представники Львівського національного університету ім. Івана Франка за участю органів місцевої влади Жовківщини.

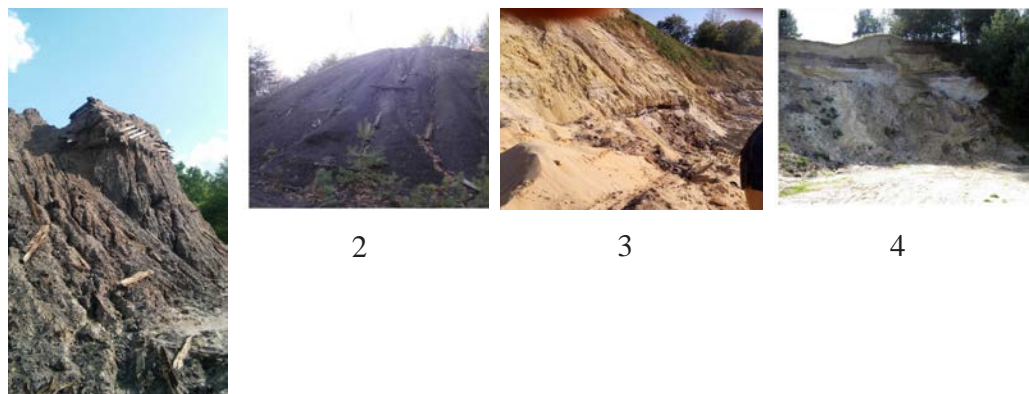
Дослідження ґрунтуються на колекції викопної деревини, зібраної в процесі наукової експедиції 2023 р. в с. Стара Скварява, с. Глинське, с. Заглина, с. Дубрівка, гора Вовковиця (Львівська обл.) (рис. 3). Палеоботанічні рештки походять із міоценових відкладів теригенного складу й пластів бурого вугілля. Збори налічують 13 зразків різного розміру (від 50–60 см до 10–15 см) і забарвлення. Рештки деревини з пластів бурого вугілля – сіруваті, буруваті, чорні; фрагменти фітофосилій із теригенно-карбонатних прошарків – кремкові, рожевуваті, жовтуваті, білі.

Фосилізована деревина зі збереженням анатомічної структури виявлена у відвалах на місці розроблення покладів бурого вугілля, розташованих у межах зчленування Розточчя з Малим Поліссям (Жовква, Скварява, Глинське, Дубрівка, Потелич) і Подільської височини з Малим Поліссям (Вороняки, Підгірці, Ясенів) (рис. 3). Ця зона простягається у вигляді вузької смуги завширшки 7–10 км. У міоцені вони являли собою заболочені території (періодично затоплювані лагуни-озера), які облямовували з півночі Центральний Паратетис.

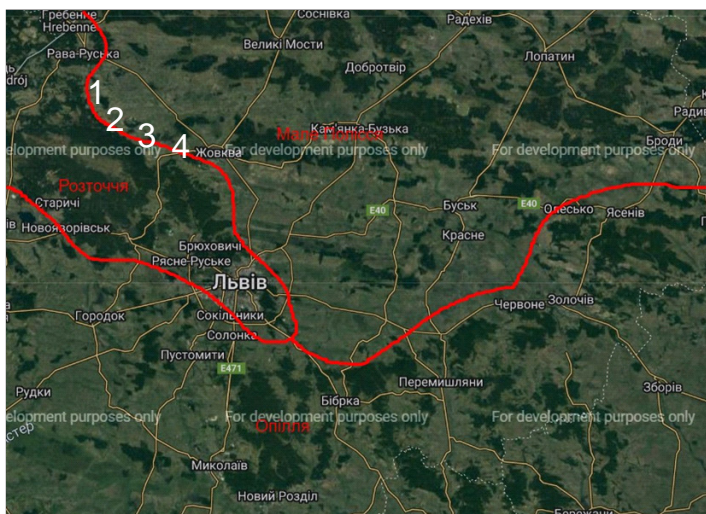
Поклади лігніту мали зазвичай лінзовидну форму й невеликі розміри. Площі окремих покладів не перевищували 2,5–3,0 км², а вугільні пласти залягали на глибині від 5 до 60 м. Ці пласти переважно мали товщину 0,5–1,5 м й зрідка сягали двох і більше метрів [1].

Виявлена скам'яніла деревина представлена силіцифікованими, частково й цілком обвугленими рештками (с. Заглина, с. Дубрівка). Як зазначає А. Кучумов зі співавторами [14], лігнін найчастіше зустрічається серед залишків первинної органічної речовини й чітко простежується в усіх видах деревини, крім апатито-кальцитової. Серед скрем'янілих решток є такі, у яких наявні різні відміни кремнезему (с. Стара Скварява), а є представлені однією відміною (гора Вовковиця).

За уявленнями американських дослідників S. Mitzutani, G. Mustoe і Th. Dillhoff [18–20 тощо], процес петрифікації або силіцифікації є складним і залежить від комплексу чинників і параметрів середовища, наприклад, від порід дерев, геохімії водного басейну та клімату. У живих дерев деревина слугує двом головним цілям: структурна підтримка крони листя і транспортування вгору рідин, що містять поживні речовини. Проникність рідини зберігається в похованих стовбурах дерев, що не дивно, беручи до уваги те, що в живому дереві більша частина внутрішньої тканини мертва. Мінералізація відбувається,



1



1

2

3

4

Рис. 3. Місця локалізації відбору фосилізованої деревини:
1 – с. Заглина (з пластів бурого вугілля), **2** – с. Дубрівка (з пластів бурого вугілля),
3 – с. Стара Скварява (з теригенно-карбонатних шарів);
4 – с. Глинське (з теригенних шарів)

коли мінерали, розчинені в ґрунтових водах, поглинаються похованою деревиною. Початкове відкладення кремнезему зазвичай починається на поверхнях клітинних стінок через «органічну будову». Мінералізація міжклітинних просторів, судин, тріщин та осередків гнилі може відбуватися під час пізніших епізодів, коли геохімічне середовище змінилося. Наприклад, високий рівень розчиненого кремнезему сприяє швидкому випаданню опала, нижчий рівень кремнезему – уповільненню швидкості осадження.

Наприклад, проникність також може бути різною в різних частинах у межах однієї колоди. У деяких лісах у внутрішніх областях «серцевини» є клітини, частково заповнені целюлозною тканиною (тилозом), яка зменшує проникність. Проникність також може відрізнятися серед сусідніх клітин. Це явище пояснює шкоду, яку рослини можуть зазнати під час засухи. Якщо в окремі трахеїди або судини утворюється повітряний проміжок, ця клітина втрачає здатність проводити рідини. Імовірно, це висихання може відбуватися в давніх колодах, які піддавалися впливу атмосферних умов перед похованням. Поглинання й внутрішні перенесення мінералізованих підземних вод також можуть бути пов'язані з наявністю тріщин або гнилих ділянок.

Як ці параметри впливають на силіцифікацію? На мінеральні осадження впливає хімічний склад підземних вод, який може змінюватися з часом. На мінералізацію впливають температура, Eh і рН, що також є змінними чинниками. У результаті клітини з високою проникністю можуть мінералізуватися інакше, ніж клітини з меншою проникністю. З огляду на це, клітини в зовнішній зоні колоди можуть бути несхожими на петрифікацію внутрішніх областей. Деревина, яка містить тріщини або порожнисті ділянки, може мати мінералогію, що відрізняється від цілісних колод.

Наприклад, більшість дерев, які містять змішані угруповання кремнезему (опал, халцедон, кварц), можливо, є результатом послідовних стадій мінералізації за різних геохімічних умов. Ці докази не спростовують можливість трансформації кремнеземних мінералів під час тривалого захоронення, і пошук мінералогічних «відсутніх ланок» залишається метою майбутніх досліджень.

Отже, на сучасному етапі проблема міоценової скам'янілої деревини потребує детальних досліджень. З одного боку, це важливий палеонтологічний матеріал, який містить відклади, у яких відсутні палеоорганізми, з іншого – це об'єкти, які поєднують інформацію про середовище, у якому вони зростали, і процеси поховання й діагенетичних перетворень, які мали місце десятки мільйонів років тому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іванов Є., Ваньо Б. Видобування бурого вугілля у Львівській області: історія, сучасний стан і перспективи. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації*: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (31 січня 2019 р.): збірник наукових праць. Переяслав-Хмельницький, 2019. Вип. 43. С. 15–18.
2. Міжнародний парк «Кам'яний ліс Розточчя»: концепція та програма формування / Ю.В. Зінько, А.Б. Богущкий, В.П. Брусак, Р.М. Гнатюк, О.М. Шевчук, М. Кромпец, Я. Бурачинський. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип. 20. № 16. С. 33–45.
3. Лаурув З. Розточанський кам'яний ліс. *Науковий вісник*. 2006. Вип. 16.1. С. 35–44.
4. Сергеева М.С. Археологічна деревина як джерело для реконструкції господарчої діяльності давньоруського населення Середнього Подніпров'я. *Археологія і давня історія України*. 2017. Вип. 1 (22). С. 302–309.
5. A Mediterranean woody species composition from Late Miocene-Early Pliocene deposits of northeastern Turkey with newly described fossil-taxa palaeoclimatically evaluated / Ü. Akkemik, Ö. Toprak, D. Mantzouka, H. Çelik. *Review of Palaeobotany and Palynology*. Vol. 316. 2023. P. 1–4.

6. Alexandrowicz Z., Alexandrowicz S.W. Geoparks – most valuable landscape parks in Southern Poland. *Geological heritage concept, conservation and protection policy in Central Europe*. Krakow, 2003. P. 11–12.
7. Paleoecology and paleoenvironments of Podocarp trees in the Ameghino Petrified forest (Golfo San Jorge Basin, Patagonia, Argentina): Constraints for Early Paleogene paleoclimate / M. Brea, S.D. Matheos, M.S. Raigemborn, A. Iglesias, A.F. Zucol, M. Pramparo. *Geologica Acta: an international earth science journal*. 2011. Vol. 9. № 1. P. 13–28. DOI: 10.1344/105.000001647.
8. Buurman P. Mineralization of fossil wood. *Scripta Geol.* Leiden, 1972. № 12. P. 1–43.
9. Csaszar G., Kazmer M., Erdei B., Magyar I. A possible Late Miocene fossil forest/PaleoPark 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.
10. Dietrich D., Viney M. Petrifications and wood-templated ceramics: Comparisons between natural and artificial silicification. *IAWA Journal*. 2015. № 36 (2). P. 167–185. DOI:10.1163/22941932-00000094
11. Deming Wang, Min Qin, Le Liu, Lu Liu, Yi Zhou, Yingying Zhang, Pu Huang, Jinzhuang Xue, Shihui Zhang, Meicen Meng. The Most Extensive Devonian Fossil Forest with Small Lycopsid Trees Bearing the Earliest Stigmarian Roots. *Current Biology*. 2019. Vol. 29. Issue 16. P. 2604–2615.e2 URL: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.053>.
12. Kazmer M. The Miocene Bükkábrány Fossil Forest in Hungary – field observations and project outline. *125th Anniversary of the Department of Palaeontology at Budapest University – A Jubilee Volume Hantkeniana*. Budapest, 2008. № 6. P. 229–244.
13. Kholoud Mohamed A.M., Wael M. Al-Metwaly. Maadi Petrified Forest in Cairo, Egypt, as a Geologic Heritage Under Urbanization Pressure. *Geoheritage*. 2020. № 12 (2). P. 43–54. DOI: 10.1007/s12371-020-00465-4.
14. Kuczumow A., Nowak J., Kuzioła R., Jarzębski M. Analysis of the composition and minerals diagrams determination of petrified wood. *Microchemical Journal*. 2019. Vol. 148. P. 120–129.
15. 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.* Stuttgart, 2017. № 284/1. P. 75–87.
16. Forest of Lesbos Island (Greece): A Palaeobotanical Puzzle of a Unique Geopark and the New Discoveries / D. Mantzouka, J. Sakala, Z. Kvacek, E. Koskeridou, V. Karakitsios. Petrified. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2018)*: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 221 (2019) 012146. P. 1–11. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012146.
17. Mitzutani S. Silica minerals in the early stages of diagenesis. *Sedimentology*. 1970. № 15. P. 419–436.
18. Mustoe G.E. Late Tertiary petrified wood from Nevada, USA: Evidence of multiple silicification pathways. *Geosciences*. 2015. № 5. P. 286–309.
19. Mustoe G.E., Dillhoff Th.A. Mineralogy of Miocene Petrified Wood from Central Washington State, USA. *Minerals*. 2022. № 12 (2). P. 1–31.
20. Mustoe G.E. Mineralogy of Non-Silicified Fossil Wood. *Geosciences*. 2018. Вип. 8. № 85. P. 1–32. DOI: 10.3390/geosciences8030085.
21. Nowak J. et al. Composite structure of wood cells in petrified wood Author links open overlay panel. *Materials Science and Engineering: C*. 28 April 2005. Vol. 25. Issue 2. P. 119–130.
22. Sigleo A.C. Geochemistry of silicified wood and associated sediments, Petrified Forest National Park, Arizona. *Chemical Geology*. 1979. Vol. 26. Issues 1–2. P. 151–163.
23. Skamieniałe drzewa i długoszowa hipoteza. URL: http://roztocze.it.home.pl/roztocze/texts/prz002.htm#_fr16.
24. Multi-stage silicification of Pliocene wood: Re-examination of a 1985 discovery from Idaho, USA / M. Viney, D. Dietrich, G.E. Mustoe, P. Link, T. Lampke, J. Götze, R. Rößler. *Geosciences*. 2016. № 6. P. 1–21.

REFERENSES

1. Ivanov Ye., Vano B. (2019). Vydobuvannia buroho vuhillia u Lvivskii oblasti: istoriia, suchasnyi stan i perspektyvy [Brown coal mining in Lviv region: history, current state and prospects]. *Tendentsii ta perspektyvy rozvytku nauky i osvity v umovakh hlobalizatsii*. Materialy Mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi internet-konferentsii (31 sichnia 2019 r.): zbirnyk naukovykh prac. Pereiaslav-Khmelnitskyi. Vyp. 43, pp. 15–18 [in Ukrainian].
2. Zinko Yu.V., Bohutskyi A.B., Brusak V.P., Hnatiuk R.M., Shevchuk O.M., Krompiets M., Burachynskyi Ya. (2010). Mizhnarodnyi park «Kamianilyi lis Roztocze»: kontseptsiiia ta prohrama formuvannia [International Park «Stone Forest Roztocze»: concept and program of formation]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. Vyp. 20.16, pp. 33–45.
3. Lauruv Z. (2006). Roztochanskyi kamiani lis [Roztocze stone forest]. *Naukovyi visnyk*. Vyp. 16.1, pp. 35–44.
4. Serhieieva M.S. (2017). Arkheolohichna derevyna yak dzherelo dlia rekonstruktsii hospodarchoi diialnosti davnoruskoho naseleння Serednoho Podniprovia [Archaeological wood as a source for the reconstruction of the economic activity of the ancient Russian population of the Middle Dnieper region]. *Arkheolohiia i davnia istoriia Ukrainy*. Vyp. 1 (22), pp. 302–309.
5. Akkemik Ü., Toprak Ö., Mantzouka D., Çelik H. (2023). A Mediterranean woody species composition from Late Miocene-Early Pliocene deposits of northeastern Turkey with newly described fossil-taxa palaeoclimatically evaluated. *Review of Palaeobotany and Palynology*. Vol. 316, pp. 1–4.
6. Alexandrowicz Z., Alexandrowicz S. W. (2003). Geoparks – most valuable landscape parks in Southern Poland. *Geological heritage concept, conservation and protection policy in Central Europe*. Krakow, pp. 11–12.
7. Brea M., Matheos S.D., Raigemborn M.S., Iglesias A., Zucol A.F., Pramparo M. (2011). Paleoeology and paleoenvironments of Podocarp trees in the Ameghino Petrified forest (Golfo San Jorge Basin, Patagonia, Argentina): Constraints for Early Paleogene paleoclimate. *Geologica Acta: an international earth science journal*. Vol. 9. №. 1, pp. 13–28. DOI: 10.1344/105.000001647.
8. Burman P. (1972). Mineralization of fossil wood. *Scripta Geol.*, 12. Leiden, pp. 1–43.
9. Csaszar G., Kazmer M., Erdei B., Magyar I. (2009). A possible Late Miocene fossil forest PaleoPark 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. Chapter 11 (CG2009_BOOK_03/11), pp. 212–133.
10. Dietrich D., Viney M. (2015). Petrifications and wood-templated ceramics: Comparisons between natural and artificial silicification. *IAWA Journal*. 36(2), pp. 167–185. DOI:10.1163/22941932-00000094.
11. Deming Wang, Min Qin, Le Liu, Lu Liu, Yi Zhou, Yingying Zhang, Pu Huang, Jinzhuang Xue, Shihui Zhang, Meicen Meng. (2019). The Most Extensive Devonian Fossil Forest with Small Lycopsid Trees Bearing the Earliest Stigmarian Roots. *Current Biology*. Vol. 29, Issue 16, pp. 2604-2615. e2 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.053>.
12. Kazmer M. (2008). The Miocene Bükkábrány Fossil Forest in Hungary – field observations and project outline. *125th Anniversary of the Department of Palaeontology at Budapest University – A Jubilee Volume Hantkeniana* 6, Budapest, pp. 229–244.
13. Kholoud Mohamed A.M., Wael M. (2020). Al-Metwaly Maadi Petrified Forest in Cairo, Egypt, as a Geologic Heritage Under Urbanization Pressure. *Geoheritage*. 12(2), pp. 43–54. DOI:10.1007/s12371-020-00465-4.
14. Kuczumow A., Nowak J., Kuzioła R., Jarzębski M. (2019). Analysis of the composition and minerals diagrams determination of petrified wood. *Microchemical Journal*. Vol. 148, pp. 120–129.
15. 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, pp. 75–87.
16. Mantzouka D., Sakala J., Kvacek Z., Koskeridou E., Karakitsios V. (2019). Petrified Forest of Lesbos Island (Greece): A Palaeobotanical Puzzle of a Unique Geopark and the New Discoveries. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMES)*

- 2018): IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 22. 012146, pp. 1–11. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012146.
17. Mitzutani S. (1970). Silica minerals in the early stages of diagenesis. *Sedimentology*. 15, pp. 419–436.
 18. Mustoe G.E. (2015). Late Tertiary petrified wood from Nevada, USA: Evidence of multiple silicification pathways. *Geosciences*. 5, pp. 286–309.
 19. Mustoe G.E., Dillhoff Th.A. (2022). Mineralogy of Miocene Petrified Wood from Central Washington State, USA. *Minerals*. 12 (2), pp. 1–31.
 20. Mustoe G.E. (2018). Mineralogy of Non-Silicified Fossil Wood. *Geosciences*. 8. 85, pp. 1–32. DOI: 10.3390/geosciences8030085.
 21. Nowak J. et al. (2005). Composite structure of wood cells in petrified wood Author links open overlay panel. *Materials Science and Engineering: C*. Vol. 25. Issue 2, pp. 119–130.
 22. Sigleo A.C. (1979). Geochemistry of silicified wood and associated sediments, Petrified Forest National Park, Arizona. *Chemical Geology*. Vol. 26. Issues 1–2, pp. 151–163.
 23. Skamieniałe drzewa i Długoszowa hipoteza – http://roztocze.it.home.pl/roztocze/texts/prz002.htm#_fr16.
 24. Viney M., Dietrich D., Mustoe G.E., Link P., Lampke T., Götze J., Rößler R. (2016). Multi-stage silicification of Pliocene wood: Re-examination of a 1985 discovery from Idaho, USA. *Geosciences*. 6, pp. 1–21.

PETRIFIED WOOD – PALEOBOTANICAL OBJECT OF GEOLOGICAL HERITAGE OF UKRAINE: LOCALIZATION SITES, STRATIGRAPHIC POSITION, MINERAL COMPOSITION

Yaryna Tuzyak¹, Ulyana Borneyak¹, Maryna Ragulina²

¹*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str, 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: yarynatuzyak@gmail.com; ulyana.borneyak@lnu.edu.ua*

²*State Museum of Natural History of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Teatralna Str., 18, Lviv, Ukraine, 79000*

Petrified wood is a geological phenomenon of national and international importance, belongs to the category of paleobotanical natural monuments. This is a unique gem, which is interesting not only for its decorative properties, but also for its origin, which is the subject of discussion of more than one generation of geologists and does not have a single view among researchers. Fossilized wood remains have long attracted and attracted the attention of scientists, merchants, collectors. This is a material that is actively used in everyday life. At the present stage, wood species of various mineral compositions are found in the fossil state. They can be replaced by calcium carbonate or phosphate, various iron and copper minerals, manganese oxide, fluorite, barite, natrolite and smectite clay, gypsum, goethite. In some cases, fossilized wood may contain veins of gold, silver, uranium. The most famous, most common and most studied is the fossilized wood mineralized by polymorphic cancellations of silica – opal, chalcedone and quartz. Regardless of the composition, mineralization processes occur with the participation of the same factors: the presence of dissolved elements, pH, Eh and burial temperature. Also equally important in mineralization are the permeability of wood and anatomical features. When deposition processes occur in several steps, fossil wood can have complex mineralogy.

The purpose of the research is to recreate a holistic picture of the evolution of the planet Earth from fragments of the geological and paleontological record based on the study of the paleobotanical remains of the territory of Ukraine, which consists in clarifying: a) the history of research and revision of the results achieved and conclusions on this topic; b) stratigraphic position and systematic affiliation of paleobotanical finds; c) mineralogical composition of paleoflora and geochemical conditions of metasomatism; d) the paleofloristic treasure of Ukraine as a natural monument of national and international importance with the prospect of use in the future.

Key words: Miocene, petrified wood, Roztocze, silicification.

УДК 55 (092)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.37.12>

ЧЕРЕЗ ТЕРНИ ДО ЗІРОК: ЖИТТЄВИЙ І ТВОРЧИЙ ШЛЯХ ПРОФЕСОРА ОРЕСТА ІЛЛЯРОВИЧА МАТКОВСЬКОГО (17 ЛИСТОПАДА 1929 – 23 БЕРЕЗНЯ 2023)

**Микола Павлунь, Ірина Побережська, Лариса Генералова,
Галина Гоцанюк, Сергій Ціхонь**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua; iryna.poberezhska@lnu.edu.ua;
larysa.heneralova@lnu.edu.ua; halyna.hotsanyuk@lnu.edu.ua; serhii.tsikhon@lnu.edu.ua*

Стаття присвячена Оресту Ілляровичу Матковському – видатному вченому-мінералогу, доктору геолого-мінералогічних наук, професору, академіку Академії наук вищої школи України, віце-президенту Українського мінералогічного товариства, дійсному члену Наукового товариства ім. Шевченка, заслуженому професору Львівського національного університету ім. Івана Франка, професору-консультанту кафедри мінералогії, петрографії і геохімії геологічного факультету Львівського національного університету ім. Івана Франка. Наведено головні факти біографії О.І. Матковського, його наукової, педагогічної та організаційної діяльності, важливі наукові публікації.

Ключові слова: Орест Матковський, біографія, мінералогія, науково-педагогічна діяльність.



О.І. Матковський перед урочистим засідання вченої ради Львівського національного університету імені Івана Франка на честь Дня університету. Жовтень 2014 р.

23 березня 2023 р., на 94 році життя, відійшов у засвіти доктор геолого-мінералогічних наук, професор-консультант кафедри мінералогії, петрографії і геохімії, заслужений професор Львівського національного університету імені Івана Франка, академік АН Вищої школи України, віце-президент Українського мінералогічного товариства, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки, лауреат премії НАН України імені Євгена

Лазаренка, нагороди Ярослава Мудрого та Святого Володимира, дійсний член і голова геологічної комісії НТШ, головний редактор журналу «Мінералогічний збірник» Орест Іллярович Матковський. Згадана яскрава зірка відомого ученого й педагога, організатора науки й освіти, неординарної людини-творця і працелюба, класика мінералогії.

Світ великий, але водночас і дуже тісний! Адже до 1948 року ані студент першого курсу геологічного факультету Орест Матковський, ані незабутній Євген Лазаренко – засновник геологічного факультету й перший його декан, а опісля ректор Університету й академік – і гадки не мали про існування один одного. Але доля повернула так, що саме вони пройшли великий, славний і плідний шлях у науці й житті; й Орест Матковський – блискучий учень, соратник і послідовник Євгена Лазаренка, продовжував торувати цей шлях останні 44 роки уже зі своїми учнями.

Народився Орест Іллярович 17 листопада 1929 р. у селянській сім'ї в с. Терпилівка на Тернопільщині. Протягом 1945–1948 рр. навчався в Підволочиській середній школі, після закінчення якої за порадою вчителя хімії Євгена Мерзлікіна й учителя математики Любомира Дмитерка обрав професію геолога. У 1948 р. він вступив на геологічний факультет Львівського державного університету ім. Івана Франка. За час навчання був старостою групи, членом студентського профбюро, співав у студентському хорі, побував на навчальних і виробничих практиках в Українських Карпатах, Донбасі, Приазов'ї, Волино-Поділлі.

У 1953 р. Орест Іллярович успішно захистив дипломну роботу на тему «Мінералогія маріуполітів балки Мазурової в Приазов'ї» та отримав диплом з відзнакою і кваліфікацію «геолог».

Він одразу вступив до аспірантури на кафедру мінералогії. Науковим керівником молодого науковця був ректор університету, член-кореспондент Академії Наук, професор Євген Лазаренко.

Дисертаційну роботу, присвячену мінералогії осницького комплексу Волині, Орест Іллярович успішно захистив у 1957 р. й отримав науковий ступінь кандидата геолого-мінералогічних наук.

Ще в 1956 р. Ореста Ілляровича Матковського призначено на посаду асистента кафедри мінералогії, де він проводив лабораторні заняття з мінералогії, викладав спецкурс із фєдорівського методу, керував курсовими роботами студентів.

У 1961 р. О. Матковський обіймає посаду доцента кафедри мінералогії, а в 1962 р. отримує вчене звання доцента цієї ж кафедри, на якій працював до завершення життєвого шляху. Поряд із викладацькою діяльністю (викладання навчальної дисципліни «Мінералогія», спецкурсів «Шліховий аналіз», «Спецметоди в мінералогії», керування навчальними практиками, дипломними роботами студентів тощо) він досліджує п'єзокварцові камерні пегматити (головну увагу сконцентровано на розробці мінералого-петрографічних критеріїв оцінювання продуктивності пегматитових тіл щодо п'єзокварцової сировини й коштовного каміння), золотоносні конгломерати протерозою Волині, золото-поліметалів і манганові рудопрояви й родовища Українських Карпат тощо [3]. Результати наукових досліджень висвітлено в численних наукових публікаціях, виробничих звітах, колективних монографіях.

Його наукові праці того часу були не тільки актуально злободенні, а й неординарно новітні. Про це дуже добре свідчить хоча б одна з низки його праць того часу: робота про мінералогію акцесоріїв, зокрема циркону, була майже миттєво перекладена й опублікована в Японії, хоча тоді про Інтернет і журнали, які входять до наукометричних баз даних, і гадки не мали: усе визначав і досі визначає науковий зміст публікації, у якому б журнали вона не була надрукована. Зокрема, цієї та багатьох інших блискучих його наукових праць того й пізнішого часу.

Отримавши в 1962 р. вчене звання доцента, він продовжує читати лекції та проводити лабораторні заняття з різних мінералогічних дисциплін та інтенсивно здійснює наукові дослідження з генетичної й регіональної мінералогії, зокрема камерних гранітних пегматитів Волині й усїєї північно-західної частини Українського щита, трапової формації його західного схилу, різних об'єктів складчастих Карпат і Закарпаття в контексті становлення мінералогічної наукової школи академіка Євгена Лазаренка. Тоді ж він стає заступником відповідального редактора відомого у світі «Мінералогічного збірника», а в 1979 р. розпочинає конструктивно поєднувати викладання, наукові дослідження й адміністративно-організаторську роботу. У 1974 р. Орест Іллярович Матковський був призначений на посаду завідувача кафедри мінералогії [2], цього ж року він очолює Львівську мінералогічну школу академіка Євгена Лазаренка. Кафедру Орест Іллярович очолював чверть віку – із 1974 р. по 1999 р. Це був той час, коли під його керівництвом увесь колектив кафедри дуже ефективно працював у науковій сфері.

У 1975 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Інституту геохімії та фізики мінералів АН УРСР (нині Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України) О.І. Матковський успішно захистив дисертаційну роботу щодо мінералогії та умов формування давніх ендегенних комплексів Мармароського масиву (Східні Карпати) на здобуття наукового ступеня доктора геолого-мінералогічних наук. Через два роки (у 1977 р.) йому присвоюють вчене звання професор.

За каденції Ореста Ілляровича на посаді завідувача, кафедра мінералогії здійснювала підготовку фахівців із геохімічної спеціальності (мінералогії, геохімії, кристалографії). Вона стала навчальним і науковим центром із мінералогії в Україні. У цей час збільшилася кількість фахових навчальних дисциплін («Прикладна мінералогія», «Геохімічна спеціалізація і рудоутворення», «Розшукова і технологічна мінералогія», «Генетична мінералогія», «Мінералогія України» тощо); за його авторства і співавторства підготовлено й видано методичні розробки («Шліховий аналіз», «Природні мінеральні парагенезиси», «Геохімічна спеціалізація і рудоутворення» тощо), навчальні посібники («Структура і теоретичні основи прикладної мінералогії», «Регіональна і розшукова мінералогія», «Технологічна мінералогія руд» тощо) [3].

Будучи в повному інтелектуальному розквіті сил (який, до речі, не полишав його до останніх днів життя), Орест Матковський здійснював дуже велику й різнопланову науково-організаційну та координаційну роботу в університеті, державі, а також і на міжнародному рівні. Зокрема, уже в 1961 р. з проблемними доповідями брав участь у засіданні комісії з мінералогії і геохімії Карпато-Балканської геологічної асоціації (КБГА) та в VII її з'їзді в Софії, неодноразово був членом оргкомітетів різних наукових нарад з експериментальної, технологічної мінералогії і петрографії. У цей період він видав низку глибоких наукових статей і монографічних видань, зокрема «Акцесорні мінерали гранітоїдів осницького комплексу Волині» (1956), «Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині» (1960), «Мінералогія і петрографія Чивчинських гір (Українські Карпати)» (1971), «Мінералогічна характеристика пегматитів у книзі Мінералогія та генезис камерних пегматитів Волині» (1973) тощо. Його щоденна натхненна праця як науковця, керівника кафедри – організатора науки та навчання – не залишилася непоміченою в Університеті: у 1970 р. його прізвище занесли в книгу трудової слави. Його нагородили ювілейною медаллю «За доблесну працю». У 1977 р. присвоїли вчене звання професора на кафедрі мінералогії. Відтоді його зусилля в усіх напрямках його різноманітної й бурхливої діяльності – така вже натура – інтенсифікувалися. Одразу після цього він став головним редактором «Мінералогічного збірника», читав в Університеті Брюно цикл лекцій «Акцесорні мінерали».

Упродовж 1980–1996 рр. Орест Матковський обіймає посаду декана геологічного факультету й докладає чимало зусиль для його розвитку і зростання авторитету [2].

Саме під час його деканства факультет за спеціальністю «геохімія, мінералогія» розпочав і тривалий час продовжував готувати фахівців для низки зарубіжних країн – Алжиру, В'єтнаму, Лаосу, Куби, Монголії. За його ініціативи відкриті й розроблені навчальні плани за двома спеціалізаціями «екологічна геохімія» та «екологічна геологія», а уже з 1995 р. запровадили нову спеціальність «екологічна геологія». На цій посаді він перебував 16 років, що збіглося із завершенням золотого віку геології: саме тоді відбувається зростання наукових досліджень підрядного та бюджетного напрямів (були роки, коли на факультеті діяло до 100 госпдоговірних і до 10 держбюджетних тем по лінії МОН і ДКНТ, навчалися студенти-іноземці з різних країн, був створений та успішно функціонував Інститут геології і мінералогії золота, кольорових металів і алмазів України, а його директором теж був Орест Іллярович). Дивує: як і коли він встигав здійснювати величезний і різноплановий масив роботи, будучи реально та формально й так переобтяженим коректним виконанням непростих обов'язків завідувача кафедри, декана, викладача різних дисциплін, керівника дипломних робіт студентів і кандидатських досліджень аспірантів, плідно працюючи в науці й організовуючи її: він стає членом вченої ради Університету, з невеликою перервою був ним і донині. Орест Матковський був членом експертної комісії МОН України з геології, головою спеціалізованої ради із захисту докторських дисертацій, членом Президії і секції «Геохімія, мінералогія, петрографія, кристалографія» навчально-методичного об'єднання Державного комітету освіти, членом експертної комісії ВАК із геології. Але пріоритетними для нього були наукові дослідження з теоретичної, генетичної, регіональної і прикладної мінералогії. На той час він зумів підготувати цікаві та глибокі наукові праці в цій царині, опублікувати ґрунтовні теоретико-прикладні статті, монографії, підручники й навчальні посібники, такі як: видання у двох томах де розглядаються питання геології та корисних копалин Українських Карпат (1976, 1977), типоморфізм мінералів поліметалевих і ртутних родовищ Закарпаття (1984), навколорудні метасоматити Закарпаття (1988), «Мінерали України» (1990), «Мінерали Українських Карпат» (1990, 1995, 2003, 2011, 2014), «Прикладна мінералогія» (2002), «Генезис мінералів» (2003, 2007), «Основи мінералогії України» (2009), «Академік Євген Лазаренко. Нарис про життєвий і творчий шлях, спогади, фотоальбом» (2005), «Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка» (2008, 2010), «Російсько-український геологічний словник» (2011), сучасний тримовний «Словник українських назв мінеральних видів» (співавтори І.М. Наумко, Л.З. Скакун, 2021) «Геологічному факультету Львівського національного університету імені Івана Франка – 75 років (2020) тощо.

Науковий загал зміг належним чином оцінити результати цих досліджень на низці конференцій, зокрема на XII конгресі Міжнародної мінералогічної асоціації у Варні, роботі комісії з мінералогії і геохімії КБГА в Будапешті й багатьох інших нарадах. Його різнопланова та глибоко змістовна робота з проблем теоретичної, генетичної й регіональної мінералогії була увінчана присудженням йому в 1982 р. Державної премії в галузі науки і техніки. Ця премія стала заслуженим визнанням його натхненної й важливої праці.

О.І. Матковський брав активну участь у наукових форумах різного рівня, які працювали на геологічному факультеті й інших установах Львова за співпраці з львівським відділенням Українського мінералогічного та Українського палеонтологічного товариств, геологічної комісії наукового товариства імені Шевченка. Серед таких заходів можна назвати Всеукраїнську наукову конференцію «Проблеми геології фанерозою України», VII Міжнародну науково-практичну конференцію «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (29 листопада 2021 р., м. Львів) тощо.



О.І. Матковський (на першому плані, у центрі). Всеукраїнська наукова конференція «Проблеми геології фанерозою України».



Учасники VII Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (зліва направо): П.К. Волошин, Ю.З. Крупський, О.І. Матковський, М.М. Павлунь (29 листопада 2021 р., м. Львів).



О.І. Матковський (у центрі на першій парті, з колегами деканом – М. Павлуном та асистентом – М. Богдановою) на урочистому засіданні до Дня геолога. Квітень, 2017 р.

Орест Іллярович, хоч як це не дивно, знаходив час і сили для написання науково-популярних праць, і тут він теж був вірний собі – якщо щось робити, то досконало! Про це свідчить його науково-популярна книга «Природні кристали України», за яку йому присуджено диплом Президії і Ради Всесоюзного мінералогічного товариства в 1992 р. Роком пізніше його обрали академіком АН ВШ України, де він очолював мінералого-геохімічний і петрографічний напрями відділення наук про Землю. Президія академії високо оцінила його роботу: у 2005 р. за навчальний посібник «Прикладна мінералогія» нагородила Ореста Ілляровича дипломом і медаллю лауреата нагороди Ярослава Мудрого. Не забула про його здобутки й Державна геологічна служба України: у 1999 р. вона нагородила заслуженого професора ЛНУ ім. Івана Франка (ним він став двома роками пізніше) медаллю В. Лучицького, а у 2004 р. присвоїла найвище відомче звання – «Почесний розвідник надр» із відповідною медаллю, у 2005 р. – пам'ятним знаком П. Лутугіна за заслуги в розвідці надр.

Однак повернемося до предметної науково-організаційної його праці. У 1994 р. за його ідеологічного обґрунтування в Університеті провели Всеукраїнську конференцію «Золото надр України». У 1996 р. його відрядили до м. Мішкольц (Угорщина) для участі в XV Міжнародній виставці мінералів і тоді ж взяв участь у роботі III Міжнародної конференції «Мінералогія і музеї» в Будапешті, роком пізніше – у V Школі з фізики мінералів у Вроцлаві, у XII Європейському симпозіумі з флюїдних включень у Варшаві-Краківі. Щодо України, то й тут не без його зусиль і безпосередньої участі здійснені конференції в Луцьку-Шацьку (біомінералогія, мінералогічні музеї), Берегово (екологічна мінералогія), Донецьку, Харкові, Одесі, Києві, Львові (різні питання з мінералогії, геохімії, корисних копалин, навчального процесу). Під його організаційною опікою відбуваються наукові читання академіка С. Лазаренка в Києві, Львові, Чинадієво, виходять друком збірники тез доповідей і матеріали конференцій. У 2005 р. Спілка геологів України за внесок Ореста Ілляровича в мінералогію нагородила його медаллю Євгена Лазаренка. Мало хто достеменно може зрозуміти: як учений, педагог, організатор і керівник науки, громадський діяч, у запліччі якого чималий досвід, не тільки не зменшує, а й нарощує життєві оберти. Однак це так. Варто хоча б сказати про п'ятитомне фундаментальне видання «Мінерали Українських Карпат», три з яких вийшли друком останніми роками, а V том про процеси мінералоутворення – кілька років тому. Орест Матковський продовжував редагувати

«Мінералогічну енциклопедію України», працював заступником редактора журналу «Записки українського мінералогічного товариства», був членом редколегії Геологічного збірника НТШ, не пропускав жодних засідань АН ВШ в Києві. І все ж продовжував читати лекції студентам, керував держбюджетною науково-дослідною тематикою, за що суспільство йому вдячне. У 2008 р. Орест Іллярович отримав подяку Кабінету Міністрів України, через рік удостоєний нагороди Святого Володимира АН ВШ, у 2011 р. нагороджений грамотою Верховної Ради України.

17 листопада 2014 р. на засіданні Урочистої академії йому вручений сертифікат і медаль ГО «Спілка геологів України» «За заслуги» II ступеня, а до 90-річчя з дня народження – медаль «За заслуги» I ступеня.



Заступник голови правління ГО «Спілка геологів України» Г.А. Лівенцева вручає О.І. Матковському сертифікат і медаль ГО «Спілка геологів України» «За заслуги» I ступеня.

17 листопада 2019 р. виповнилося 90 років від дня народження професора кафедри мінералогії Ореста Ілляровича Матковського – ученого-мінералога, доктора геолого-мінералогічних наук, заслуженого професора Львівського національного університету імені Івана Франка, академіка Академії наук вищої школи України, лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки, лауреата нагород Ярослава Мудрого і Святого Володимира АН вищої школи України, віце-президента Українського мінералогічного товариства, дійсного члена Наукового товариства імені Шевченка.

21 листопада 2019 р. на геологічному факультеті відбулася Урочиста академія з ушанування наукової праці ювіляра.



Урочиста академія з нагоди 90-річчя О.І. Матковського. Львів, 21 листопада 2019 р.
Виступає декан геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка М.М. Павлунь. Ювіляр приймає нагороди та привітання.

13 вересня 2017 р. за ініціативи ректора університету В.П. Мельника, декана геологічного факультету М.М. Павлуна та професора О.І. Матковського відбулася зустріч у дзеркальній залі ЛНУ імені Івана Франка з директором ПАТ «УкрГазвидобування»

М.А. Фірманом. У 2018 р. була підписана угода про співпрацю між ЛНУ імені Івана Франка й ПАТ «Укргазвидобування», яка має на меті збільшувати потенціал галузі та залучати до роботи кваліфікованих спеціалістів. 29 березня у Львові підписано тристоронній Меморандум про співпрацю між ПАТ «Укргазвидобування», Львівським національним університетом ім. Івана Франка й Львівською обласною державною адміністрацією.



О.І. Матковський (крайній справа) на підписанні тристороннього Меморандуму про співпрацю між ПАТ «Укргазвидобування», Львівським національним університетом ім. Івана Франка й Львівською обласною державною адміністрацією. Львів, 20 березня 2018 р. У центрі з документами – ректор ЛНУ ім. Івана Франка В.П. Мельник, справа від нього – директор ПАТ «Укргазвидобування» М.А. Фірман, зліва – перший заступник голови Львівської обласної державної адміністрації Р.Т. Замлинський.

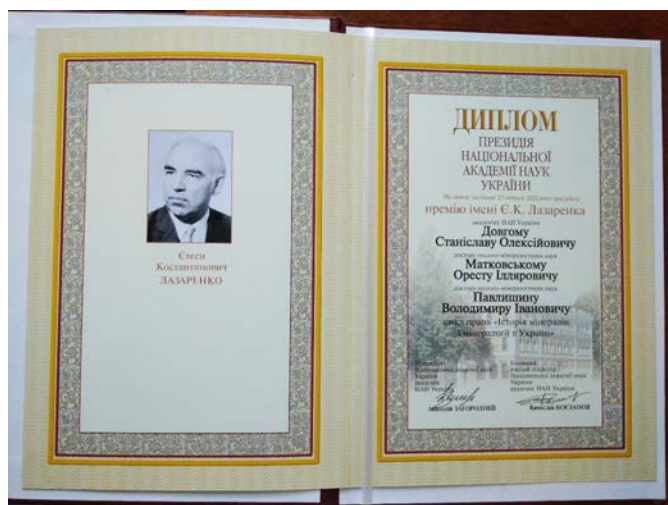
Майже всі ми, випускники факультету, – це його учні. Але особливу увагу до нього виявили монгольські випускники нашого факультету, які у 2010 р. запросили його в Монголію. І він полетів на край світу, в Улан-Батор, а потім ще й у Південну Гобі. Більше того, 22 вересня 2011 р. уже зовсім на краю світу, перебуваючи на Далекому Сході на науковій конференції та на запрошення випускника факультету, тільки він і ще троє львів'ян, серед них і один із авторів, М.М. Павлунь, скупалися в Японському морі! Хто з вас це може зробити в такому віці? А він це зробив.

У 2011 р. у Львові за підготовку студентів із Монголії президент цієї азійської країни особисто вручив йому ювілейну медаль «800 років Великої Монголії». І вже зовсім нещодавно, у 2013 р., Орест Іллярович удостоєний медалі «140 років НТШ» і відзначений Почесною грамотою Західного наукового центру НАН України.

Останні роки його бурхливо-змістовного життя й праці ознаменувалися написанням і виходом у світ цілої низки монографій, а саме: «Здобутки мінералогії в Україні» (2018, 146 с.), «Історія мінералогії в Україні. Від глибокої давнини до 90-х років ХХ століття» (В. Павлишин, О. Матковський, Я. Довгий. 2019, 464 с.), «Термобарогеохімія в Україні» (О. Матковський, І. Наумко, М. Павлунь, Є. Сливко. 2021, 282 с.), «Генезис мінералів: підручник» (В. Павлишин, О. Матковський, С. Довгий. 2021, 676 с.), «Вшанування пам'яті

академіка Євгена Лазаренка» (О. Матковський, Є. Сливко. 2022, 188 с.), «Генетична мінералогія» (О. Матковський, Н. Словотенко. 2020, 55 с.).

23 лютого 2022 р. за цикл праць «Історія мінералів і мінералогії в Україні» академіку НАН України С.О. Довгому, доктору геолого-мінералогічних наук О.І. Матковському й доктору геолого-мінералогічних наук В.І. Павлишину вручено диплом Президії НАН України про присудження премії імені Є.К. Лазаренка.



Диплом Президії НАН України про присудження премії імені Є.К. Лазаренка академіку НАН України С.О. Довгому, доктору геолого-мінералогічних наук О.І. Матковському й доктору геолого-мінералогічних наук В.І. Павлишину.



О.І. Матковський отримав Диплом Президії НАН України про присудження премії імені Є.К. Лазаренка (30 червня 2022 р.).

Завершуючи незавершене, дуже стислий огляд яскравого, динамічного та повнокровного наукового життя й праці Ореста Ілляровича Матковського, яке, на жаль, добігло кінця, треба сказати, що він зумів глибоко дослідити різні аспекти мінералогії та опублікувати результати досліджень у понад 570 наукових статтях, 33 монографіях, 5 підручниках і посібниках. Він для нас усіх – духовний та інтелектуальний приклад справжньої національної еліти, приклад людяності, толерантності й чуйності. Професор, який усе своє свідоме життя керувався дуже простим, але надважливим соціальним принципом, від якого він жодного разу не відійшов: «Людина вартує стільки, скільки вартує її слово!» У нього ще було багато науково-організаційних і життєвих планів, але не судилося.

Ось таким, сповненим ентузіазму, щедрим учителем, привітним, щирим, добрим, енергійним, роботязим, переповненим ідеями й натхненністю, відійшов у найдалший геологічний маршрут – у Вічність, Орест Іллярович Матковський.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлишин В., Матковський О., Довгий С. Історія мінералогії в Україні від 90 років ХХ ст. й донині. Київ, 2022. 609 с.
2. Кафедра мінералогії Львівського національного університету імені Івана Франка (1864–2004) : довід.-інформ. вид. / О. Матковський, П. Білоніжка, Л. Скакун, Є. Сливко (авт. й упоряд.). Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2004. 134 с.
3. Орест Матковський: учений, педагог, організатор науки і освіти (до 80-річчя від дня народження) : довід.-бібліогр. вид. / П. Білоніжка, Є. Сливко, Б. Мамчур, Л. Ланчак, Л. Яриш (авт. й упоряд.). Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. 152 с.
4. Професор Орест Матковський – класик української мінералогії (до 90-річчя від дня народження) : довід.-бібліогр. вид. / М. Павлунь, І. Наумко, П. Білоніжка та ін. (авт. й упоряд.). Львів : Простір-М, 2019. 72 с.
5. Encyclopedia. Львівський національний університет імені Івана Франка : у 2 т. Львів : ВЦ ЛНУ імені Івана Франка, 2014. Т. 2 : Л–Я / І.О. Вакарчук (ред.).

REFERENCES

1. Pavlishin V., Matkovskiy O., Dovgiiy S. (2022). IstorIya mineralogiyi v Ukrayini vid 90-rokIv XX st. donini [The history of mineralogy in Ukraine since the 1990s to this day]. Kiyiv. 609 p. [in Ukrainian].
2. Matkovskiy O., Bilonizhka P., Skakun L., Slivko E. (2004). Kafedra mIneralogiyi Lvivskogo natsionalnogo universitetu imeni Ivana Franka (1864–2004) : dovidkovo-informatsiyne vidannya [Department of Mineralogy of Ivan Franko Lviv National University (1864–2004): reference and information edition]. Lviv: Vidavnichiy tsentr Lvivskogo Natsionalnogo Universitetu Imeni Ivana Franka, 134 p. [in Ukrainian].
3. Bilonizhka P., Slivko E., Mamchur B., Lanchak L., Yarish L. (2009). Orest Matkovskiy: ucheniy, pedagog, organIzator nauki I osvIti (do 80-rIchchya vid dnya narodzhennya): dovididkovo-bibliografichne vidannya [Orest Matkovskiy: scientist, teacher, organizer of science and education (to the 80th anniversary of his birth): reference and bibliographic edition]. Lviv: Vidavnichiy tsentr Lvivskogo Natsionalnogo Universitetu Imeni Ivana Franka, 152 p. [in Ukrainian].
4. Pavlun M., Naumko I., Bilonizhka P. ta In. (2019). Profesora Orest Matkovskiy – klasik ukrayinskoyi mineralogiyi (do 90-richechya vid dnya narodzhennya): dovididkovo-bibliografichne vidannya [Professor Orest Matkovskiy – a classic of Ukrainian mineralogy (to the 90th anniversary of his birth): reference and bibliographic edition]. Lviv: Prostir-M, 72 p. [in Ukrainian].
5. Encyclopedia (2014). Lvivskiy natsionalniy unIversitet Imeni Ivana Franka: v 2-h t.: T. 2. L–Ya: Vakarchuk I.O. (red.). Lviv: VTs LNU Imeni Ivana Franka. [in Ukrainian].

THROUGH THE THORNS TO THE STARS: LIFE AND CREATIVE PATH OF PROFESSOR ORESTS ILLYAROVICH MATKOVSKY (NOVEMBER 17, 1929 – MARCH 23, 2023)

**Mykola Pavlun, Iryna Poberezhska, Larysa Heneralova,
Halyna Hotsanyuk, Serhii Tsikhon**

*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005*

e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua; iryna.poberezhska@lnu.edu.ua;

larysa.heneralova@lnu.edu.ua; hotsanyuk@ukr.net; serhii.tsikhon@lnu.edu.ua

The article is dedicated to Orest Ilyarovich Matkovskiy – an outstanding mineralogist, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, academician of the Academy of Sciences of the Higher School of Ukraine, vice-president of the Ukrainian Mineralogical Society, full member of the Scientific Society named after Shevchenko, Honored Professor of Lviv National University named after Ivan Franko, professor-consultant of the department of mineralogy, petrography and geochemistry of the geological faculty of the Lviv National University named after Ivan Franko. The main facts of the biography of O.I. Matkovskiy, his scientific, pedagogical and organizational activities, important scientific publications.

Key words: Orest Matkovskiy, biography, mineralogy, scientific and pedagogical activity.

УДК 55 (092)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.37.13>

ЖИТТЄВИЙ І ТВОРЧИЙ ШЛЯХ ІВАНА ОЛЕКСІЙОВИЧА КОВАЛЬЧУКА (20.03.1936–12.07.2023)

Микола Павлунь, Лариса Генералова

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

Публікація присвячена Івану Олексійовичу Ковальчуку – талановитому вченому-геологу, кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту (до 1999 року) Львівського національного університету імені Івана Франка. Висвітлено головні факти біографії І.О. Ковальчука, його наукову, педагогічну й організаційну діяльність, важливі наукові публікації.

Ключові слова: Іван Ковальчук, біографія, геологія, наукова та педагогічна діяльність, Львівський університет, Середня Азія.



І.О. Ковальчук

12 липня 2023 р. не стало Справжньої Великої Людини, яка довгі роки працювала на геологічному факультеті Львівського національного (тоді державного) університету імені Івана Франка.

Іван Олексійович Ковальчук народився 20 березня 1936 р. у с. Кавалерово Приморського краю, куди були переселені із Житомирщини його рідні. Трудова діяльність молодого геолога розпочалася з 1955 р. після закінчення гірничого-геологічного технікуму. У 1966 р. він стає випускником геологічного факультету Львівського державного університету за спеціальністю «геологічна зйомка і пошуки родовищ корисних копалин». У 1966–1969 рр. І.О. Ковальчук обіймає посади гірничого майстра, старшого геолога, начальника.

У львівський період (1969–1999 рр.) І.О. Ковальчук працює старшим інженером, завідувачем кабінету геологічної карти, асистентом, доцентом кафедри загальної геології Львівського університету.

Науково-виробничі інтереси І.О. Ковальчука, який за сумісництвом працював у науково-дослідному секторі університету, займаючись геологічним картуванням важкодоступних районів Південного Тянь-Шаню (Таджикистан, Киргизія), зосередилося на тектонічному районуванні, формаційному аналізі магматичних порід, петрохімії вулканітів Середньоазійського регіону. Дисертація І.О. Ковальчука «Герцинські геосинклінальні вулканогенні та осадові формації Південного Гісара (Південний Тянь-Шань)» дала змогу виокремити геодинамічні обстановки кам'яновугільно-пермського щільного ембріонального рифту, який відокремлений Північногісарським і Південногісарським розломами, дослідити індикаційні петрогеохімічні параметри, відображені в типах вулканогенних формацій, і підкреслити їхнє металогенічне значення.

Під час виконання тектонічного районування герцинід Зеравшано-Гісарської гірської ділянки автор зміг вирізнити тектонічні поверхи байкальського, каледонського та герцинського віку. За його дослідженнями, кожен структурний поверх виникав на певній структурній основі, що сформувалася раніше. Структурні поверхи відрізняються один від одного формаційним складом, ступенем метаморфізму, інтенсивністю й планом тектонічних дислокацій і, зрештою, історією геологічного розвитку. Виокремлення структур у кожному поверсі І.О. Ковальчук виконував, виходячи з вивчення стратиграфічних розрізів регіону, розчленування їх у конкретні формації та порівняння синхронних формацій у різних районах. Автор використовував принцип зіставлення виявлених вертикальних колон і латеральних рядів формацій. Для показовості рядів формацій дисертант зосередив увагу на герцинському структурному поверсі.

Виконані І.О. Ковальчуком дослідження свідчать, що герцинський структурний поверх із різкою незгідністю залягає на докембрійсько-девонських утвореннях. Поверх включає кілька структурно-формаційних (тектонічних) одиниць різного рангу. Герцинський структурний поверх локалізується в Південногісарській магматогенній зоні, що складається з Шатрут-Варзобської евгеосинклінали (підзони) і Тамшуш-Каратегінської евгеоантиклінали (підзони) (за Е.О. Портнягіним). Із півночі Південногісарська магматогенна зона відокремлена від Зеравшано-Гісарської парагеосинклінали зоною Північногісарського глибинного розлому. З півдня вона межує по зоні Південногісарського крайового шва із Таджики-Афганським епібайкальським середнім масивом. У карбоні та пермі Південногісарська магматогенна зона пройшла повний цикл геосинклінального розвитку. Кожна тектонічна одиниця характеризується своєю колоною власне геосинклінальних формацій і своїм типом магматизму. Структурні й речовинні дослідження магматичних утворень герцинського поверху дали змогу дисертанту виділити офіолітову асоціацію. У її межах уперше діагностовано та вивчено комплекс паралельних дайок і спіліто-діабазову формацію Південного Гісара. На думку І.О. Ковальчука та його колег, власне геосинклінальні формації всіх тектонічних одиниць герцинського поверху утворюють латеральний ряд формацій, який пов'язаний поступовими взаємопереходами. Конкретному етапу тектонічного розвитку евгеосинклінали відповідали певні термодинамічні умови існування магм, за яких виникли тільки їм властиві формації базитів із закономірними варіаціями петрогенних оксидів. Геодинамічні обстановки вулканітів, на думку вченого, ініційовані певним типом еволюції базитової магми. У роботі І.О. Ковальчук виокремлює такі типи геодинамічних обстановок: околиці континентів, серединні океанічні хребти, активізовані складчасті пояси. Зони Північногісарського розлому та Південногісарського крайового шва розглядаються як важливі рудоконтролюючі структури.



В.І. Павлов, І.О. Ковальчук у маршруті. Гісарський хребет, 1977 р.



Обговорення наукової середньоазійської тематики кафедри загальної геології, 1974 р.
Таджицька група. Зліва направо: І. Ковальчук, Д. Резвой, В. Павлов.



Маршрутні будні. Хребет Каратегін. Південний Тянь-Шань, 1977 р.

Сучасному геологу такі висновки можуть здатися дещо загальними, занадто обережними, недостатньо типізованими. Проте вони виконані на великому фактичному матеріалі з використанням панівної на той момент геосинклінальної, геотектонічної парадигми. Пізніше ці дані слугували наступному поколінню геологів основою для геодинамічних реконструкцій із позицій плитно-тектонічних побудов.

Становлення спеціаліста І.О. Ковальчука на кафедрі загальної геології, якою керував професор Д.П. Резвой, проходило на фіксистській науковій парадигмі в тектоніці. Іван Олексійович плідно її розвивав, однак із великою зацікавленістю, хоча й обачно, сприймав

поширення та популяризацію теорії літосферних плит. Інноваційний підхід до вивчення базитових формацій дав змогу І.О. Ковальчуку та Є.О. Портнягіну одним із перших виокремити комплекс паралельних дайок як результат спредінгу в процесі формування потужної спіліто-діабазової товщі карбону південного схилу Гісарського хребта Південного Тянь-Шаню. Крім того, було підкреслено й обґрунтовано, що спіліт-діабазова товща є елементом офіолітової асоціації, тобто належить комплексу океанічної літосфери.

Упродовж майже двадцяти років Іван Олексійович систематично, кожного літа брав участь у польових роботах за умов азійського високогір'я як науковий співробітник Таджикиської групи, з 1985 р. – Киргизької групи Середньоазійської експедиції. Він разом із колегами вивчав особливості геологічної будови, магматизму й рудних проявів на території Південного Тянь-Шаню та Паміру. Дослідники займалися конкретними геологічними й металогенічними питаннями, проте завжди співвідносили свої результати з регіональними тектонічними моделями будови середньоазійського регіону. Цей підхід дав змогу виділити систему глибинних розломів Південного Тянь-Шаню та Паміру, визначити їх формаційну строкатість і металогенічну спеціалізацію. Теоретичні й практичні висновки І.О. Ковальчука та його колег ґрунтувалися на детальних польових роботах, які включали різномасштабне геологічне картування, складання структурних і петрологічних профілів, комплексні аналітичні дослідження гірських порід. Методологією робіт залишався емпіричний підхід, обернений до польових досліджень, картування, пошуково-зйомочної проблематики, пізнання фактів як головної мети. Еволюційний поступ нових актуалістичних ідей і розширення словника геологічних термінів відтворюють впливи глобальної тектоніки на звіти й публікації, виконані І.О. Ковальчуком за договірними темами Північного Паміру (Алайський і Заалайський хребти) і Північно-Східної Фергани (Ферганський і Чаткало-Курамінський хребти).

І.О. Ковальчук поєднував наукові дослідження з педагогічною діяльністю.

На посаді доцента кафедри Іван Олексійович проводив лекційні та лабораторні заняття з дисциплін «Загальна геологія», «Структурна геологія та геологічне картування», «Геотектоніка». Він керував дипломними проектами, курсовими та науковими роботами студентів геологозінальній спеціалізації, виробничими й навчальними практиками. У доробку навчальної літератури І.О. Ковальчука – методичні рекомендації, тестові завдання, лабораторні задачі, які не втратили нагальності. Дотепер серед студентів начасний «Лабораторний практикум із загальної геології» за його авторства й «Геометричні основи складання та аналізу геологічних карт» (І.О. Ковальчук, В.В. Шевчук).

Уміле володіння словом, насичена фразеологізмами мова, широкий загальний світогляд, глибокі практичні знання, логічна структурована послідовність викладання, яскравий талант педагога й людини робили його лекції цікавими та зрозумілими.

Усе це, а також уміння доступно й образно, з використанням зрозумілих прикладів подавати матеріал, доброзичливе ставлення до студентів як до майбутніх фахівців, геологів, керівників і науковців, неформальний підхід до навчальної та виховної роботи мали відгук: у студентському середовищі Івана Олексійовича поважали як викладача, фахівця, цікаву й непересічну особистість.

Відповідальність, працездатність, організованість І.О. Ковальчука давали змогу адміністрації та колективу факультету доручати йому важливі справи й завдання, які потребували упорядкування та нестандартного підходу. Він організовував і проводив навчальні польові практики студентів першого та другого курсів, їздив як куратор до студентів на виробничі практики на Далекий Схід і до Середньої Азії.

Результати наукової діяльності Івана Олексійовича відображені в друкованих працях, низці науково-дослідних звітів, картах різних напрямів і масштабу.

У всіх куточках нашої держави й поза її межами в спогадах випускників геологічного факультету – учнів ученого й педагога, завжди простежується теплота, любов і вдячність за життєву науку й добрі справи І.О. Ковальчука.

Своє життя Іван Олексійович прожив яскраво, творчо, натхненно, цілеспрямовано. Він зробив значний внесок у розвиток середньоазійської та вітчизняної геології, займався наукою та натхненно популяризував геологію, доступно оповідаючи про процеси в надрах планети.

Таким ми пам'ятаємо Івана Олексійовичу Ковальчука як ученого-геолога, педагога, людину, громадянина, внесок якого в становлення й формування Львівської геологічної школи переоцінити неможливо.

Пішла у Вічність прекрасна людина! Ми поділяємо скорботу родини Івана Олексійовича й усіх тих, хто мав честь і задоволення навчатися в нього, співпрацювати, просто бути знайомими.

LIFE AND CREATIVE PATH OF IVAN OLESIYOVYCH KOVALCHUK (20.03.1936–12.07.2023)

Mykola Pavlun, Larysa Heneralova

*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua; larysa.heneralova@lnu.edu.ua*

The publication is dedicated to Ivan Oleksiyovych Kovalchuk – a talented geologist, candidate of geological and mineralogical sciences, associate professor of the Ivan Franko National University of Lviv. The main facts of the biography of I.O. Kovalchuk, his scientific, pedagogical and organizational activities, important scientific publications are highlighted.

Key words: Ivan Kovalchuk, biography, geology, scientific and pedagogical activity, Lviv University, Central Asia.

ЗМІСТ

Микола Павлунь

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ДОПОВНЕННЯ СХЕМИ ГЕНЕТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ
РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН КЛАСОМ МЕТАМОРФОГЕННО-
ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ РОДОВИЩ ГІДРОТЕРМАЛЬНОЇ ГРУПИ..... 3

Петро Волошин, Надія Кремень

ТИПІЗАЦІЯ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ІСТОРИЧНОЇ ЗАБУДОВИ ЛЬВОВА –
ОСНОВА ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ ПАМ'ЯТОК АРХІТЕКТУРИ..... 12

Ганна Бучацька, Василь Дяків

«ЕФЕКТ ДОМІНО» ТЕХНОГЕННИХ ЗМІН ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА
У ФОРМУВАННІ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО
ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ..... 24

Остан Івасівка, Зенон Хевпа, Василь Дяків

АКТИВІЗАЦІЯ КАРСТОПРОВАЛЬНИХ ЯВИЩ У МЕЖАХ ГІРНИЧОГО ВІДВОДУ
РУДНИКА № 2, ЇЇ ВПЛИВ НА СТАН ІНФРАСТРУКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ
ТА УМОВИ ПРОЖИВАННЯ МЕШКАНЦІВ..... 42

Зенон Хевпа, Ігор Кицмур, Василь Дяків

ХВОСТОСХОВИЩЕ СТЕБНИЦЬКОГО ГХП «ПОЛІМІНЕРАЛ»:
СУЧАСНИЙ СТАН, ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ
ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ..... 56

Любов Фігура, Мирон Ковальчук

ЛАТЕРАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ СЕРЕДНЬОГО ВМІСТУ ЛЬМЕНІТУ
В ПРОДУКТИВНИХ ВІДКЛАДАХ БУКІНСЬКОЇ ДІЛЯНКИ МЕЖИРІЧНОГО
РОДОВИЩА ТИТАНОВИХ РУД..... 72

Ігор Бубняк, Сергій Ціхонь, Тетяна Ціхонь, Уляна Луцзяк, Микола Бігун

МЕТОДИ ПОБУДОВИ 3D МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГІЧНИХ ТІЛ
(НА ПРИКЛАДІ РОДОВИЩА САУЛЯК, ЗАКАРПАТТЯ)..... 83

Юрій Віхоть, Ігор Бубняк, Соломія Кріль, Віталій Фурман

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОЛОГІЧНІЙ ПЕРЕІНТЕРПРЕТАЦІЇ
МАТЕРІАЛІВ ГДС..... 98

Oleksandr Vovk, Victoriia Horbach, Liudmyla Horbach, Denys Nedbailo

GROUNDWATER OF VOLYN REGION: CONDITIONS OF LOCATION, FEATURES
OF USE, WAYS OF PRESERVATION AND IMPROVEMENT..... 110

Антоніна Іваніна, Галина Гоцанюк, Тетяна Сметанюк

ПАЛЕОНТОЛОГІЧНІ ЗНАХІДКИ НА ТЕРИТОРІЇ ПАРКУ «ЗНЕСІННЯ»
(ЛЬВІВ, ЗАХІДНА УКРАЇНА)126

Ярина Тузьяк, Уляна Борняк, Марина Рагуліна

ВИКОПНА ДЕРЕВИНА – ПАЛЕОБОТАНІЧНИЙ ОБ’ЄКТ ГЕОЛОГІЧНОЇ
СПАДЩИНИ УКРАЇНИ: МІСЦЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ, СТРАТИГРАФІЧНЕ ПОЛОЖЕННЯ,
МІНЕРАЛОГІЧНИЙ СКЛАД..... 135

Микола Павлунь, Ірина Побережська, Лариса Генералова,

Галина Гоцанюк, Сергій Ціхонь

ЧЕРЕЗ ТЕРНИ ДО ЗІРОК: ЖИТТЄВИЙ І ТВОРЧИЙ ШЛЯХ ПРОФЕСОРА ОРЕСТА
ІЛЛЯРОВИЧА МАТКОВСЬКОГО (17 ЛИСТОПАДА 1929 – 23 БЕРЕЗНЯ 2023).....146

Микола Павлунь, Лариса Генералова

ЖИТТЄВИЙ І ТВОРЧИЙ ШЛЯХ ІВАНА ОЛЕКСІЙОВИЧА КОВАЛЬЧУКА
(20.03.1936–12.07.2023).....158

CONTENTS

Mykola Pavlun

ON THE NECESSITY OF SUPPLEMENTING THE SCHEME
OF GENETIC CLASSIFICATION OF MINERAL DEPOSITS
WITH THE CLASS OF METAMORPHOGENIC-HYDROTHERMAL
DEPOSITS OF THE HYDROTHERMAL GROUP..... 3

Petro Voloshyn, Nadiya Kremin

TYPIFICATION OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE HISTORICAL
BUILDINGS OF LVIV – THE BASIS FOR FORECASTING THE STABILITY
OF ARCHITECTURAL MONUMENTS.....12

Hanna Buchatska, Vasyl Dyakiv

“DOMINO EFFECT” OF TECHNOGENIC CHANGES OF THE GEOLOGICAL
ENVIRONMENT IN THE FORMATION OF THE GEOECOLOGICAL STATE
OF THE CHERVONOGRAD MINING REGION..... 24

Ostap Ivasivka, Zenon Hevpa, Vasyl Dyakiv

ACTIVATION OF KARST-FALL PHENOMENA WITHIN THE MINING DISTRICT
OF MINE № 2 AND ITS IMPACT
ON THE STATE OF INFRASTRUCTURE FACILITIES
AND LIVING CONDITIONS OF RESIDENTS..... 42

Zenon Hevpa, Ihor Kutsmur, Vasyl Dyakiv

TAILINGS STORAGE FACILITY OF STEBNYTSKYI MCF “POLYMINERAL”:
CURRENT STATE, WAYS TO IMPROVE THE STATE OF THE ENVIRONMENT
AND ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY.....56

Liubov Fihura, Myron Kovalchuk

LATERAL DISTRIBUTION OF THE AVERAGE CONTENT OF ILMENITE
IN THE PRODUCTIVE SEDIMENTS OF THE BUKINSKA AREA
OF THE MEZHRYCHNE TITANIUM ORE DEPOSIT.....72

Ihor Bubniak, Serhii Tsikhon, Tetiana Tsikhon, Uliana Lushchak, Mykola Bihun

METHODS OF BUILDING 3D MODELS OF GEOLOGICAL BODIES
(ON THE EXAMPLE OF THE SAULIAK DEPOSIT, TRANSCARPATHIA)..... 83

Yuriy Vikhot, Ihor Bubniak, Solomiia Kril, Vitaly Fourman

COMPUTER TECHNOLOGIES FOR THE GEOLOGICAL REINTERPRETATION
OF WELL LOGGING DATA..... 98

<i>Oleksandr Vovk, Victoriia Horbach, Liudmyla Horbach, Denys Nedbailo</i> GROUNDWATER OF VOLYN REGION: CONDITIONS OF LOCATION, FEATURES OF USE, WAYS OF PRESERVATION AND IMPROVEMENT.....	110
<i>Antonina Ivanina, Halyna Hotsanyuk, Tetiana Smetaniuk</i> PALEONTOLOGICAL FINDINGS ON THE TERRITORY OF “ZNESINNIA” PARK (LVIV, WESTERN UKRAINE).....	126
<i>Yaryna Tuzyak, Ulyana Bornyak, Maryna Ragulina</i> PETRIFIED WOOD – PALEOBOTANICAL OBJECT OF GEOLOGICAL HERITAGE OF UKRAINE: LOCALIZATION SITES, STRATIGRAPHIC POSITION, MINERAL COMPOSITION.....	135
<i>Mykola Pavlun, Iryna Poberezhska, Larysa Heneralova, Halyna Hotsanyuk, Serhii Tsikhon</i> THROUGH THE THORNS TO THE STARS: LIFE AND CREATIVE PATH OF PROFESSOR ORESTS ILLYAROVICH MATKOVSKY (NOVEMBER 17, 1929 – MARCH 23, 2023).....	146
<i>Mykola Pavlun, Larysa Heneralova</i> LIFE AND CREATIVE PATH OF IVAN OLESIYOVYCH KOVALCHUK (20.03.1936–12.07.2023).....	158

НОТАТКИ