

**MINERALOGICAL
COLLECTION**

**МІНЕРАЛОГІЧНИЙ
ЗБІРНИК**

№ 74

№ 74

Published since 1947

Виходить з 1947 р.

Ivan Franko
National University of Lviv

Львівський національний
університет імені Івана Франка



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

Друкується за ухвалою Вченої Ради
Львівського національного університету
імені Івана Франка.
Протокол № 69/7 від 01.07.2024 р.

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

На підставі наказу Міністерства освіти і науки України № 220 від 21.02.2024 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 21.02.2024 N 220
(annex 4), the collection is included in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine (category “B”)
on natural sciences (specialty 103 – Earth sciences).

Збірник присвячено 160-річчю кафедри мінералогії Львівського університету. Опубліковано
статті з регіональної та генетичної мінералогії, термобарогеохімії, петрології. Наведено розділи
«Хроніка» і «Втрати науки».

This “Mineralogical Collection” is dedicated to the 160th anniversary of the Department
of Mineralogy of Lviv University. The articles on regional and genetic mineralogy, thermobarogeochemistry,
and petrology are published. Sections “Chronicle” and “Losses of Science” are given.

Редакційна колегія:

д-р геол. наук, проф. *Микола Павлунь* (головний редактор), канд. геол.-мін. наук, доц. *Ірина Побережська* (заступник головного редактора), канд. геол.-мін. наук, доц. *Євгенія Сливко* (відповідальний секретар), д-р філософії, проф. *Maciej Bqbel* (Польща), канд. геол.-мін. наук, доцент *Лариса Генералова*, д-р геол. наук, член-кор. НАН України, проф. *Ігор Наушко*, канд. геол.-мін. наук, ст. наук. співробітник *Андрій Побережський*, канд. геол. наук, ст. дослідник *Мирослава Яковенко*.

Редакційна рада:

канд. геол. наук, доц. *Уляна Борняк*, д-р геол.-мін. наук, проф. *Віктор Квасниця*, д-р геол. наук, ст. наук. співробітник *Ганна Кульчицька*, д-р геол.-мін. наук, проф. *Володимир Павлишин*, д-р філо-софії, проф. *Adam Piestrzynski* (Польща), канд. геол.-мін. наук, доц. *Леонід Скакун*.

Editorial Board:

Professor *M. Pavlun* – Editor-in-Chief,
Associate Professor *I. Poberezhska* – Assistant Editor,
Associate Professor *Ye. Sliyko* – Managing Editor

Адреса редколегії:

Львівський національний університет імені
Івана Франка, геологічний факультет,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
тел. +38 (032) 239 47 00

Editorial office address:

Ivan Franko National University of Lviv,
Faculty of Geology,
4, Hrushevskoho St., Lviv, Ukraine, 79005
tel.: +38 (032) 239 47 00

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. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Формат 70x100/16
Ум. друк. арк. 10,24.
Тираж 50 прим. Зам. 0824/570

© Львівський національний
університет імені Івана Франка, 2024



160 років
КАФЕДРИ МІНЕРАЛОГІЇ
ЛЬВІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗМІСТ

<i>Ірина Побережська, Євгенія Сливко, Катерина Бурбан, Леонід Скакун</i> ДО 160-РІЧЧЯ КАФЕДРИ МІНЕРАЛОГІЇ ЛЬВІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ.....	6
<i>Олександр Вовк, Ігор Науко</i> ГЕНЕТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ТОПАЗУ.....	22
<i>Мирон Ковальчук, Любов Фігура</i> ІЛЬМЕНІТОНОСНІСТЬ ПРОДУКТИВНИХ ВІДКЛАДІВ ТА ЯКІСНІ ПАРАМЕТРИ ІЛЬМЕНІТУ ТРОСТЯНИЦЬКОГО РОДОВИЩА ТИТАНОВИХ РУД.....	31
<i>Микола Павлунь, Олег Гайовський, Тарас Шваєвський</i> ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЯ ПРОЦЕСІВ РУДОУТВОРЕННЯ НА ЗОЛОТОРУДНОМУ РОДОВИЩІ БАЛКА ШИРОКА (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ).....	45
<i>Ірина Побережська, Наталія Білик, Євгенія Сливко, Валентина Бондарчук, Дмитрій Бірук, Ігор Меркушин</i> УЛЬТРАОСНОВНІ ПОРОДИ ЗАХІДНО-ЛАЦІВСЬКОГО МАСИВУ (ПОБУЗЬКИЙ РУДНИЙ РАЙОН).....	56
<i>Юлія Крошко, Мирон Ковальчук</i> РУДОНОСНІСТЬ НОВОВИСУНЬСЬКОЇ ДІЛЯНКИ.....	67
<i>Наталія Білик, Ірина Побережська, Вероніка Білай, Анжела Шевчук</i> ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗРІЦІВ ПОРІД, ВІДБРАНИХ З ЛАВРЕНТІЙСЬКОГО КОНУСА ВІНОСУ (ПІВНІЧНО-ЗАХІДНА ЧАСТИНА АТЛАНТИЧНОГО ОКЕАНУ)..	78
<i>Анатолій Галамай, Юрій Садовий, Fanwei Meng, Дарія Сидор</i> ФІЗИКО-ХІМІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОЛІГАЛІТУ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ БАСЕЙНУ КАЙДАМ, КНР	94
<i>Олександр Костюк, Ірина Побережська, Анастасія Павленко</i> ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ КОНКУРС-ЗАХИСТ СТУДЕНТСЬКИХ НАУКОВИХ РОБІТ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 103 «НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ» (ГЕОЛОГІЯ)	109
ХРОНІКА	
<i>Альбертина Бучинська, Юрій Зінько, Оксана Шевчук, Катерина Бурбан</i> ШОСТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ГЕОТУРИЗМ: ПРАКТИКА І ДОСВІД».....	115
ВТРАТИ НАУКИ	
<i>Ірина Побережська, Євгенія Сливко, Олег Гайовський</i> ПАМ'ЯТІ СЕРГІЯ МИКОЛАЙОВИЧА БЕКЕШІ.....	122

CONTENTS

<i>Iryna Poberezhska, Yevheniia Slyvko, Kateryna Burban, Leonid Skakun</i> TO THE 160 th ANNIVERSARY OF THE DEPARTMENT OF MINERALOGY OF LVIV UNIVERSITY.....	6
<i>Oleksandr Vovk, Ihor Naumko</i> GENETIC SIGNIFICANCE OF CRYSTALMORPHOLOGICAL STUDIES ON THE EXAMPLE OF TOPAZ.....	22
<i>Myron Kovalchuk, Liubow Figura</i> ILMENITE-BEARING CAPACITY OF PRODUCTIVE SEDIMENTS AND QUALITY PARAMETERS OF ILMENITE OF THE TROSTYANYTSKY TITANIUM ORE DEPOSIT...31	31
<i>Mykola Pavlun, Oleh Haiovskyi, Taras Svaievskyi</i> THERMOBAROGEOCHEMISTRY OF ORE FORMATION PROCESSES AT THE BALKA SHYROKA GOLD ORE DEPOSIT (UKRAINIAN SHIELD).....	45
<i>Iryna Poberezhska, Nataliia Bilyk, Yevheniia Slyvko, Valentyna Bondarchuk, Dmytrii Birukl, Ihor Merkushyn</i> ULTRABASIC ROCKS OF THE ZAKHIDNO-LASHCHIVSKYI MASSIF (POBUZKYI ORE DISTRICT).....	56
<i>Yuliia Kroshko, Myron Kovalchuk</i> ORE BEARING OF THE NOVOVYSUNSKA SITE.....	67
<i>Nataliia Bilyk, Iryna Poberezhska, Veronika Bilai, Anzhela Shevchuk</i> CHARACTERISTICS OF ROCK SAMPLES SELECTED FROM THE LAURENTIAN CONE (NORTHWESTERN PART OF THE ATLANTIC OCEAN).....	78
<i>Anatoliy Galamay, Yurii Sadovyi, Fanwei Meng, Dariia Sydor</i> PHYSICAL AND CHEMICAL CONDITIONS OF THE FORMATION OF POLYHALITE IN THE NORTHWESTERN PART OF THE QAIDAM BASIN, CHINA.....	94
<i>Oleksandr Kostiuik, Iryna Poberezhska, Anastasiia Pavlenko</i> ALL-UKRAINIAN STUDENT RESEARCH COMPETITION IN THE SPECIALTY 103 “EARTH SCIENCES” (GEOLOGY).....	109
CHRONICLE	
<i>Albertyna Buchynska, Yurii Zinko, Oksana Shevchuk, Kateryna Burban</i> SIXTH INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE “GEOTOURISM: PRACTICE AND EXPERIENCE”.....	115
SCIENCE LOSSES	
<i>Iryna Poberezhska, Yevheniia Slyvko, Oleh Haiovskyi</i> IN MEMORY OF SERHII MYKOLAIOVYCH BEKESHA.....	122

УДК 378.4.096:549:552:550.4(477.83-25)

ДО 160-РІЧЧЯ КАФЕДРИ МІНЕРАЛОГІЇ ЛЬВІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Ірина Побережська, канд. геол.-мін. наук, доцент, зав. кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського
iryna.poberezhska@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-5020-8326>

Євгенія Сливко, канд. геол.-мін. наук, доцент кафедри екологічної та інженерної геології і гідрогеології
<https://orcid.org/0000-0002-2731-0602>

Катерина Бурбан, зав. лабораторії фізичних досліджень мінералів і гірських порід та літології
<https://orcid.org/0009-0002-9961-5680>

Леонід Скакун, канд. геол.-мін. наук, доцент кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського
<https://orcid.org/0000-0002-2338-6562>
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

Кафедрі мінералогії Львівського університету у 2024 р. виповнюється 160 років. До 2020 р. це була єдина кафедра мінералогії в Україні з такою назвою. Історію кафедри описано в численних наукових і довідкових працях різних років. Нині кафедра мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського провадить активну освітню, навчально-методичну, наукову та виховну діяльність, забезпечує проведення лекційних, лабораторних і практичних занять, навчальних польових і виробничих практик бакалаврів і магістрів за спеціальністю 103 «Науки про Землю» (Мінералогія і кристалографія).

У статті схарактеризовано багатогранну діяльність кафедри протягом останніх десяти років. Зокрема, за цей період побачило світ 13 різноманітних навчально-методичних видань, провадилась активна студентська наукова робота і профорієнтаційна діяльність серед школярів. Працівники кафедри тісно співпрацюють із різноманітними вітчизняними й зарубіжними науковими та виробничими установами. Налагоджено тісну співпрацю між роботодавцями й учасниками освітнього процесу.

Активна наукова діяльність співробітників кафедри тісно пов'язана з офіційно затвердженою в Україні мінералогічною школою академіка Євгена Лазаренка. Науковці кафедри є авторами і співавторами восьми монографій і понад 230 статей у вітчизняних та міжнародних періодичних виданнях різного рангу, були учасниками багатьох наукових нарад і конференцій різного рівня в Україні та за її межами. Разом з Українським мінералогічним товариством кафедра організувала проведення Двадцятих наукових читань імені академіка Євгена Лазаренка у грудні 2022 р.

Кафедра курсу «Мінералогічний збірник» – перше періодичне наукове видання мінералогічного спрямування в Україні, започатковане 1947 р. У 2024 р. «Мінералогічний збірник» занесено до списку друкованих наукових періодичних видань категорії «Б».

Популярним туристичним об'єктом для різних категорій відвідувачів став Мінералогічний музей імені академіка Євгена Лазаренка. До 170-річчя із часу заснування музею у грудні 2023 р. проведено міжнародну науково-практичну конференцію «Геологічні музеї та колекції: їх роль в науці, освіті та туризмі». Підсумкам геотуристичних досліджень, у яких беруть активну участь співробітники кафедри та Мінералогічного музею, присвячено шість міжнародних науково-практичних конференцій під назвою «Геотуризм: практика і досвід» (з 2014 р.), останню з яких проведено у квітні 2024 р.

Ключові слова: кафедра мінералогії, кафедра мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського, Львівський національний університет імені Івана Франка, освітній процес, наукова діяльність, мінералогічна школа академіка Євгена Лазаренка, «Мінералогічний збірник», Мінералогічний музей імені академіка Євгена Лазаренка.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.01>

У 2024 р. кафедрі мінералогії Львівського університету виповнюється 160 років. Заснована 1864 р. на філософському факультеті професором Ф. Циркелем, основоположником мікроскопічного методу в мінералогії й петрографії, кафедра забезпечувала в університеті викладання всіх геологічних дисциплін і проведення мінералогічних, петрографічних, загальногеологічних та інших досліджень до 1905 р. (коли було створено кафедру геології).

І до 2020 р. це була єдина кафедра в Україні з первинною назвою «Кафедра мінералогії». Адже, наприклад, у Київському університеті 1834 р. відкрили кафедру мінералогії і геогнозії, спадкоємницею якої згодом стала кафедра мінералогії, геохімії та петрографії¹. У Харківському університеті 1837 р. було засновано кафедру мінералогії і геогнозії, у 1960 р. після численних пертурбацій вона стала об'єднаною кафедрою мінералогії та петрографії, а з 1986 р. це кафедра мінералогії, петрографії та корисних копалин². У Катеринославському вищому гірничому училищі (нині НТУ «Дніпровська політехніка») 1906 р. було засновано кафедру мінералогії, кристалографії та петрографії, яку 1936 р. розділили на дві, а 1964 р. знов об'єднали; нині такої кафедри у цьому ЗВО нема³.

Кафедра мінералогії Львівського університету «протрималася» до 2020 р. Та життя не стоїть на місці... Протягом 2010–2020 рр. діяльність геологічного факультету за незалежних від нього обставин була ускладнена, особливо після 2015 р., коли МОН України ввело «всеосяжну» спеціальність «Науки про Землю». Це негативно позначилося на геології, яка до того була єдиною спеціальністю наук про Землю. Водночас геологорозвідувальна



¹ Головна – кафедра мінералогії, геохімії та петрографії (univ.kiev.ua)

² Кафедра мінералогії, петрографії та корисних копалин | Факультет геології, географії, рекреації і туризму Каразінського університету (karazin.ua)

³ НТУ «Дніпровська політехніка» (nmu.org.ua)

галузь України на цей момент була повністю дезінтегрована, а Державна служба геології і надр України займалася головно продажем ліцензованих ділянок надр здебільшого нафтогазової сировини. Звичайно, це позначилося на вступній кампанії і спричинило перманентне зменшення кількості студентів геологічного факультету. Тому факультет



був змушений здійснити так звану оптимізацію штатної структури науково-педагогічних працівників і лабораторно-інженерного складу кафедр: зменшити їхню кількість і кількість навчальних лабораторій, привести у відповідність чисельність штатного складу тощо [15]. Так на факультеті з'явилася кафедра мінералогії, петрографії і геохімії, яку було створено 1 січня 2020 р. внаслідок об'єднання кафедр мінералогії і петрографії. У червні 2023 р. за конкурсом на посаду завідувача кафедри обрано доцента Ірину Побережську.

Понад 25 років – з 1974 по 1999 рік – кафедрі мінералогії очолював професор Орест Іллярович Матковський (1929–2023). Тому не дивно, що за ініціативою педагогічного колективу кафедри мінералогії, петрографії і геохімії у жовтні 2023 р. їй було присвоєно ім'я цього видатного українського ученого-мінералога і тепер вона офіційно називається *кафедра мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського*.

Історію кафедри мінералогії, її навчальну й наукову діяльність та різноманітні здобутки детально схарактеризовано в численних статтях і довідково-інформаційних виданнях, присвячених власне кафедрі, геологічному факультету, Мінералогічному музею імені академіка Євгена Лазаренка, мінералогічній школі академіка Євгена Лазаренка, всесвітньовідомому «Мінералогічному збірнику», окремим особистостям, які зробили вагомий внесок у розвиток кафедри, та ін. [1, 3–7, 10, 11, 13–15 та ін.]. Тому нижче ми зупинимося на діяльності кафедри протягом останнього десятиріччя.

У жовтні 2023 р. кафедра мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського успішно пройшла акредитаційну експертизу освітньо-професійної програми «Геохімія та мінералогія» (гарант програми – І. Побережська) спеціальності 103 «Науки про Землю» за другим (магістерським) рівнем вищої освіти й отримала Сертифікат про акредитацію освітньої програми, який діє до 01.07.2029.

Нині кафедра є одним із базових структурних підрозділів геологічного факультету, що здійснює освітню, навчально-методичну, наукову та виховну діяльність, забезпечує читання лекцій, проведення лабораторних занять, навчальних польових, виробничих практик бакалаврів і магістрів. Ведеться підготовка фахівців за освітньо-науковим рівнем доктора філософії за спеціальністю 103 «Науки про Землю» (Мінералогія і кристалографія). Викладачі кафедри читають такі дисципліни: для бакалаврів – мінералогія, систематична мінералогія, прикладна мінералогія, кристалографія, основи петрографії, петрографія кристалічних порід, літологія, основи геохімії, мінерало-геохімічні методи пошуків та ін.; для магістрів – рудна мінералогія, генетична мінералогія, мінералогія України, шліховий аналіз, геохімія, петрологія (англійською мовою), методи петрологічних досліджень, геодинаміка та ін. При кафедрі функціонують дві лабораторії – рентгеноструктурного аналізу (завідує А. Дворянський) і фізичних досліджень мінералів і гірських порід та літології (завідує К. Бурбан).



Колектив кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського (зліва направо): асист. Н. Білик, доценти Н. Словотенко, У. Борняк, О. Костюк, інж. П. кат. лаб. С. Дворжак, зав. кафедри, доц. І. Побережська, інж. каф. І. Попова, доценти (0,5 ст.) С. Кріль, Л. Скакун, зав. лаб. К. Бурбан, інж. лаб. І. Шведа

Кафедра має значні здобутки в розробці робочих програм і силабусів, у підготовці й виданні підручників, навчальних посібників і різноманітних навчально-методичних видань (за останні десять років – 13). Серед них третє видання підручника «Генезис мінералів» (Павлишин, Матковський, Довгий, 2021), навчальні посібники «Діагностика мінералів шліхів» (Бекеша, Білик, 2015), «Геометрична кристалографія» у 3 частинах (Словотенко, Бакуменко, 2015), «Літологічні методи досліджень. Ч. 2. Карбонатні породи» (Костюк, Побережська, Борняк, 2021), «Діагностика мінералів за основними макроскопічними ознаками» (Білик, Скакун, Бекеша, Побережська, 2022), «Літологічні методи досліджень. Ч. 3. Глинисті породи» (Костюк, Побережська, 2023), методичні вказівки до курсу «Генетична мінералогія» (Матковський, Словотенко, 2022) та ін.



Після захисту магістерських робіт 22.12.2023 р.
Зліва направо: В. Лущик, А. Гілка, М. Демид, О. Костишин

У підготовці висококваліфікованих фахівців важливу роль відіграє наукова студентська робота. На кафедрі активно працюють два студентські гуртки – мінералогічний (керівники – Л. Скакун, Н. Білик) і петрографічний (керівник – І. Побережська). Ми пишаємося досягненнями наших студентів, які протягом 2015–2017 рр. брали участь у другому турі Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з напрямку «Геологічні науки» (м. Кривий Ріг). Зокрема, у 2015 р. студент Р. Карелов посів друге місце за наукову роботу «Мінерали цезію в рідкісно-металевих пегматитах родовища Жовта Річка (Кіровоградська обл.)», студентка Ю. Остапчук у 2016 р. – перше місце за наукову роботу «Мінеральний склад та умови формування натічних утворень сульфатів цинку у шахті II Мужієвського родовища», а 2017 р. – третє місце за наукову роботу «Археомінералогічні дослідження металургійних шлаків черняхівської культури». У 2024 р. кафедра ініціювала поновлення Всеукраїнського конкурсу-захисту студентських наукових робіт зі спеціальності 103 «Науки про Землю» (Геологія). Перший тур провели 15 лютого 2024 р. Його переможцями стали студенти, які виконували свої роботи на кафедрі мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського. У другому турі взяли участь 12 студентів із шести ЗВО України. Диплом I ступеня отримала студентка четвертого курсу нашого факультету В. Бондарчук за наукову роботу «Ультрасосновні породи Західно-Львівської ділянки силікатних кобальт-нікелевих руд» (науковий керівник – І. Побережська).

Велику увагу приділяють на кафедрі підготовці кадрів вищої кваліфікації. У грудні 2016 р. аспірантка кафедри О. Цільмак захистила кандидатську дисертацію на тему «Мінералого-геохімічна модель Бобриківського золоторудного родовища» за спеціальністю 04.00.20 «Мінералогія, кристалографія» (науковий керівник – Л. Скакун). З 2017 р., після прийняття постанови Кабінету Міністрів України від 23.03.2016 № 261 «Про затвердження Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)», кафедра готує докторів філософії за спеціальністю 103 «Науки про Землю». У 2022–2023 рр. затверджено такі теми дисертаційних робіт аспірантів першого року навчання: для І. Дубровського – «Комплексний аналіз геотуристичних об'єктів західного регіону України» (науковий керівник – І. Побережська); для Я. Мігунової – «Вторинні мінерали ультрасосновних і основних порід Українських Карпат як індикатори умов їх утворення» (І. Побережська); для І. Слівінського – «Мінеральні парагенезиси та онтогенез кварц-сульфідних жил Мужієвського золото-поліметалічного родовища» (Л. Скакун).

Викладачі кафедри активно долучаються до профорієнтаційної діяльності. Вони керують роботою школярів, які беруть участь у Всеукраїнському конкурсі юних дослідників «Кристали» імені Євгена Гладішевського. Зокрема, переможцями другого етапу конкурсу стали К. Борняк (2018) та П. Турчиняк (2019), дослідженнями яких керувала І. Побережська.



Аспірантка Я. Мігунова виступає з доповіддю на XI науково-практичній конференції «Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання». Хорошів, 2023

Співробітники кафедри постійно задіяні в роботі Львівської обласної Малої академії наук учнівської молоді. У 2019 р. слухачка академії К. Борняк перемогла на третьому етапі Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт з геології, геохімії та мінералогії (керівник – І. Побережська). Учень 11-го класу Львівського фізико-математичного ліцею-інтернату при ЛНУ імені Івана Франка, слухач секції «Географія і геологія» відділення наук про Землю Малої академії П. Турчиняк став переможцем третього етапу Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів-членів Малої академії наук України (секція «Геологія, геохімія та мінералогія») і отримав такі престижні нагороди: 1) юніорську золоту нагороду в категорії Asian Youth Innovation Awards 2021 у рамках XX Міжнародної виставки інновацій та новітніх технологій Malaysia Technology Expo; 2) спеціальну нагороду National Association for Science & Research: NASR Lebanon award (2021); 3) золоту нагороду на міжнародному конкурсі E-NNOVATE 2021 (Польща) за наукову роботу «Кристаломорфологія і фізичні властивості алюмокалієвих і хромокалієвих галунів» (керівники – І. Побережська, С. Бекеша, Н. Білик).

Багатогранною є науково-дослідна робота на кафедрі. Наукові здобутки співробітників кафедри за останні десять років такі: монографії – 8; довідково-бібліографічні видання – 4; статті у виданнях, що мають імпакт-фактор, та в інших виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Web of Science, Scopus та ін., – 18, у фахових виданнях України – 124, в інших виданнях України – 81, в інших закордонних виданнях – 8; матеріали й тези на міжнародних конференціях – 44, на вітчизняних конференціях – 44. Серед монографій зазначимо такі: *Матковський О., Білоніжка П., Возняк Д., та ін.* Мінерали Українських Карпат. Процеси мінералоутворення (Львів, 2014); *Білоніжка П.* Геохімічні закономірності формування родовищ калійних солей Передкарпаття (Львів, 2017); *Білоніжка П.* Нариси з мінералогії Гірського Криму (межиріччя Бодраку і Качі) (Львів, 2017); *Павлишин В., Матковський О., Довгий С.* Здобутки мінералогії в Україні. До 100-річчя Геологічної служби України та Національної академії наук України (Київ, 2018); *Білоніжка П.* Геохімія біосфери (Львів, 2018); *Білоніжка П.* Ноосфера та проблеми її розвитку (Львів, 2020); *Матковський О., Наушко І., Павлунь М., Сливко Є.* Термобарогеохімія в Україні (Львів, 2021) та ін. Наведемо і довідково-бібліографічні видання: Орест Матковський: учений, педагог, організатор науки і освіти (до 85-річчя від народження) / автори й упорядники П. Білоніжка, Є. Сливко, Б. Манчур та ін. (Львів, 2014); Петро Білоніжка. Життєвий і творчий шлях / автори й упорядники О. Матковський, Л. Ланчак, Ю. Дацюк (Львів, 2015); Ангеліна Андріївна Ясинська / автори й упорядники П. Білоніжка, О. Матковський, І. Наушко, Є. Сливко (Львів, 2019); Професор Орест Матковський – класик української мінералогії (до 90-річчя від дня народження) / автори й упорядники М. Павлунь, І. Наушко, П. Білоніжка та ін. (Львів, 2019); Петро Білоніжка – вчений, педагог / автори й упорядники М. Павлунь, О. Матковський, І. Наушко (Львів, 2020).

Активна наукова діяльність, яку проводять співробітники кафедри, тісно пов'язана з офіційно затвердженою мінералогічною школою академіка Євгена Лазаренка [4, 5, 9, 15]. Зокрема, у 2014 р. співробітники кафедри мінералогії завершили дослідження за держбюджетною темою «Онтогенічні та фізико-хімічні моделі мінеральних агрегатів як відображення динаміки гідротермальних рудоутворювальних систем» (науковий керівник – О. Матковський). Досліджено мінералогічні особливості гідротермальних утворень різних регіонів України, зокрема, Березівського рудного поля (Закарпаття), Бобрівського золоторудного родовища (Донбас), мідного зруденіння в трапових комплексах Волині. Для порівняння з епітермальними родовищами України вивчено мінералогію й умови формування жильних утворень родовища Банська Штявниця (Словаччина). Виконано комп'ютерне моделювання (з використанням програмних пакетів GEMS і COMAGMAT) гідротермального мінералоутворення на мідних рудопроявах Волині. Також досліджено акцесорні мінерали вознесенських гранітів (кіровоградський комплекс Українського

щита), що дало змогу виявити стадію нагромадження рідкіснометалевої та рідкісноземельної мінералізації.

Протягом 2015–2017 рр. на кафедрі мінералогії виконували держбюджетну тему «Історія мінералогії і кристалографії в Україні» (науковий керівник – О. Матковський). Роботи пов'язані зі складанням монографічного зведення з історії мінералогії в Україні. Наведено головні віхи розвитку мінералогії та її періодизацію. Схарактеризовано мінералогічні знання у Київській Русі (до XII ст.), експедиційний період досліджень території України (до XVIII ст.) і період становлення головно описової мінералогії (XIX ст.–1940-і роки). Проаналізовано мінералогічні дослідження у Львівському, Харківському, Київському й Одеському університетах, Дніпропетровському гірничому інституті та інших закладах вищої освіти й установах Академії наук. Описано розвиток мінералогічних і кристалографічних досліджень українських учених за такими напрямками: регіональна мінералогія; кристалохімія і фізика мінералів; мінералогічна кристалографія; генетична мінералогія; космічна мінералогія; біомінералогія; прикладна мінералогія (розшуково-оцінна, мінералого-технологічна, мінералогія нових видів мінеральної сировини). Проаналізовано зародження, формування й розвиток чотирьох наукових шкіл: мінералогічної академіка Євгена Лазаренка, термобарогеохімічної професора Миколи Єрмакова, кристалохімічної академіка Олександра Поваренних і фізики мінералів професорів Олексія Платонова, Аркадія Таращана, Івана Матяша. Схарактеризовано найвагоміші здобутки українських мінералогів за всіма напрямками сучасної мінералогії. Зазначимо, що всі ці матеріали стали основою двох книжок, які вийшли пізніше за співавторства О. Матковського: *Павлишин В., Матковський О., Довгий С.* Історія мінералогії в Україні. Від глибокої давнини до 90-х років XX ст. Київ, 2019; *Історія мінералогії в Україні від 90-х років XX ст. і донині.* Київ, 2022.

Цікаві результати отримано під час виконання держбюджетної теми «Петрологічні моделі еволюції глибинних порід та їх використання для прогнозно-пошукових цілей» (2016–2020, науковий керівник – І. Побережська). Виявлено загальні особливості індикаторних мінералів кімберлітів, карбонатитів та інших потенційно алмазоносних порід, які формувалися за різних значень температури, тиску і глибини, що має важливе значення для прогнозно-розшукових робіт. Досліджено хімічний склад і характер розподілу в різних геологічних формаціях піропу, пікрольменіту і хромшпінелідів. Виконано аналіз практичного залучення мінералів-супутників як індикаторів алмазоносності порід під час прогнозування, розшуків та оцінювання корінних алмазоносних порід різних генетичних типів і визначено доцільність їхнього використання в практиці геологорозвідувальних робіт на алмази в Україні.

Останніми десятиліттями на геологічному факультеті почали розвивати нові напрями наукових досліджень, серед яких особливе місце посідає геотуристичний напрям. Його започатковано на кафедрі мінералогії під час виконання міжнародного проекту «Гео-Карпати – створення польсько-українського туристичного шляху» (2007–2013). Грант виборів за конкурсом завідувач кафедри мінералогії Л. Скакун, який став науковим керівником проекту і брав активну участь у його виконанні разом з іншими співробітниками геологічного факультету й ІГТГК НАН України – О. Яцожинським, І. Бубняком, А. Бучинською та ін. Мета проекту – розвиток туристичної привабливості та зростання конкурентоспроможності прикордонного регіону завдяки створенню спільного геотуристичного шляху й умов для розвитку туристичної інфраструктури. Разом із польськими дослідниками львів'яни розробили концепцію шляху (16 об'єктів в Україні, 12 – у Польщі) і створили спільну польсько-українську базу даних цікавих геологічних об'єктів. Оpubліковано карту й геотуристичний путівник за маршрутом Кросно – Борислав – Яремче (українською й польською мовами), а також «Навчальні матеріали для провідників по шляху Гео-Карпати» (2013, редактори І. Бубняк, А. Солецький).

З геотуристичним напрямом тісно пов'язані мінералогічні, петрографічні й інші дослідження кам'яного матеріалу будівель і пам'ятників. У 2020 р. співробітники кафедри мінералогії, петрографії і геохімії завершили роботу над держбюджетною темою «Дослідження кам'яного матеріалу пам'ятників культурної спадщини Галичини» (2016–2020, науковий керівник – У. Борняк). Одержано нові дані з історії, технології побудови й мистецького оздоблення

Успенського собору в княжому Галичі на підставі аналізу кам'яного матеріалу збережених споруд княжої доби. Проаналізовано збережений кам'яний матеріал мурів та елементів оборонних споруд замку в м. Хуст, виконано оцінку впливу різних деструктивних чинників на їхню цілісність, запропоновано ймовірні джерела постачання кам'яного матеріалу на зазначені об'єкти. Також схарактеризовано геологічну будову історико-культурного заповідника «Буша» (Вінницька обл.) і доведено значення структурно-текстурних характеристик гірських порід у формуванні дохристиянського скельного храму в с. Буша. Проаналізовано особливості використання для будівництва червоноколірних відкладів дністерської серії.

Протягом 2021–2023 рр. дослідження в цьому напрямі під керівництвом У. Борняк тривали за темою «Мінералого-петрографічні дослідження геотуристичних об'єктів та пам'ятників культурної спадщини Західної України». Зокрема, проаналізовано стан кам'яного матеріалу історичних оборонних об'єктів Львова, виконано його ідентифікацію та визначено можливі шляхи збереження. Узагальнено геотуристичні об'єкти Львова й доведено можливість використання певних об'єктів на території регіонального ландшафтного парку «Знесіння» для проведення навчальних студентських практик. Виявлено значний ступінь антропогенної трансформації жорстководних джерел із туфовими утвореннями Львова та його околиць.

Також досліджено мінералого-петрографічний склад, стан збереженості та види пошкодження кам'яного матеріалу кладовищ Галичини, які вже є пам'ятками або можуть стати історичними пам'ятками чи музеями просто неба (скансенами). Виконано комплексний аналіз геотуристичних атракцій Підкаменя. За комплексом досліджень простежено основні засади технологічних і технічних прийомів мурування окремих стін фортеці Тустань. Узагальнено геотуристичні об'єкти м. Чернівці, проаналізовано перспективи використання як туристичних об'єктів замків Буковини й досліджено петрографічний склад кам'яного матеріалу кладовищ регіону. Вивчено стан каменю історичних оборонних об'єктів Кам'янець-Подільського та можливі шляхи його реставрації.



Співробітники кафедри (зліва направо – У. Борняк, Н. Білик, І. Побережська) разом зі студентками (В. Білай, С. Сухоставець, Н. Павленко) готуються до геологічного маршруту в Підкаміні

У 2017–2020 рр. під керівництвом О. Костюка на кафедрі виконували держбюджетну тему «Літогенетичні особливості та рудоносність осадових формацій Карпат». У процесі робіт визначено послідовність післяседиментаційного мінералоутворення та літогенетичні й мінералого-петрографічні особливості вторинних перетворень порід палеоценового

віку Скибової зони Українських Карпат. Роботи в цьому напрямі продовжено за темою «Літолого-петрологічні дослідження генезису осадових, магматичних та метаморфічних комплексів порід західної і центральної частин України та проблеми їхнього генезису» (2022–2024). Доведено, що ділянки рудної мінералізації приурочені до розломів підфлішового фундаменту північно-західного (карпатського) та північно-східного простягання, які відігравали роль підвідних шляхів для глибинних флюїдів.

На підставі вивчення літохімічного складу верхньокрейдово-еоценових фонових утворень Скибової одиниці визначено мінеральні типи пелітових геміпелітів. Це суттєво монтморилонітові (сметитові) аргіліти, які розвинуті до нижньоеоценової манявської світи, у складі якої трапляється трикомпонентна суміш хлорит + монтморилоніт + гідрослюда. Наявність монтморилоніту і хлориту у фонових аргілітах свідчить про вірогідність внеску в петрофонд басейна седиментації фемічної складової базальтів, можливо, нижньокорової та мантіїної природи.

Багатогранною є науково-організаційна діяльність співробітників кафедри. Разом з Українським мінералогічним товариством кафедра мінералогії була ініціатором проведення наукових читань імені академіка Євгена Лазаренка, перші з яких відбулися ще в грудні 1997 р. [8, 9], а останні, дванадцяті, – у грудні 2022 р. [12]. І загалом вісім читань проведено за участю кафедри на геологічному факультеті або у СОТ «Карпати» ЛНУ імені Івана Франка. Зокрема, у 2014 р. Восьмі наукові читання на тему «Мінералогія: сьогодні і майбуття» були присвячені 150-річчю кафедри мінералогії. На них обговорено нові дані з мінералогії, кристалохімії та біогеохімії, петрографії та літології, флюїдного режиму формування різноманітної мінералізації в магматичних, гідротермально-метасоматичних, осадових і метаморфічних комплексах України. На Десятих наукових читаннях (2016) обговорювали два головні питання: 1) стан реалізації задумів Є. Лазаренка щодо створення монографічного зведення з мінералогії України й мінералогічного словника-довідника Карпато-Балканської гірської системи; 2) результати новітніх мінералогічних досліджень. Одинадцяті наукові читання (2018) були присвячені ролі геологічної служби України у розвитку мінералогічних досліджень. Тематика читань – мінералогія і геохімія гірських порід та різних корисних копалин, генезис і властивості породо-, рудоутворювальних, акцесорних, техногенних мінералів (земних і космічних), проблеми золото-, мідє-, бурштиноносності України, історія науки та ін. Останні, дванадцяті, наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка на тему «Мінералогія України: сучасний стан і перспективи» приурочили до 110-річчя від дня народження вченого і провели на геологічному факультеті, незважаючи на воєнний стан, у грудні 2022 р. (у змішаному пленарно-дистанційному форматі).



Учасники Десятих наукових читань імені академіка Євгена Лазаренка у спортивно-оздоровчому таборі «Карпати» ЛНУ імені Івана Франка, вересень 2016 р.

Підсумкам геотуристичних досліджень, у яких беруть активну участь співробітники кафедри та Мінералогічного музею, присвячено шість міжнародних науково-практичних конференцій під назвою «Геотуризм: практика і досвід», які проведено в ЛНУ імені Івана Франка (2014, 2016, 2018, 2020, 2022, 2024). У збірниках матеріалів цих конференцій містяться важливі й цікаві дані про геологічні пам'ятки природи, серед яких є відомості і про мінералогічні пам'ятки, головню в комплексі з іншими (петрографічними, стратиграфічними тощо). Зокрема, у матеріалах четвертої конференції опубліковано повідомлення О. Матковського «Природні мінералогічні пам'ятки – важливі об'єкти геотуризму», де зазначено, що такі об'єкти посідають особливе місце серед великого розмаїття геологічних пам'яток природи, проте, на жаль, їм приділяють недостатню уваги під час організації геомаршрутів.



Пленарне засідання Шостої міжнародної науково-практичної конференції «Геотуризм: практика і досвід» у науковій бібліотеці ЛНУ імені Івана Франка, 25 квітня 2024 р.

Науковці кафедри були учасниками багатьох наукових нарад і конференцій різного рівня як в Україні, так і за її межами. Серед них такі міжнародні форуми, а також конференції з міжнародною участю, як «Континентальний неовулканізм Альпійської складчастої зони Східної Європи» (Київ, 2013), «Роль вищих навчальних закладів у розвитку геології» (Київ, 2014), «Геохронологія та рудоносність докембрію і фанерозою» (Київ, 2015), «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (Трускавець, 2015, 2019, 2021), «Природничі музеї та їх роль в освіті та науці» (Київ, 2015), «Метасоматизм та рудоутворення» (Київ, 2016), «Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища» (Львів, 2016), «Розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, 2016), XIV Workshop of the European Society for Isotope Research (Baile Govora, Romania, 2017), GEOTRENDS 2 International Conference on Geoheritage & Geotourism (Wroclaw, Poland, 2017), Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Kyiv, Ukraine, 2017), «Теорія і практика сучасної науки» (Херсон, 2018), VI Міжнародний геологічний форум «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво» (Одеса, 2019), II International Scientific and Practical Conference “Modern Research in World Science” (Lviv, 2022), IV International Scientific and Practical Conference “Science and Technology: Problems, Prospects and Innovations” (Osaka, Japan, 2023), Natural Resources of Border Areas under a Changing Climate (Chernihiv, Ukraine, 2023), XXIVe colloque du GMPCA: Archéométrie 2023 (Nice, France, 2023), «Навколишнє середовище для майбутнього через наукову освіту» (Ужгород, 2023) та ін.

Працівники кафедри тісно співпрацюють із різноманітними вітчизняними та зарубіжними установами. Зокрема, у 2014 р. у рамках двосторонньої співпраці між НАН України та Словацькою АН співробітники кафедри мінералогії брали участь у виконанні проєкту

«Геологія та еволюція Au-Ag-Bi-Te-Se асоціацій родовищ та рудопроявів України і Словаччини». Досліджено особливості мінералогії та умови формування жил родовища Банська Штявниця порівняно з епітермальними родовищами України. Виконано дослідження типоморфних особливостей мінералів із використанням електронної мікроскопії та мікронзондового рентгеноспектрального аналізу. Завідувач кафедри мінералогії Л. Скакун проходив тижневе стажування в Інституті геологічних наук Словацької АН. У 2015 р. Л. Скакун брав участь у спільному проєкті «Дослідження генетичних і вікових взаємовідношень між магматичними і епітермальними рудними формуваннями у вулканічній структурі Східної Словаччини і регіонів неогенового вулканізму Західної України».

У лютому – березні 2022 р. О. Костюк проходив наукове стажування в Університеті прикладних наук м. Рига (Латвія), а у 2023 р. отримав сертифікат середнього рівня № CDTfE-11-C-01105 за результатами стажування за темою «Цифрові інструменти Google для освіти», організованого компанією Google Україна спільно з Міністерством освіти і науки України. Міжнародне наукове стажування пройшли у 2022 р. Н. Білик та І. Побережська (International certificate N 6034 / January 20, 2022; 6 ECTS credits). 3 грудня 2022 р. по березень 2023 р. Н. Білик, У. Борняк та І. Побережська пройшли два онлайн-курси «Польська для геологів», організовані Американською асоціацією нафтових геологів (American Association of Petroleum Geologists, AAPG).

З ініціативи співробітників кафедри останнім часом підписано угоди про співпрацю з ТОВ «Геологічна інвестиційна група», комунальним закладом обласної ради «Адміністрація Державного історико-культурного заповідника «Тустань», комунальним закладом «Залозецький краєзнавчий музей» Залозецької селищної ради, а також меморандум з ПАТ «Укргазвидобування».

На кафедрі налагоджено тісну співпрацю між роботодавцями й учасниками освітнього процесу. Наприклад, представники відділу альтернативних джерел енергії ЛВ УкрНДІгазу АТ «Укргазвидобування» є партнерами кафедри як роботодавці, тож не дивно, що нині п'ять випускників кафедри працюють у цьому відділі. Також співробітники відділу Л. Скакун і С. Кріль беруть активну участь у навчальному процесі (працюють на кафедрі на 0,5 ставки доцента), активно долучають студентів до польових і камеральних досліджень. Зокрема, у квітні 2024 р. студенти третього курсу М. Бабій та О. Білобородов посіли четверте місце на Всеукраїнському конкурсі-захисті студентських наукових робіт зі спеціальності 103 «Науки про Землю» (Геологія) з роботою «Водень у ґрунтовому газі – індикатор потоків природного водню у надрах Передкарпаття» (науковий керівник – Л. Скакун).



Зустріч зі стейкхолдерами з ТОВ «Геологічна інвестиційна група» в Мінералогічному музеї імені академіка Євгена Лазаренка (2023).

Зліва направо: У. Борняк, Т. Кшановська, С. Ціхонь, О. Костюк, І. Супрун, І. Побережська, А. Бучинська, О. Цільмак

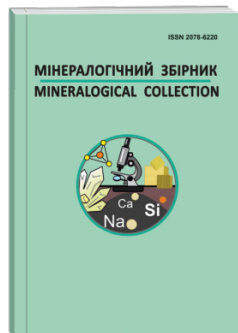
Особливо тісні зв'язки кафедра нині підтримує з ТОВ «Геологічна інвестиційна група». Директор компанії І. Супрун була рецензентом (як зовнішній стейкхолдер) освітньої програми «Геохімія та мінералогія» і є головою ради роботодавців геологічного факультету. Компанія залучає до виконання польових і камеральних робіт на своїх об'єктах студентів кафедри, які займаються науковою роботою. Працівники «Геологічної інвестиційної групи» ведуть активну профорієнтаційну роботу. Наприклад, 15 квітня 2024 р. І. Супрун прочитала на факультеті відкриту гостьову лекцію на тему «Геологія – перспективи фаху в Україні».

Неможливо уявити кафедру без Мінералогічного музею, який було організовано ще до відкриття в університеті кафедри мінералогії – у 1852–1853 рр. У 1992 р. музею присвоєно ім'я академіка Євгена Лазаренка [1, 13 та ін.]. Нещодавно в музеї завершено капітальний ремонт. І сьогодні музей охоплює площу 330 кв. м, на яких розміщено близько 90 експозиційних вітрин і шаф зі збірками мінералів з усього світу. Експозиція музею налічує понад 14 тис. експонатів. Останніми роками Мінералогічний музей імені Євгена Лазаренка, яким нині керує А. Бучинська, веде активну екскурсійну діяльність. Він входить до переліку громадських музеїв Львова і є популярним туристичним об'єктом для різних категорій відвідувачів.



Завідувачка Мінералогічного музею А. Бучинська проводить екскурсію та розповідь-лекцію «Мінерали в рюкзаку школяра» для учнів другого класу Школи вільних та небайдужих, 10.04.2024

До 170-річчя зі часу заснування музею у грудні 2023 р. на факультеті проведено міжнародну науково-практичну конференцію «Геологічні музеї та колекції: їх роль в науці, освіті та туризмі». Серед тем, що їх обговорювали на конференції, зазначимо такі: наукові дослідження на базі геологічних музеїв та використання геологічних колекцій в освіті, історія колекцій та музеїв, геологічні музеї та виставки як об'єкти геотуризму та ін. Незважаючи на воєнний стан, список учасників конференції охоплював 96 (!) осіб, і не тільки з України, а й з Іспанії, Литви та Польщі. Запропоновано проводити подібні конференції щодва роки [2].



Кафедра мінералогії курує «Мінералогічний збірник» – перше періодичне наукове видання мінералогічного спрямування в Україні, започатковане 1947 р. Львівським геологічним товариством при Львівському університеті [7, 10]. У 2008 р. збірник одержав свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ (серія КВ № 14604-3575Р від 29.10.2008). Згідно з постановою Президії ВАК № 1-05/4 від 14.10.2009, збірник перереєстровано як фахове видання України; удруге перереєстрація відбулася 2015 р. (наказ Міністерства освіти і науки України № 747 від 13.07.2015). У 2024 р. «Мінералогічний збірник» занесено до списку друкованих наукових періодичних видань категорії «Б» (наказ МОН України № 220 від 21.02.2024 (Додаток 4)), спеціальність 103 «Науки про Землю». З 1979 р. до останніх днів свого життя відповідальним і головним (з

2006 р.) редактором збірника був завідувач і професор кафедри мінералогії О. Матковський. Нині редакційну колегію, яка налічує вісім осіб, очолює професор М. Павлунь. Вебсайт «Мінералогічного збірника» – Головна | Мінералогічний збірник (Inu.lviv.ua)

В одній статті неможливо висвітлити всі аспекти минулої та сучасної різнобічної діяльності кафедри. Ми зупинилися тільки на окремих, найзначніших моментах цієї діяльності протягом останніх десяти років. Хочеться лише додати, що сьогодні, незважаючи на складні часи, які переживає наша Україна, усі співробітники кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського сповнені енергії, сил, завзяття і готові працювати заради навчання молодого покоління геологів та підняття престижу нашої професії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоніжка П., Матковський О., Павлунь М., Сливко Є. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка (1945–2010). Львів : ВЦ ЛНУ, 2010. 520 с.
2. Бучинська А., Цільмак О., Дворжак Т., Бурбан К. Міжнародна науково-практична конференція до 170-річчя створення Мінералогічного музею у Львівському університеті. *Мінерал. зб.* 2023. № 73. С. 72–76.
3. Матковський О. Мінералогія у Львівському університеті. *Мінерал. зб.* 2011. № 61. Вип. 1–2. С. 6–14.
4. Матковський О. Мінералогічна школа академіка Євгена Лазаренка та її внесок у розвиток сучасної мінералогії. *Мінерал. зб.* 2016. № 66. Вип. 2. С. 3–23.
5. Матковський О. Розвиток мінералогічних досліджень у Львівському національному університеті імені Івана Франка. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 194 с.
6. Матковський О., Скакун Л. Історія кафедри мінералогії Львівського університету, її найголовніші здобутки (до 150-річчя з часу заснування). *Мінерал. зб.* 2014. № 64. Вип. 1. С. 4–15.
7. Матковський О., Сливко Є. Шістдесят номерів Мінералогічного збірника. *Мінерал. зб.* 2010. № 60. Вип. 1. С. 3–9.
8. Матковський О., Сливко Є. Наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка та їхній внесок у розвиток сучасної мінералогії. *Мінерал. зб.* 2021. № 71. С. 3–27. <http://dx.doi.org/10.30970/min.71.01>.
9. Матковський О., Сливко Є. Вшанування пам'яті академіка Євгена Лазаренка. Львів : Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2022. 188 с.
10. Матковський О., Побережська І., Сливко Є. Сімдесят п'ять років «Мінералогічному збірнику». *Мінерал. зб.* 2022. № 72. С. 113–123.

11. Матковський О., Скакун Л., Білоніжка П. Діяльність кафедри мінералогії Львівського національного університету імені Івана Франка протягом 2005–2014 рр. *Мінерал. зб.* 2015. № 65. Вип. 1. С. 4–15.
12. Матковський О., Сливко Є., Побережська І. Дванадцять наукових читання імені академіка Євгена Лазаренка. *Мінерал. зб.* 2023. № 73. С. 58–66. <https://doi.org/10.30970/min.73.05>.
13. Матковський О., Білоніжка П., Скакун Л., Сливко Є. Кафедра мінералогії Львівського національного університету імені Івана Франка (1864–2004). Львів : Видав. центр Львів. нац. ун-ту, 2004. 135 с.
14. Матковський О. І., Павлунь М. М. Розвиток мінералого-генетичних досліджень у Львівському національному університеті імені Івана Франка в роки незалежності України. *Зап. Укр. мінерал. т-ва.* 2016. Т. 13. С. 75–82.
15. Павлунь М., Матковський О., Сливко Є., Білоніжка П., Іваніна А. Геологічному факультету Львівського національного університету імені Івана Франка 75 років. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 208 с.

REFERENCES

1. Bilonizhka, P., Matkovskiy, O., Pavlun, M., & Slyvko, Ye. (2010). Heolohichnyi fakultet Lvivskoho natsionalnogo universytetu imeni Ivana Franka (1945–2010) [Geology Department of the Ivan Franko National University of Lviv (1945–2010)]. Lviv: Publishing Centre of Ivan Franko National University of Lviv [in Ukrainian].
2. Buchynska, A., Tsilmak, O., Dvorzhak, T., & Burban, K. (2023). Mizhnarodna naukovopraktychna konferenciia do 170-richchia stvorennia Mineralohichnogo muzeiu u Lvivskomu universyteti [International scientific and practical conference for the 170th anniversary of the Mineralogical Museum at Lviv University]. *Mineralogical Collection*, 73, 72–76 [in Ukrainian].
3. Matkovskiy, O. (2011). Mineralohiia u Lvivskomu universyteti [Mineralogy in Lviv University]. *Mineralogical Collection*, 61 (1–2), 6–14 [in Ukrainian].
4. Matkovskiy, O. (2016). Mineralohichna shkola akademika Yevhena Lazarenka ta yii vnesok u rozvytok suchasnoi mineralohii [Academician Yevhen Lazarenko Mineralogical School and its contribution to the development of modern mineralogy]. *Mineralogical Collection*, 66 (2), 3–23 [in Ukrainian].
5. Matkovskiy, O. (2021). Rozvytok mineralohichnykh doslidzhen u Lvivskomu natsionalnomy universyteti imeni Ivana Franka [Development of mineralogical research at Ivan Franko National University of Lviv]. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv [in Ukrainian].
6. Matkovskiy, O., & Skakun, L. (2014). Istoriia kafedry mineralohii Lvivskoho universytetu, yii naiholovnishii zdobutky (do 150-richchia z chasu zasnuvannia) [History of the Mineralogy Department and its most significant achievements (to the 150th anniversary since the establishment)]. *Mineralogical Collection*, 64 (1), 4–15 [in Ukrainian].
7. Matkovskiy, O., & Slyvko, Ye. (2010). Shistdesiat nomeriv Mineralohichnogo zbirnyka [Sixty numbers of Mineralogical Review[®]]. *Mineralogical Collection*, 60 (1), 3–9 [in Ukrainian].
8. Matkovskiy, O., & Slyvko, Ye. (2021). Naukovi chytannia imeni akademika Yevhena Lazarenka ta yikhni vnesok u rozvytok suchasnoi mineralohii [Academician Yevhen Lazarenko Scientific Readings and their contribution to the development of modern mineralogy]. *Mineralogical Collection*, 71, 3–27. <http://dx.doi.org/10.30970/min.71.01> [in Ukrainian].

9. Matkovskiy, O., & Slyvko, Ye. (2022). Vshanuvannia pamiati akademika Yevhena Lazarenka [Honouring the memory of Academician Yevhen Lazarenko]. Lviv: Publishing Centre of Ivan Franko National University of Lviv [in Ukrainian].
10. Matkovskiy, O., Poberezhska, I., & Slyvko, Ye. (2022). Simdesiat piat rokov "Mineralohichnomu zbirnyku" [Seventy-five years of the "Mineralogical Collection"]. *Mineralogical Collection*, 72, 113–123 [in Ukrainian].
11. Matkovskiy, O., Skakun, L., & Bilonizhka, P. (2015). Diialnist kafedry mineralohii Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka protiahom 2005–2014 rr. [The activities of the Mineralogy Department of Ivan Franko National University of Lviv during 2005–2014]. *Mineralogical Collection*, 65 (1), 4–15 [in Ukrainian].
12. Matkovskiy, O., Slyvko, Ye., & Poberezhska, I. (2023). Dvanadtsiati naukovy chytannia imeni akademika Yevhena Lazarenka [Academician Yevhen Lazarenko's Twelfth Scientific Readings]. *Mineralogical Collection*, 73, 58–66 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.30970/min.73.05>.
13. Matkovskiy, O., Bilonizhka, P., Skakun, L., & Slyvko, Ye. (2004). Kafedra mineralohii Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka (1864–2004) [Department of Mineralogy of Ivan Franko National University of Lviv (1864–2004)]. Lviv: Publishing Centre of Ivan Franko National University of Lviv [in Ukrainian].
14. Matkovskiy, O. I., & Pavlun, M. M. (2016). Rozvytok mineraloho-henetychnykh doslidzhen u Lvivskomu natsionalnomu universyteti imeni Ivana Franka v roky nezalezhnosti Ukrainy [Development of mineralogical-genetic studies at the Ivan Franko National University of Lviv during the years of Ukraine independence]. *Proceedings of the Ukrainian Mineralogical Society*, 13, 75–82 [in Ukrainian].
15. Pavlun, M., Matkovskiy, O., Slyvko, Ye., Bilonizhka, P., & Ivanina, A. (2020). Heolohichnomy fakultetu Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka 75 rokov [Seventy-five years of the Faculty of Geology of the Ivan Franko National University of Lviv]. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 28.04.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

TO THE 160TH ANNIVERSARY OF THE DEPARTMENT OF MINERALOGY OF LVIV UNIVERSITY

Iryna Poberezhska, Yevheniia Slyvko, Kateryna Burban, Leonid Skakun

iryna.poberezhska@lnu.edu.ua

Ivan Franko National University of Lviv,

4, Hrushevskoho St., Lviv, Ukraine, 79005

In 2024, the Department of Mineralogy of Lviv University will celebrate its 160th anniversary. It was the only Department of Mineralogy in Ukraine with this name until 2020. The history of the Department is described in numerous scientific and reference works of different years. Currently, Professor Orest Matkovskiy Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry conducts active educational, methodological and scientific activities, provides lectures, laboratory and practical classes, educational field and industrial practices of bachelors and masters in the specialty 103 "Earth Sciences" (Mineralogy and crystallography).

The article characterizes the Department's multifaceted activities over the past ten years. In particular, during this period, 13 different educational and methodical publications were published, active student scientific work and career guidance activities were conducted among schoolchildren. Employees of the department closely cooperate with various domestic and foreign scientific and industrial institutions. Close cooperation between employers and participants of the educational process has been established.

The active scientific activity of the Department's employees is closely related to the Mineralogical School of Academician Yevhen Lazarenko, officially approved in Ukraine. Scientists of the Department are authors and co-authors of eight monographs and more than 230 articles in national and international periodicals of various ranks, were participants in many scientific meetings and conferences of various levels in Ukraine and abroad. Together with the Ukrainian Mineralogical Society, the Department organized the Academician Yevhen Lazarenko Twelfth Scientific Readings in December 2022.

The Department oversees the “Mineralogical Collection” – the first scientific periodical in the mineralogical direction in Ukraine, launched in 1947. In 2024, the “Mineralogical Collection” was included in the list of printed scientific periodicals of the “B” category.

Mineralogical Museum named after Academician Yevhen Lazarenko has become a popular tourist attraction for various categories of visitors. For the 170th anniversary of the foundation of the Museum in December 2023, an international scientific and practical conference “Geological Museums and Collections: Their Role in Science, Education and Tourism” was held. Six international scientific and practical conferences entitled “Geotourism: Practice and Experience” (since 2014), the last of which was held in April 2024, are dedicated to the results of geotourism research, in which employees of the Department and the Mineralogical Museum take an active part.

Key words: Department of Mineralogy, Professor Orest Matkovskiy Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry, Ivan Franko National University of Lviv, educational process, scientific activity, Mineralogical School of Academician Yevhen Lazarenko, Mineralogical Collection, Mineralogical Museum named after Academician Yevhen Lazarenko.

УДК 548.726:548.4:549.652.2:546.12

ГЕНЕТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ТОПАЗУ

Олександр Вовк, канд. геол. наук, доцент,
доцент кафедри фізичної географії
geologygeochemistry@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1509-0905>
Волинський національний університет імені Лесі Українки,
вул. Банкова, 9, Луцьк, Україна, 43025

Ігор Наумко, д-р геол. наук, чл.-кор. НАН України, професор,
завідувач відділу геохімії глибинних флюїдів
naumko@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3-а, Львів, Україна, 79060

Обґрунтовано потребу застосування на сучасному етапі кристаломорфології не лише для діагностики мінералів, але й головню для розшифровки умов їхнього утворення, адже, з огляду на трудомісткість та невелику кількість фахівців, гоніометричні дослідження часто ігноруються. Водночас до відсутньої переваги гоніометрії порівняно з іншими методами дослідження мінеральної речовини належить можливість ідентифікувати мінерал без руйнування його кристалів. Завдяки цьому гоніометричні дослідження повинні проводитися першочергово, однак методика досліджень кристаломорфології, яка в комплексі з іншими методами становить основу кристалогенезису, на цей час описана недостатньо. На основі власних досліджень і узагальнення літературних даних нами розроблено комплексну методику кристалогенетичних досліджень на прикладі топазу з камерних пегматитів Коростенського плутону. З одного боку, завдяки кристаломорфологічним дослідженням виявлено найважливіші прості форми топазу з різних просторово-генетичних мінерально-структурних зон камерних пегматитів. На основі статистичних даних проведено кластеризацію багатогранників топазу з камер (заноришів), до яких приурочена основна кількість топазу. Завдяки аналізу кристалічної структури виявлено прості форми, які будуть формуватися за будь-яких умов і не нестимуть генетичної інформації. За габітусом реальних кристалів виявлено симетрію середовища, у якому вони утворилися, а в окремих випадках з'ясовано напрямки потоків мінералоутворювальних флюїдів. Ці результати отримано зі збереженням цілості багатогранників топазу. З іншого боку, для повноти результатів потрібно розглянути анатомію кристалів, а також визначити умови їхнього утворення: температуру, рН, тиск. Для цього запропоновано застосування методів дослідження включень мінералоутворювального середовища.

Ключові слова: топаз, камерні пегматити, Коростенський плутон, кристалогенезис, гоніометрія, включення мінералоутворювального середовища.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.02>

Вступ. Раніше кристаломорфологію застосовували для діагностики мінералів, але з появою рентгено-структурного аналізу цей напрям втратив свою актуальність. Водночас кристаломорфологічні дослідження вирізняються можливістю отримання цінної генетичної інформації. Як метод, гоніометрія має вагому перевагу, яка полягає в збереженні кристала. Кристаломорфологічні методичні підходи добре узгоджуються з іншими методиками відтворення умов утворення мінералів, зокрема в контексті досліджень включень мінералоутворювального середовища.

Постановка проблеми. Рациональне використання кам'яного матеріалу, особливо збереження цінних та унікальних кристалів коштовного й виробного каміння та п'єзокварцової сировини, для отримання максимальних результатів потребує чіткого визначення генетичних можливостей кристаломорфології, її місця серед інших методик дослідження мінеральної речовини та порядку їхнього застосування. Генетичну роль кристалографії буде розглянуто на прикладі власних досліджень топазу з камерних пегматитів Коростенського плутону й узагальнення літературних даних. Уперше такі дані були апробовані на 31th International Geological Congress в Rio de Janeiro [16].

Аналіз досліджень. Камерні пегматити Коростенського плутону є єдиним в Україні джерелом ювелірного топазу, багатогранники якого відомі ще з XIX століття. Уперше результати ретельних досліджень кристаломорфології топазу були опубліковані в [5], згідно з якими на основі великої кількості гоніометрично досліджених багатогранників було описано морфологію топазу з камер (заноришів) і зон виугуговування та пізньої генерації з метасоматично змінених порід. Як відомо, зовнішня форма кристалів залежить від кристалічної структури й умов утворення. Результати аналізу кристалічної структури та її впливу на форму багатогранників топазу опублікували в [4], а впливу температури – у [1]. За результатами гоніометричних досліджень волинського топазу виконали статистичний аналіз [6]. Детальну порівняльну характеристику багатогранників топазу з різних мінерало-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону наведено в [8]. Певним підсумком узагальнення досліджень топазу (не тільки кристаломорфологічних) стала монографія [10]. Однак в усіх цих працях розглядали переважно ідеальні кристали топазу. Водночас реальні багатогранники можуть нести цінну генетичну інформацію, зокрема щодо напрямку потоків мінералоутворювальних флюїдів [3, 17]. Причина пониження симетрії реальних кристалів полягає в їхній анатомії [9].

Мета роботи – систематизувати власні й літературні дані з мінералогії українського топазу та показати на його прикладі особливості застосування кристаломорфологічних підходів у генетичному аспекті, розробити порядок методик, які будуть використовуватися в процесі дослідження.

Об'єкт дослідження – топаз із камерних пегматитів Коростенського плутону.

Предмет дослідження – генетична інтерпретація результатів кристаломорфологічних досліджень топазу.

Для досягнення мети потрібно було вирішити такі **завдання**:

- опрацювати опубліковані матеріали з кристаломорфології і генезису топазу камерних пегматитів;
- виділити генетичні результати кристаломорфологічних досліджень;
- розробити порядок дослідження мінеральної речовини на кристаломорфологічних засадах.

Методи дослідження – гоніометрія, аналіз кристалічної структури, статистичний аналіз, термобарогеохімічні–мінералофлюїдологічні методи.

Виклад основного матеріалу. Роль типоморфних особливостей мінералів важко переоцінити в пошуках і розвідці корисних копалин. Характерні особливості зовнішньої форми кристалів не є винятком. Кристаломорфологія того самого мінералу з різних родовищ чи навіть різних генерацій того самого родовища часто істотно відрізняється. На родовищах

колишнього СРСР виділяли три типи кристалів топазу: мурзинський із великим пінакоїдом $\{001\}$, адун-чілонський із відсутнім або вузьким пінакоїдом $\{001\}$ та ільменський, у якому призми $\{0kl\}$ та пінакоїд $\{001\}$ розвинені приблизно однаково [7]. У Бразилії можна знайти кристали топазу, де габітусними формами є дипіраміди $\{hkl\}$, найчастіше $\{111\}$ [13].

Зовнішній вигляд кристала є важливою типоморфною ознакою, яка дає можливість визначити його походження в родовищі й оцінити ступінь ерозії родовища [2]. Кристали топазу та берилу з різних мінерально-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону значно відрізняються (рис. 1, 2). Найбагатше огранювання кристалів топазу характерне для камер (заноришів), де ми виявили 17 простих форм, серед яких морфологічно важливими є призми $f \{011\}$, $u \{021\}$ та $d \{101\}$, дипіраміди $o \{111\}$ та $i \{112\}$, пінакоїд $\{001\}$. Однак морфологія кристалів з інших зон, таких як вилуговування, графічна, пегматоїдна і польовошпатована, є біднішою. Наприклад, на головках кристалів із цих зон присутні лише сім простих форм, з яких морфологічно важливою є призма $f \{011\}$. Ще менш багате огранювання трапляється в топазі з метасоматично змінених порід, де виявлено лише призму $f \{011\}$ [8].

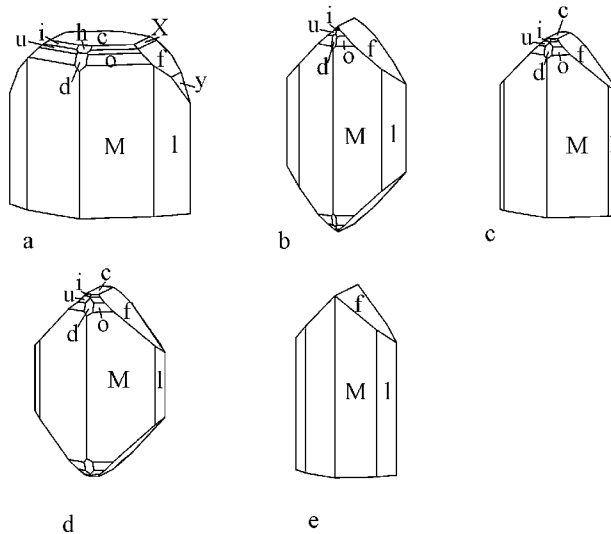


Рис. 1. Зображення типових кристалів топазу з різних мінерально-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону. Прості форми: М $\{110\}$, l $\{120\}$, f $\{011\}$, o $\{111\}$, u $\{112\}$, c $\{001\}$, y $\{021\}$, d $\{101\}$, X $\{023\}$, i $\{113\}$, h $\{103\}$:
a – камери (занориші), b – зони вилуговування, c – графічна і пегматоїдна зони,
d – польовошпатована зона, e – метасоматично змінені породи [8]

Вертикальний розріз типового пегматитового тіла камерного типу: 1 – граніти; 2 – граніти, збагачені фемічними мінералами; 3 – пегматит графічної структури; 4 – пегматит дрібно- і середньозернистої графічної структури; 5 – пегматит радіально-графічної структури; 6 – пегматит скелетно-графічної структури; 7 – пегматит пегматоїдної структури; 8 – польовошпатована зона; 9 – кварцова зона; 10 – камера (занориш); 11 – зона вилуговування; 12 – контакти чіткі; 13 – контакти нечіткі

Приуроченість типових кристалів топазу до відповідних мінерально-структурних зон пегматитового тіла камерного типу показано за даними рис. 1.

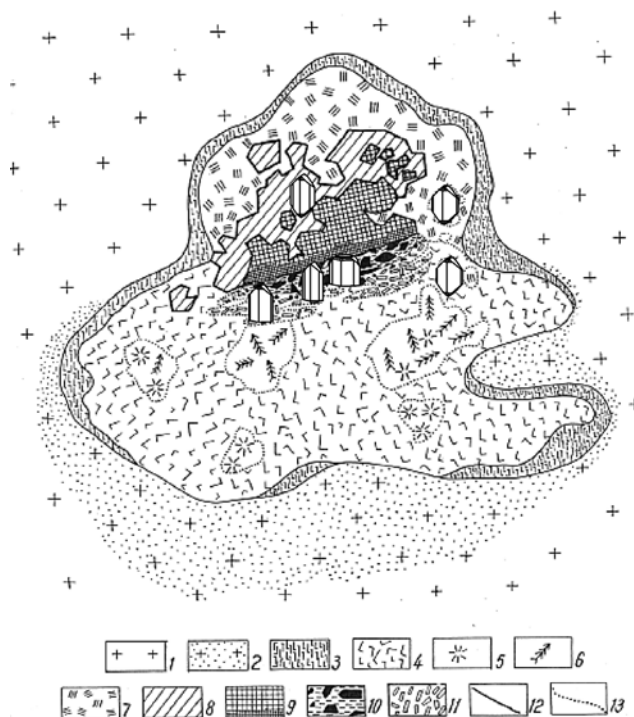


Рис. 2. Розподіл основних кристалографічних форм багатогранників топазу за мінерально-структурними зонами камерних пегматитів Коростенського плутону [8]

Положення про залежність морфології кристалів від їхньої ретикулярної густини спочатку висловив О. Браве [11]: «Можливість появи і розвитку кожної раціональної грани повинна бути принаймні частково пропорційна густині її сітки». І. Д. Х. Донней і Д. Харкер [12] розширили цей закон, враховуючи гвинтові осі та площини ковзного відбиття в структурі кристала. Такі елементи симетрії знижують ретикулярну густину у 2 і більше разів, тобто площини у 2 рази, а осі – згідно з їхнім порядком. Величина нескінченної площинної симетрії грани також впливає на морфологію кристалів: грані з вищою величиною симетрії часто мають габітусні форми [4]. Описані вище методики розглядають лише загальні геометричні одиниці для визначення морфологічної важливості граней кристала. П. Хартман і В. Пердок [14] вважають, що головну роль у зв'язку між морфологією і структурою кристала відіграють напрямки. Тож найважливіші зони в кристалах пов'язані з ланцюгами найсильнішого зв'язку між структурними одиницями, які позначають РВС (periodic bond chain). РВС-вектори мають бути неперервними у структурі мінералу, і чим ближчий ланцюг до прямої лінії, тим сильніше він впливає на кристаломорфологію.

Розглядаючи вищезазначені методики, можна дійти висновку, що для топазу морфологічно найважливішими простими формами є $f \{011\}$, $b \{010\}$, $M \{110\}$, $l \{120\}$, $d \{101\}$, $o \{111\}$, $c \{001\}$, $y \{021\}$ [5]. Ці грані мають проявлятися на кристалах незалежно від умов утворення мінералу, але їхня наявність сама по собі не є індикатором умов утворення. На багатогранниках волинських топазів із камер (заноришів) усі перераховані вище прості форми, за винятком $b \{010\}$, чітко виявлені [4].

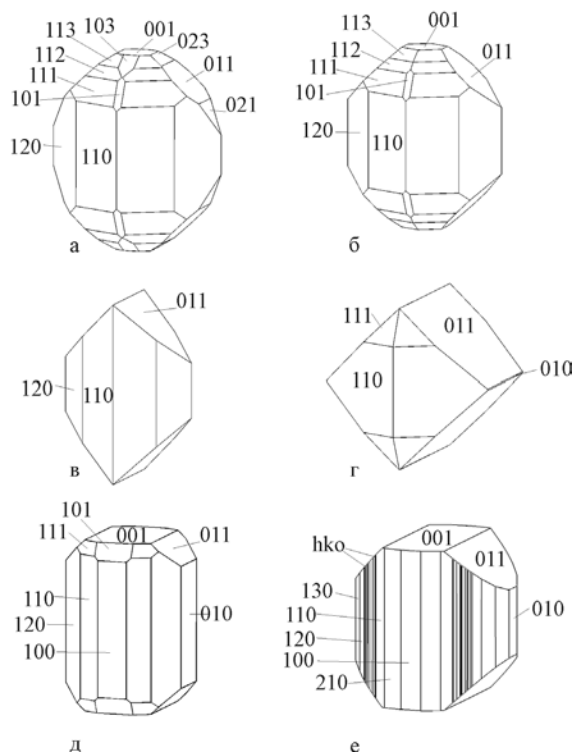


Рис. 3. Морфологія топазу відповідно до структурних підходів:

а – типовий кристал топазу з камер (заноришів), б – типовий кристал топазу із зон вилуговування, в – типовий кристал топазу пізньої генерації з метасоматично змінених порід, г – рівноважна форма топазу за ретикулярною густиною з урахуванням гвинтових осей і площин ковзного відбиття, д – форма кристалів топазу відповідно до РВС-векторів, е – форма кристала топазу відповідно до величини симетрії грані [4]

Кристаломорфологія багатогранників волинських топазів стає менш розмаїтою зі зниженням температури [1]. Основна маса топазу утворилася у другому кислотному періоді післяінверсійної стадії пегматитового процесу за температур, трохи вищих за 400 °С, шляхом вільної кристалізації у камерах (заноришах) і під час метасоматозу в зонах вилуговування. Значення рН розчинів у включеннях у топазі зазвичай коливається від 4,3 до 5,6. Кристали топазу із зон вилуговування не є новою генерацією, вони утворилися в той період, що й топаз у камерах (заноришах) [15]. У метасоматично змінених породах топаз пізньої генерації, тобто топаз III, кристалізувався з низькотемпературних розчинів з температурою 180–200 °С у третьому кислотному періоді разом із пізніми берtrandитом, фенакітом, альбітом тощо [5].

Основна маса топазу утворилася за тиску, що не часто перевищував 30–40 МПа. Топаз є надійним індикатором підвищеної кислотності флюїдного середовища мінералогенезу, тоді як берил – лужності.

Наведений і обговорений фактичний матеріал чітко вказує на те, що реальні багатогранники топазу дають змогу визначити симетрію мінералоутворювального середовища та напрямок потоків мінералоутворювальних флюїдів (рис. 4, 5).

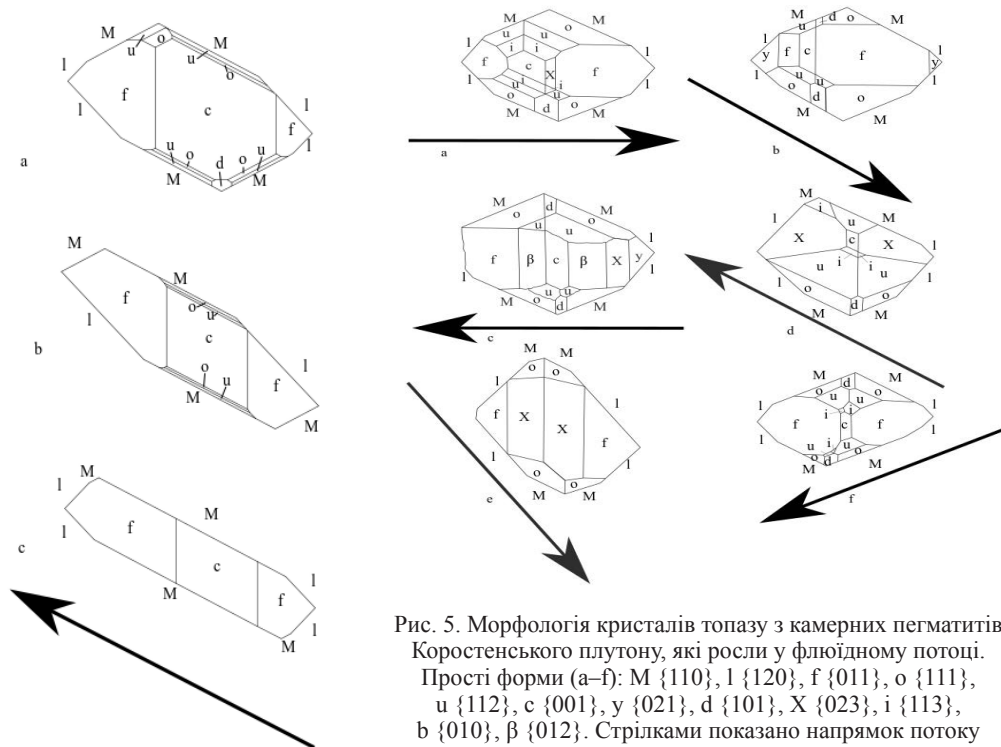


Рис. 5. Морфологія кристалів топазу з камерних пегматитів Коростенського плутону, які росли у флюїдному потоці. Прості форми (а–f): М {110}, l {120}, f {011}, o {111}, u {112}, c {001}, y {021}, d {101}, X {023}, i {113}, b {010}, β {012}. Стрілками показано напрямок потоку мінералоутворювального флюїду [3]

Рис. 4. Форма кристалів топазу, які росли в неоднакових умовах надходження живильної речовини: а – рівномірного; б, в – нерівномірного [10]

Висновки та перспективи подальшого дослідження

1. Дослідження кристаломорфології методом гоніометрії є джерелом цінної генетичної інформації, причому отриманої без руйнування кристала, що є вагомим підставою для застосування цієї методики першою серед методів вивчення мінеральної речовини.
2. Аналіз кристалічної структури дає змогу визначити прості форми, які будуть формуватися за будь-яких умов і не несуть генетичної інформації.
3. Зовнішня форма кристала може бути попереднім індикатором температури його утворення, для точнішого визначення температури потрібно застосовувати метод гомогенізації включень у кристалах.
4. Кристаломорфологія реальних багатогранників допомагає відтворити симетрію мінералоутворювального середовища та побудувати модель руху флюїдних потоків за умови правильно відібраного матеріалу.
5. Зовнішня симетрія кристалів залежить від їхньої анатомії, однак дослідження анатомії руйнують багатогранники, тому повинні проводитися після гоніометрії.
6. У підсумку визначено необхідний порядок проведення кристаломорфологічних досліджень у комплексі з іншими методами: відбір матеріалу з фіксацією орієнтування кристала – гоніометрія – опис скульптури граней – визначення теоретично морфологічно важливих простих форм за аналізом кристалічної структури – визначення практично морфологічно важливих простих форм (із різних родовищ, генерацій, зон, тощо) за допомогою статистичних методів – аналіз морфології реальних кристалів – дослідження анатомії – дослідження включень мінералоутворювального середовища – кореляція зовнішньої

форми багатогранників з умовами утворення – хімічний аналіз, хімічна мас-спектрометрія – кореляція результатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вовк О. П., Наулко І. М. Вплив температури на кристаломорфологію топазу і берилу з камерних пегматитів Коростенського плутону. *Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання* : матеріали восьмої науково-практ. конф., смт. Хорошів, 4 жовт. 2019 р. Київ, 2019. С. 35–41.
2. Вовк О. П., Наулко І. М. Кристалогенез топазу і берилу камерних пегматитів Волині – передумова оцінки важливого виду каменебарвної сировини. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування* : матеріали Четвертої міжнар. науково-практ. конф., м. Трускавець, 6–10 листоп. 2017 р. Київ, 2017. Т. 1. С. 96–101.
3. Вовк О. П., Наулко І. М., Павлишин В. І. Генетичне значення зміни співвідношення між гранними формами кристалів топазу з камерних пегматитів Коростенського плутону (Український щит). *Мінерал. журн.* 2022. Т. 44. № 3. С. 40–47. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.040>.
4. Вовк О., Наулко І. Зв'язок кристалічної структури з особливостями морфології топазу з камерних пегматитів Волині. *Мін. зб. ЛНУ.* 2013. Т. 63. № 1. С. 52–59.
5. Вовк О., Наулко І. Кристаломорфологія топазу з камерних (заноришевих) пегматитів Волині. *Мін. зб. ЛНУ.* 2005. Т. 55, № 1–2. С. 79–89.
6. Вовк О., Наулко І. Особливості кристаломорфології топазу із камерних пегматитів Волині (за даними статистичних методів). *Мінерал. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 26–33.
7. Лазаренко С. К. Курс мінералогії. Київ: Вища школа. 1970. 599 с.
8. Павлишин В. І., Вовк О. П., Наулко І. М. Характерні особливості кристаломорфології топазу з різних мінерально-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону Українського щита). *Мінерал. журн.* 2016. Т. 38. № 4. С. 3–13.
9. Павлишин В. І., Возняк Д. К. Симетрія-диссиметрія кристалів слюд і топазу камерних пегматитів Волині: кристалохімічні, морфологічні, генетичні аспекти. *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 1. С. 3–11. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.01.003>.
10. Павлишин Володимир, Довгий Станіслав, Пашенко Євген, Вовк Олександр. Топаз у надрах України та в історії народів. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017. 274 с.
11. Bravais A. Etudes cristallographiques. *Journ. De l'Ecole polytechnique.* 1851. Vol. 34. P. 166–170.
12. Donnay J. D. H., Harker D. A new law of crystal morphology extending the law of Bravais. *Am. Mineral.* 1937. Vol. 23. P. 446–467.
13. Goldschmidt V. Atlas der Krystallformen. Heidelberg : Winter, 1922. Vol. 8: Safflorit – Topas. 176 p.
14. Hartman P., Perdok W. On relation between crystal structure and crystal morphology. *Acta cryst.* 1955. Vol. 8. P. 49–52.
15. Kovalishin Z., Kalyuzhnyi V., Naumko I. Physico-chemical state of mineral-forming fluid during crystallization of the Volhyn chamber pegmatites, Ukraine. *Archiwum mineralogiczne. A journal of geochemistry, mineralogy and petrology.* 2000. Tom LIII, zeszyt 1–2. P. 133–136.
16. Naumko I. M., Vovk O. P. Crystallogenesis of topaz of chamber pegmatites of Korosten' plutone (Ukraine). Abstracts of 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro. 2000. http://cbrazil.dominal.com/g_0806021.pgf.
17. Vovk O. P., Naumko I. M., Pavlyshyn V. I., Yakovlyeva V. V. Distortion of the form of topaz polyhedra from chamber pegmatites of the Korosten pluton (Ukrainian shield) and its genetic significance / O. P. Vovk et al. *Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття* : матеріали конференції, Київ, 28 September 2022. P. 78–80.

REFERENCES

1. Vovk, O.P., & Naumko, I.M. (2019). Vplyv temperatury na krystalomorfologiiu topazu i berylu z kamernykh pehmatyiv Korostenskoho plutonu [Effect of temperature on the crystal morphology of topaz and beryl from chamber pegmatites of the Korosten pluton]. *Mineral and raw material wealth of Ukraine: ways of optimal use: Materials of the eighth scientific practice conf.*, 35–41 [in Ukrainian].
2. Vovk, O.P., & Naumko, I.M. (2017). Krystalohenez topazu i berylu kamernykh pehmatyiv Volyni – peredumova otsinky vazhlyvoho vydu kamenebarvnoi syrovyny [Crystallogenesis of topaz and beryl of chambered pegmatites of Volyn – preconditions for assessment of an important type of stone-colored raw material]. *Subsurface use in Ukraine. Investment prospects: Proceedings of the Fourth International scientific and practice conf.*, 96–101 [in Ukrainian].
3. Vovk, O.P., Naumko, I.M., & Pavlyshyn, V. I. (2022). Henetychne znachennia zminy spivvidnoshennia mizh hrannyi formamy krystaliv topazu z kamernykh pehmatyiv Korostenskoho plutonu (Ukrainskyi shchyt) [Genetic significance of variations in the faces of the simple forms of topaz crystal from chamber pegmatites of the Korosten pluton (Ukrainian shield)]. *Mineral. Journal*, 44, 3, 40–47 [in Ukrainian].
4. Vovk, O., & Naumko, I. (2013a). Zviazok krystalichnoi struktury z osoblyvostiami morfolohii topazu z kamernykh pehmatyiv Volyni [Relationship of crystal structure with morphology features of topaz from chamber pegmatites of Volyn]. *Min. coll. LNU*, 63, 1, 52–59 [in Ukrainian].
5. Vovk, O., & Naumko, I. (2005). Krystalomorfologiiia topazu z kamernykh (zanoryshevykh) pehmatyiv Volyni [Crystallomorphology of topaz from the chamber (zanorysh) pegmatites of Volyn]. *Min. coll. LNU*, 55, 1–2, 79–89 [in Ukrainian].
6. Vovk, O., & Naumko, I. (2014). Osoblyvosti krystalomorfologii topazu iz kamernykh pehmatyiv Volyni (za danymi statystychnykh metodiv) [Peculiarities of crystal morphology of topaz from chamber pegmatites of Volyn according to data of statistical methods]. *Mineral. Journal*, 36, 1, 26–33 [in Ukrainian].
7. Lazarenko, E.K. (1970). Kurs mineralohii [Course of mineralogy]. Kyiv: Vyscha shkola [in Ukrainian].
8. Pavlyshyn, V.I., Vovk O.P., & Naumko I.M. (2016). Kharakterni osoblyvosti krystalomorfologii topazu z riznykh mineralno-strukturnykh zon kamernykh pehmatyiv Korostenskoho plutonu Ukrainskoho shchya [Typomorphic features of topaz crystal morphology from various mineral-structural zones of chamber pegmatites of Korosten pluton of Ukrainian shield]. *Mineral. Journal*, 38, 4, 3–13 [in Ukrainian].
9. Pavlyshyn, V.I., & Vozniak, D.K. (2020). Symetriia-dyssymetriia krystaliv sluid i topazu kamernykh pehmatyiv Volyni: krystalokhimichni, morfolohichni, henetychni aspekty [Symmetry-dissymmetry of mica and topaz crystals of chamber pegmatites of Volyn: crystallochemical, morphological, and genetic aspects]. *Mineral. Journal*, 42, 1, 3–11 [in Ukrainian].
10. Pavlyshyn, V., Dovgiy, S., Pashchenko, E., & Vovk, O. (2017). Topaz u nadrah Ukrainy ta v istorii narodiv [Topaz in the subsurface of Ukraine and in the history of nations]. Kyiv: Instytut obdarovanoi dytyny NAPN Ukrainy [in Ukrainian].
11. Bravais, A. (1851). Etudes cristallographiques [Crystallographic Studies]. *Journ. De l'Ecole polytechnique*, 34, 166–170 [in French].
12. Donnay, J., & Harker, D. (1937). A new law of crystal morphology extending the law of Bravais. *Am. Mineral.*, 23, 446–467 [in English].
13. Goldschmidt, V. (1922). Atlas der Krystallformen [Atlas of Crystal Forms]. Heidelberg: Winter, 8 [in German].
14. Hartman, P., & Perdok, W. (1955). On relation between crystal structure and crystal morphology. *Acta cryst.*, 8, 49–52 [in English].
15. Kovalishin, Z., Kalyuzhnyi, V., & Naumko, I. (2000). Physico-chemical state of mineral-forming fluid during crystallization of the Volhyn chamber pegmatites, Ukraine. *Archivum mineralogiczne. A journal of geochemistry, mineralogy and petrology*, LIII, 1–2, 133–136 [in English].

16. Naumko, I.M., & Vovk, O.P. (2000). Crystallogenesis of topaz of chamber pegmatites of Korosten' plutone (Ukraine). *Abstracts of 31th International Geological Congress* [in English].
17. Vovk, O.P., Naumko, I.M., Pavlyshyn, V.I., & Yakovlyeva, V.V. (2022). Distortion of the form of topaz polyhedra from chamber pegmatites of the Korosten pluton (Ukrainian shield) and its genetic significance. *From Mineralogy and Geognosy to Geochemistry, Petrology, Geology and Geophysics: fundamental and applied trends of the XXI century: Conference materials*, 78–80 [in English].

Стаття надійшла до редакції 27.05.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

GENETIC SIGNIFICANCE OF CRYSTMORPHOLOGICAL STUDIES ON THE EXAMPLE OF TOPAZ

Oleksandr Vovk¹, Ihor Naumko²

geologygeochemistry@gmail.com, naumko@ukr.net

¹*Lesya Ukrainka Volyn National University,
9, Bankova St., Lutsk, Ukraine, 43025,*

²*Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals
of the NAS of Ukraine,
3-a, Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine*

The need for the use of crystallography at the modern stage is substantiated not only for the diagnosis of minerals, but also for deciphering the conditions of their formation, because of its time-consuming nature and the small number of specialists, goniometric studies are often ignored. At the same time, a clear advantage of goniometry, compared to other methods of mineral research, is the ability to identify a mineral without destroying its crystals. Due to this, goniometric studies should be carried out as a priority; however, the method of crystal morphology studies, which in combination with other methods forms the basis of crystallogenesis, is currently insufficiently described. Based on our own research and a generalization of literature data, we have developed a complex method of crystal genetic studies using the example of topaz from chamber pegmatites of the Korosten pluton. On the one hand, thanks to crystal-morphological studies, the most important simple forms of topaz from different spatial-genetic mineral-structural zones of chambered pegmatites were revealed. On the basis of statistical data, the clustering of topaz polyhedra from the chambers to which the main amount of topaz is confined was carried out. Thanks to the analysis of the crystal structure, simple forms were found that will form under any conditions and will not carry genetic information. According to the habit of real crystals, the symmetry of the environment in which they were formed was revealed, and in some cases, the directions of the flows of mineral-forming fluids were clarified. These results were obtained while preserving the integrity of topaz polyhedra. On the other hand, for the completeness of the results, it is necessary to consider the anatomy of the crystals as well as the conditions of their formation: temperature, pH, pressure. For this purpose, the application of methods of research on the inclusions of the mineral-forming environment is proposed.

Key words: topaz, chamber pegmatites, Korosten pluton, crystallogenesis, goniometry, inclusion of a mineral-forming environment.

УДК 553.494 (477.42)

ІЛЬМЕНІТОНОСНІСТЬ ПРОДУКТИВНИХ ВІДКЛАДІВ ТА ЯКІСНІ ПАРАМЕТРИ ІЛЬМЕНІТУ ТРОСТЯНИЦЬКОГО РОДОВИЩА ТИТАНОВИХ РУД

Мирон Ковальчук, д-р геол. наук, професор,
завідувач відділу літології
kms1964@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0001-9265-9707>
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56358899000>

Любов Фігура, канд. геол. наук, старший дослідник,
старший науковий співробітник відділу літології
liuba_figura@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0001-8009-2854>
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58486319400>
Інститут геологічних наук НАН України,
вул. Олеся Гончара, 55б, Київ, Україна, 01601

Подано короткі відомості про геологічну будову Тростяницького родовища ільменіту, яке розташоване в північній частині Володарськ-Волинського масиву порід основного складу Коростенського плутону. У межах родовища поклади ільменіту локалізовані в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту та в продуктах її розмиву й перевідкладення – нерозчленованих середньоюрсько-нижньокрейдових континентальних флювіальних (делювіально-алювіальних) відкладах, які представлені пісками каоліністими та перевідкладеними каолінами. Делювіально-алювіальні відклади з розмивом залягають на корі вивітрювання порід фундаменту й виповнюють поховане долиноподібне зниження міжріччя річок Ірша і Тростяниця. Кора вивітрювання була для делювіально-алювіальних відкладів плотиком і проміжним колектором розсипних мінералів, зокрема й ільменіту. На підставі координат свердловин, їх опису та результатів опробування створено картографічні побудови, на основі яких досліджено латеральний розподіл товщини кори вивітрювання й делювіально-алювіальних відкладів середньої юри – нижньої крейди та латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту в цих осадових утвореннях. Подано відомості щодо морфології, гранулометрії та хімічного складу ільменіту з елювію і делювіально-алювіальних відкладів. На основі результатів хімічного аналізу ільменіту досліджено латеральний розподіл ільменіту з різним вмістом оксидів титану, окисного й закисного заліза, фосфору, ванадію, хрому в корі вивітрювання, піщаних і глинистих літофаціях середньої юри – нижньої крейди. Досліджено латеральний розподіл ільменіту з різним відношенням FeO / Fe_2O_3 в елювії, перевідкладених каолінах і пісках середньої юри – нижньої крейди. Досліджено напрям і силу кореляційних зв'язків між зазначеними оксидами в ільменіті з кори вивітрювання, піщаних і глинистих літофацій середньої юри – нижньої крейди. Досліджено вертикальний розподіл ільменіту з різним вмістом TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO у вертикальному перетині свердловин.

Отримані результати дають змогу конкретизувати ділянки максимальної і мінімальної товщини продуктивних утворень; ділянки підвищеного і зниженого середнього вмісту ільменіту в межах родовища; просторовий розподіл ільменіту з певними якісними параметрами в елювії та делювіально-алювіальних відкладах середньої юри – нижньої крейди; з'ясувати кореляційні зв'язки між вмістом різних оксидів в ільменіті.

Ключові слова: Коростенський плутон, Тростяницьке родовище, кора вивітрювання, делювіально-алювіальні відклади середньої юри – нижньої крейди, ільменіт, латеральний розподіл вмісту ільменіту, вміст оксидів в ільменіті, просторовий розподіл ільменіту з різним вмістом оксидів.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.03>

Вступ. Україна володіє потужною мінерально-сировинною базою і входить до провідних країн світу за цим показником. Серед мінеральних ресурсів особливе місце посідають критичні корисні копалини, які широко використовуються в сучасних високотехнологічних галузях, зокрема для енергетичних технологій, в аерокосмічній і оборонній промисловості; для акумуляторних технологій та ін. [2]. До переліку критичних корисних копалин входить титан, основним мінеральним носієм якого є ільменіт. Титан використовують у легких високоміцних сплавах для авіації, аерокосмічних апаратів, у галузі оборони, суднобудування, виготовлення медичних приладів, хімічній промисловості тощо. Це суто розсіпні родовища. На їх базі діють Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат і Вільногірський гірничо-металургійний комбінат; видобуток руд титану також здійснюють ТОВ «Валки-Ільменіт», ТОВ «Демурицький ГЗК», ТОВ «Велта»; ТОВ «Межиріченський ГЗК»; ТОВ «Кольорові метали» та ін. [2]. Нині спеціальні дозволи на видобування комплексних циркон-рутил-ільменіт-апатитових розсіпів надано на ряд родовищ, серед яких і Тростяницьке, яке розташоване неподалік від Межирічного родовища.

Фактичний матеріал і методи дослідження. Методико-методологічною основою досліджень були напрацювання авторів зі структурно-літологічного моделювання розсіпних родовищ, які апробовані на золотовмісних, ільменітових, циркон-ільменітових і монацитових розсіпах Українського щита й оприлюднені на наукових конференціях різного рівня, у наукових статтях і колективних монографіях [1, 3–5]. Фактичним матеріалом для досліджень Тростяницького родовища були виробничі звіти (С. К. Швайберов «Пошуково-оцінювальні роботи на Ставищанському, Тростяницькому і Очеретянському розсіпах ільменіту»: Звіт Житомирської геолого-розвідувальної експедиції про результати пошуково-оцінювальних робіт, проведених у 1987–1991 рр. в Житомирській області УРСР, Київ, 1991; С. К. Швайберов «Попередня розвідка Тростяницького розсіпного родовища ільменіту в Житомирській області України»: Звіт Житомирської КГРП про результати робіт на титан, проведених у 1991–1999 рр. Київ, 1999; Л. М. Базалійська Звіт «Розвідка Тростяницького розсіпного родовища ільменіту», Київ, 2008).

Для дослідження рельєфу покрівлі, підшви рудоносних відкладів, їхньої товщини, розподілу вмісту та розміру ільменіту за латераллю і у вертикальному перетині свердловин рудоносних відкладів, а також вмісту оксидів титану, заліза, ванадію, фосфору і хрому в ільменіті було складено цільову базу даних, на основі якої створено відповідні картографічні побудови. Картографічні побудови здійснено з використанням ГІС-технологій у програмних забезпеченнях *Golden Software Strater*, *Golden Software Surfer*. Для побудови карт латерального розподілу вмісту ільменіту, розміру його зерен, вмісту в ньому оксидів титану, заліза, фосфору, ванадію і хрому використано їх середні вмісти. У колонках вертикального розподілу цих компонентів за свердловинами використано їх вмісти. Кореляційні зв'язки між мінералами та певними параметрами рудовмісних відкладів досліджено в *Microsoft Excel*.

Мета роботи – дослідження структурних і речовинних параметрів рудовмісних відкладів та хімічного складу і гранулометрії ільменіту Тростяницького родовища як основи для оцінки рудоносності та якості мінеральної сировини.

Аналіз попередніх досліджень. Рудопрояви ільменіту в корах вивітрювання габроїдів та осадових відкладах, що їх перекривають, на території Тростяницького родовища були виявлені протягом 1964–1970 рр. під час геолого-знімальних робіт масштабу 1 : 50000. Згодом пошуково-рекогносцирувальними роботами 1974–1976 рр. виявлено поховані долини, які виповнені ільменітовмісними осадовими утвореннями. За результатами буріння 99 свердловин у 1975–1978 рр. виокремлено два ільменітові поклади – Північний і Південний. Згодом Південний поклад був відбракований, а Північний перейменували

в Тростяницькій. У 1977 році за результатами лабораторних досліджень зроблено висновок, що за певних умов збагачення можна отримати оксид титану високої якості. Упродовж 1987–1991 рр. у межах Тростяницької ділянки проведено пошуково-оціночні роботи зі згущенням сітки свердловин, які розкрили кору вивітрювання. За результатами буріння 213 свердловин здійснено підрахунок запасів категорії C_2 , оцінено перспективні ресурси категорії P_1 і підтверджено промислову цінність родовища. Згодом Сімферопольським інститутом мінеральних ресурсів обґрунтовано потребу в дослідженні всіх запасів родовища, розрахованих за бортового вмісту ільменіту в пробі алювію – 18 кг/м^3 і в пробі кори вивітрювання – 25 кг/м^3 . У 1987–1991 рр. геологами Житомирської геолого-розвідувальної експедиції під керівництвом С. К. Швайберова проведено пошуково-оціночні роботи в межах Тростяницького розсипу ільменіту. У подальшому, у 1991–1999 рр. під керівництвом С. К. Швайберова було здійснено попередню розвідку Тростяницького родовища. У 2008 р. під керівництвом Л. М. Базалійської проведено детальну геологічну розвідку Тростяницького родовища.

Результати дослідження. Тростяницьке родовище ільменіту розміщене в Житомирському районі Житомирської області (рис. 1). У геолого-структурному відношенні родовище приурочене до північної частини Володарськ-Волинського масиву основних порід Коростенського плутону. На північному заході Тростяницьке родовище безпосередньо примикає до Межирічного родовища.



Рис. 1. Карта розміщення Тростяницького родовища на космознімку з порталу Google Earth Pro

У геологічній будові Тростяницького родовища беруть участь породи основного складу протерозою, кора вивітрювання кристалічних порід фундаменту, нерозчленовані середньоюрсько-нижньокрейдові континентальні флювіальні відклади, які утворилися внаслідок розмиву й перевідкладення елювію та виповнюють ранньоярську палеодолину північно-східного напрямку шириною 2,0 км, а також пухкі осадові утворення

кайнозойського віку. Інтрузивні породи представлені коростенським комплексом порід основного, кислого й гібридного складу. Породи основного складу містять залізо-титанову мінералізацію та є корінними джерелами ільменіту для кір вивітрювання і розсипів.

Корисною копалиною Тростяницького родовища є ільменіт, поклади якого локалізовані в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту та в продуктах її розмиву й перевідкладення в ерозійно-тектонічній палеодолині – середньоюрсько–нижньокрейдових континентальних відкладах, представлених головно алювіальними утвореннями.

На кристалічних породах повсюдно залягає мезозой-кайнозойська кора вивітрювання площевого морфологічного типу. Абсолютні відмітки підшови, покрівлі, товщини кори вивітрювання, середньоюрсько-нижньокрейдових континентальних флювіальних відкладів і вміст ільменіту в цих утвореннях за результатами попередньої та детальної розвідки родовища відрізняються, тому ми використовуваємо дані, отримані за результатами аналізу й інтерпретації даних детальної розвідки родовища.

Абсолютні відмітки покрівлі кори вивітрювання становлять 158,97–188,55 м; підшови – 147,45–186,89 м і обумовлені структурно-тектонічною поверхнею кристалічного фундаменту. Товщина кори вивітрювання становить 0,5–27,5 м; середнє значення – 6,62 м (рис. 2, а). У вертикальному перетині кори вивітрювання виокремлено три зони (знизу вгору): дезінтеграції і вилуговування, каолініт-гідрослюди́ста, каолінітова. Переходи між зонами поступові й умовно діагностуються за кількісним співвідношенням каолініту, монтморилоніту, гідрослюди і розкладу польового шпату та темноколірних мінералів.

Основним рудним мінералом кори вивітрювання є ільменіт. Ільменітоносна кора вивітрювання становить єдиний великий поклад складної конфігурації. Вміст ільменіту в корі вивітрювання від перших кілограмів до 423,9 кг/м³. Середній вміст ільменіту за свердловинами становить 12,2–239,4 кг/м³ (середнє значення – 35,54 кг/м³). Латеральний розподіл ільменіту і його середній вміст у корі вивітрювання більш-менш рівномірний із локальними ділянками його підвищеного вмісту й визначається розподілом і вмістом у материнських породах фундаменту, завдяки яким утворилася кора вивітрювання (рис. 2, б). Вертикальний розподіл ільменіту в профілі кори вивітрювання здебільшого рівномірний, подекуди з декількома чітко вираженими рівнями збагачення.

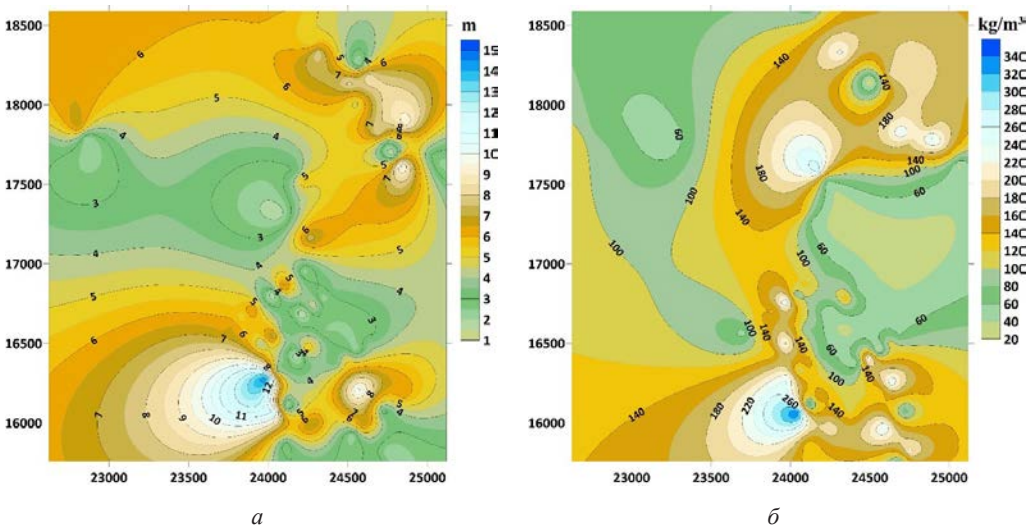


Рис. 2. Ізопахіти товщини (а) кори вивітрювання кристалічних порід фундаменту та латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту в елювії (б)

Мінералогічним аналізом у корі вивітрювання, крім ільменіту, діагностовано ($\text{кг}/\text{м}^3$): лейкоксен – до 3,49; апатит – до 4,8; циркон – до 0,44; пірит – до 7,39; сидерит – до 70,63; лімоніт – до 0,41. У знакових кількостях присутні рутил, гранат, ставроліт, турмалін, магнетит та ін.

Розмір зерен ільменіту переважно 0,1–1,0 мм (середнє значення 0,52 мм); переважає фракція 0,1–0,5 мм (44,26 %). В елювії ільменіт перебуває у вигляді крапленості і гніздо-подібних скупчень, а також у зростках з іншими мінералами материнських порід.

Із розмивом у пониженнях палеорельєфу кори вивітрювання залягають нерозчленовані середньоюрсько-нижньокрейдів флювіальні континентальні відклади, які представлені перевідкладеними каолінами й пісками каолінистими, що утворилися за делювіально-алувіальних фаціальних умов.

Піски кварцові, каолінисті, сірі, темно-сірі, від дрібно-, середньо- до великозернистих, часто з галькою кварцу, стяжіннями кременів і вуглистою речовиною. Переважають відміни пісків із розміром фракції 0,25–0,5 мм і 0,5–1,0 мм, сумарний вміст яких становить 58 %. Вміст глинистої складової в пісках – до 30 %. Перевідкладені каоліни світло-сірого, жовтувато-сірого забарвлення, піщанисті з гравієм і галькою кварцу та стяжіннями кременю залягають переважно в бортових частинах палеодолини та верхній частині розрізу середньоюрсько-нижньокрейдів відкладів. У перевідкладених каолінах вміст каолініту до 60 %, вміст піщаної фракції – до 23,0 %. У будові середньоюрсько-нижньокрейдів флювіальних континентальних відкладів переважають піски.

Рельєф підшови й покрівлі середньоюрсько-нижньокрейдів відкладів нерівний, із підвищеннями й пониженнями. Абсолютні відмітки покрівлі – 162,34–190,29 м; підшови – 158,97–188,55 м. Товщина відкладів – 0,5–20,0 м; середнє значення 3,81 м (рис. 3, а).

Зерна ільменіту мають кутасто-неправильну форму або представлені уламками товсто-таблитчастих зерен. Частина ільменіту лейкоксенізована. Лейкоксен присутній у вигляді облімків на зернах ільменіту та у його тріщинах.

Мінералогічним аналізом, крім ільменіту в середньоюрсько-нижньокрейдів відкладах присутні ($\text{кг}/\text{м}^3$): лейкоксен – до 6,83; апатит – до 0,01; циркон – до 0,44; рутил – до 0,06; магнетит – до 0,02. У знакових кількостях присутні монацит, дистен та ін.

Вміст ільменіту в континентальних флювіальних утвореннях – 6,10–523,2 $\text{кг}/\text{м}^3$; середнє значення – 45,86 $\text{кг}/\text{м}^3$ (рис. 3, б). Потрібно зазначити, що перевідкладеним каолінам притаманні більш високі вмісти ільменіту, ніж піщаним відкладам. Розмір зерен ільменіту становить здебільшого 0,1–1,0 мм; переважає фракція розміром 0,1–0,3 мм; середній розмір ільменіту – 0,44 мм.

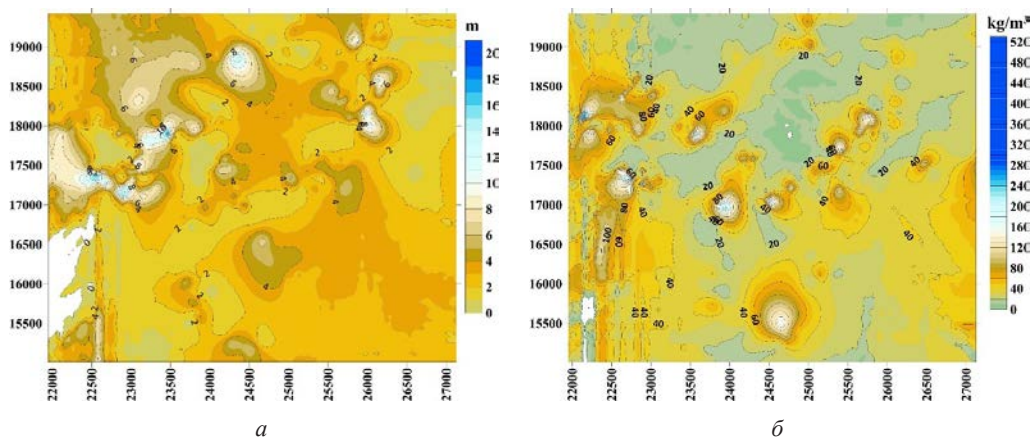


Рис. 3. Ізопахіти товщини (а) середньоюрсько-нижньокрейдів алювіальних відкладів і латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту в елювії (б)

Вміст (%) в ільменіті з елювію: TiO_2 – 49,35–57,0; Fe_2O_3 – 17,78–25,71; FeO – 19,44–29,37; P_2O_5 – 0,01–0,04; V_2O_5 – 0,22–0,33; Cr_2O_3 – 0,01–0,05; Sc_2O_3 – 0,012. Відношення $\text{FeO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$ – 0,78–1,65.

На підставі координат свердловин і хімічного аналізу ільменіту нами досліджено латеральний розподіл ільменіту з різним вмістом оксидів (TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , P_2O_5 , V_2O_5 , Cr_2O_3) у корі вивітрювання, пісках і перевідкладених каолінах середньої юри – нижньої крейди (рис. 4–6). Найважливішим показником якості ільменіту є вміст у ньому TiO_2 , а також корисних (головно V_2O_5 , Sc_2O_3) і шкідливих (головно P_2O_5) оксидів.

За допомогою кореляційного аналізу досліджено напрям і силу кореляційних зв'язків між оксидами окисного й закисного заліза, титану, фосфору, ванадію, хрому. З'ясовано, що в ільменіті з елювію прямий сильний кореляційний зв'язок існує між Fe_2O_3 і P_2O_5 (+0,76); прямий помірний – між Fe_2O_3 і TiO_2 (+0,37), Fe_2O_3 і V_2O_5 (+0,38), P_2O_5 і V_2O_5 (+0,38), FeO і Cr_2O_3 (+0,43), V_2O_5 і Cr_2O_3 (+0,48); обернений сильний – між Fe_2O_3 і FeO (–0,89), FeO і TiO_2 (–0,72); обернений середній – між TiO_2 і V_2O_5 (–0,53), FeO і P_2O_5 (–0,54); обернений помірний – між P_2O_5 і Cr_2O_3 (–0,43), TiO_2 і Cr_2O_3 (–0,43); обернений слабкий – між Fe_2O_3 і Cr_2O_3 (–0,26); кореляційні зв'язки відсутні між FeO і V_2O_5 та TiO_2 і P_2O_5 . Латеральний розподіл ільменіту з різним вмістом оксидів у межах певної ділянки кори вивітрювання представлено на рисунку 4.

Вміст (%) в ільменіті з піщаних відкладів середньої юри – нижньої крейди: TiO_2 – 50,51–54,68; Fe_2O_3 – 21,06–49,09; FeO – 9,93–25,24; P_2O_5 – 0,02–0,06; V_2O_5 – 0,23–0,35; Cr_2O_3 – 0,02–0,03; Sc_2O_3 – до 0,016. Відношення $\text{FeO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$ – 0,38–2,97. З'ясовано, що в ільменіті з алювіальних пісків прямий середній кореляційний зв'язок існує між P_2O_5 і V_2O_5 (+0,62); прямий помірний – між TiO_2 і P_2O_5 (+0,46), FeO і Cr_2O_3 (+0,43), TiO_2 і V_2O_5 (+0,38); обернений середній – між TiO_2 і Cr_2O_3 (–0,54); обернений помірний – між Fe_2O_3 і TiO_2 (–0,37); обернений слабкий – між Fe_2O_3 і FeO (–0,29), Fe_2O_3 і Cr_2O_3 (–0,28), FeO і TiO_2 (–0,23), FeO і P_2O_5 (–0,23), P_2O_5 і Cr_2O_3 (–0,23); обернений дуже слабкий – між Fe_2O_3 і V_2O_5 (–0,19), Fe_2O_3 і P_2O_5 (–0,17), FeO і V_2O_5 (–0,15); кореляційний зв'язок відсутній між V_2O_5 і Cr_2O_3 . Латеральний розподіл ільменіту з різним вмістом оксидів у межах певної ділянки кори вивітрювання представлено на рисунку 5.

Вміст (%) в ільменіті з перевідкладених каолінів середньої юри – нижньої крейди: TiO_2 – 49,75–55,62; Fe_2O_3 – 15,12–31,72; FeO – 13,65–28,54; P_2O_5 – 0,01–0,07; V_2O_5 – 0,23–0,37; Cr_2O_3 – 0,02–0,08; Sc_2O_3 – до 0,029. Відношення $\text{FeO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$ – 0,45–1,74.

З'ясовано, що в ільменіті з перевідкладених флювіальних каолінів прямий сильний кореляційний зв'язок існує між TiO_2 і P_2O_5 (+0,78); прямий середній – між V_2O_5 і Cr_2O_3 (+0,69), FeO і V_2O_5 (+0,57); прямий помірний – між FeO і Cr_2O_3 (+0,49); прямий слабкий – між Fe_2O_3 і P_2O_5 (+0,21); обернений сильний – між Fe_2O_3 і FeO (–0,73); обернений середній – між P_2O_5 і V_2O_5 (–0,69), FeO і P_2O_5 (–0,61); обернений помірний – між TiO_2 і V_2O_5 (–0,46), P_2O_5 і Cr_2O_3 (–0,48); обернений слабкий – між Fe_2O_3 і V_2O_5 (–0,28), Fe_2O_3 і Cr_2O_3 (–0,26), FeO і TiO_2 (–0,26); обернений дуже слабкий – між Fe_2O_3 і TiO_2 (–0,19), TiO_2 і Cr_2O_3 (–0,19). Латеральний розподіл ільменіту з різним вмістом оксидів у межах певної ділянки кори вивітрювання представлено на рисунку 6.

Зважаючи на те, що однією з якісних характеристик ільменіту є відношення у його складі $\text{FeO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$, нами проведено відповідні розрахунки й побудовано карти латерального розподілу ільменіту з різним відношенням $\text{FeO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$ в елювії та утвореннях середньої юри – нижньої крейди (перевідкладених каолінах і пісках).

Як видно з картографічних побудов, ділянки поширення ільменіту зі значним чи незначним відношенням $\text{FeO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$ в різновікових і різногенетичних утвореннях просторово не збігаються (рис. 7). Часткові просторові збіги латерального поширення ільменіту з різним відношенням $\text{FeO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$ у перевідкладених каолінах і пісках із латеральним поширенням ільменіту з різним вмістом FeO у цих утвореннях (див. рис. 7, б, в; 5, в; 6, в).

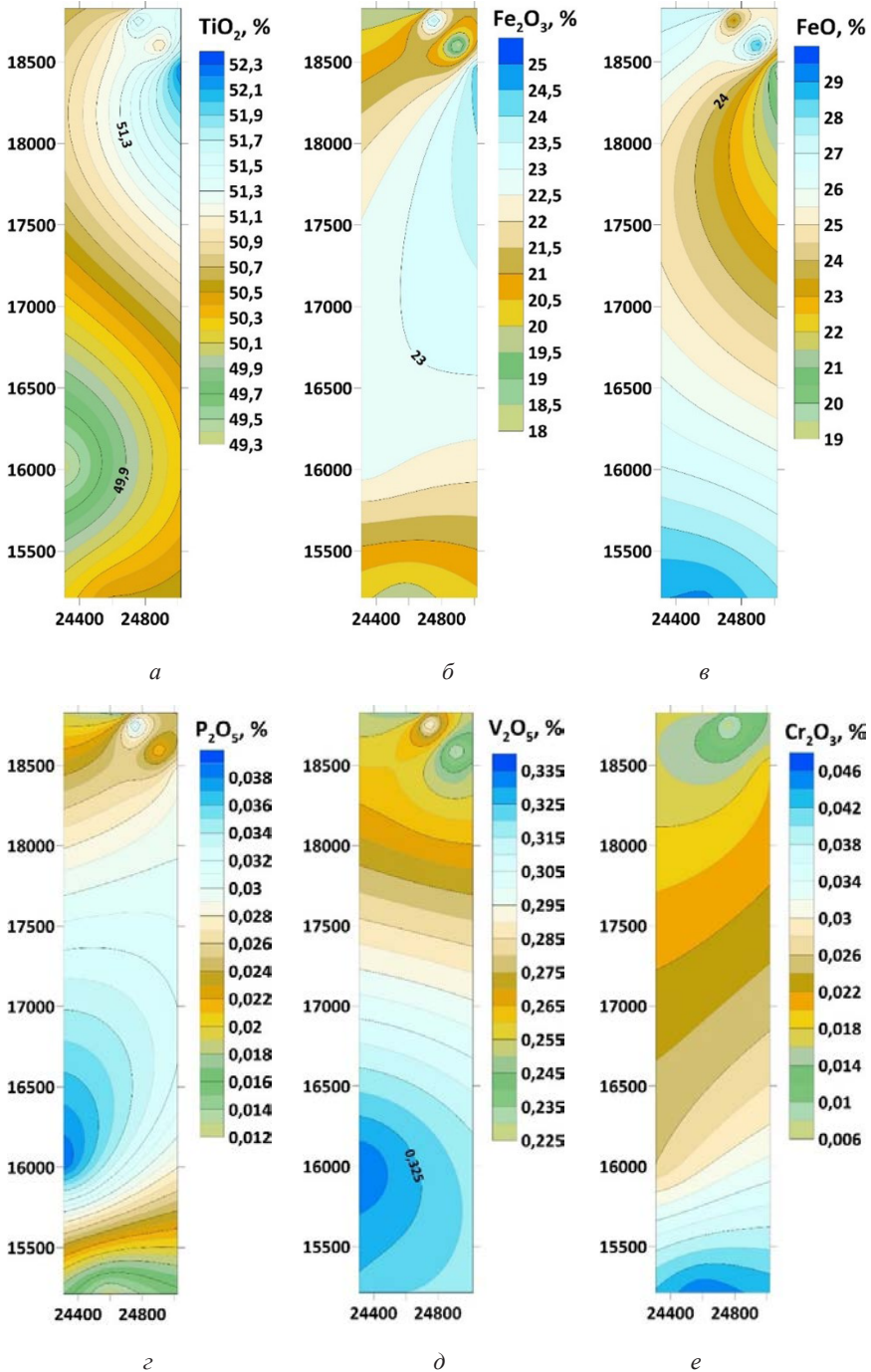


Рис. 4. Лагеральний розподіл ільменіту в корі вивітрювання з різним вмістом оксидів: TiO_2 (*a*), Fe_2O_3 (*б*), FeO (*в*), P_2O_5 (*г*), V_2O_5 (*д*), Cr_2O_3 (*е*)

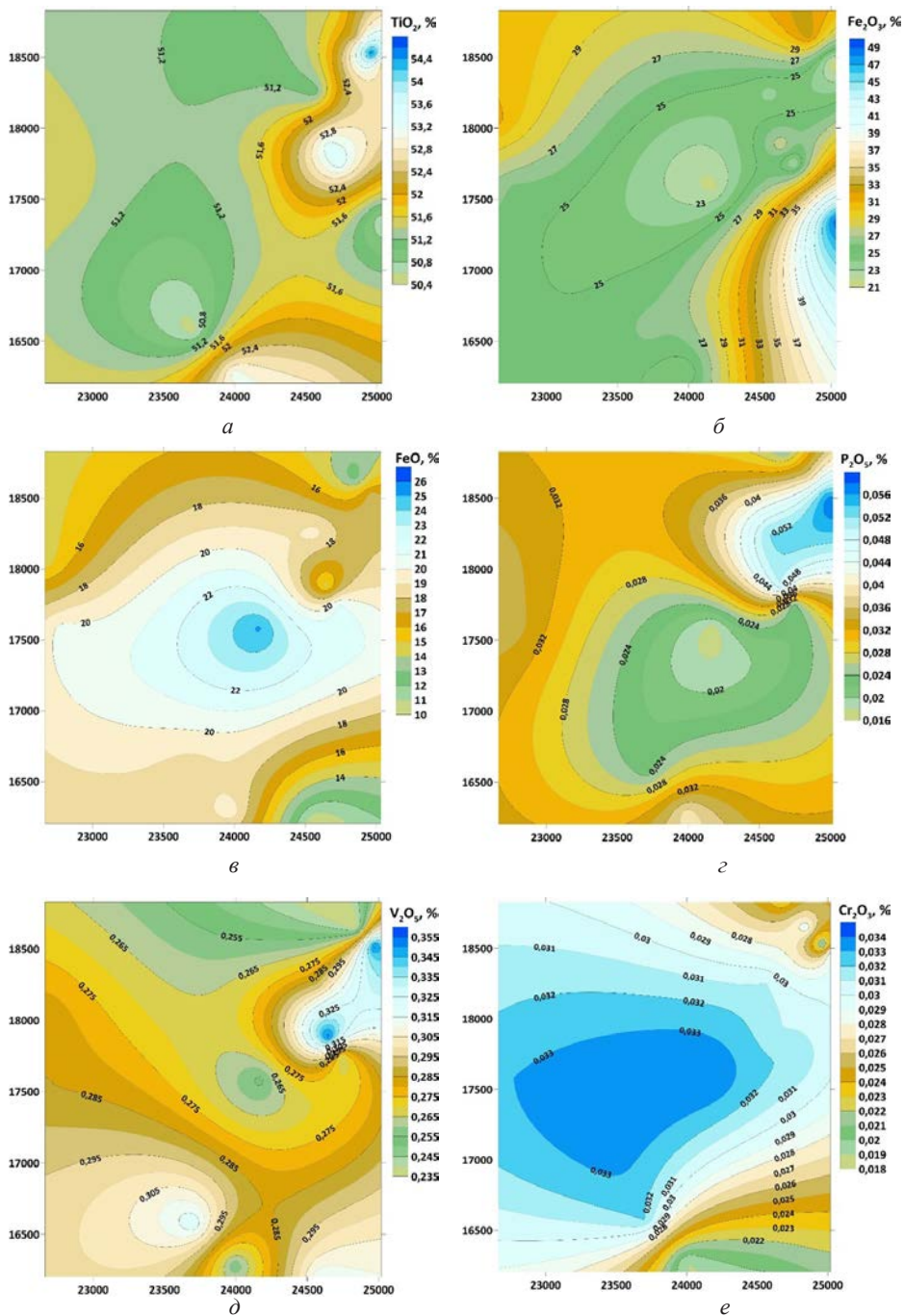


Рис. 5. Латеральний розподіл ільменіту в пісках каоліністих середньої юри – нижньої крейди з різним вмістом оксидів: TiO_2 (*a*), Fe_2O_3 (*б*), FeO (*в*), P_2O_5 (*г*), V_2O_5 (*д*), Cr_2O_3 (*е*)

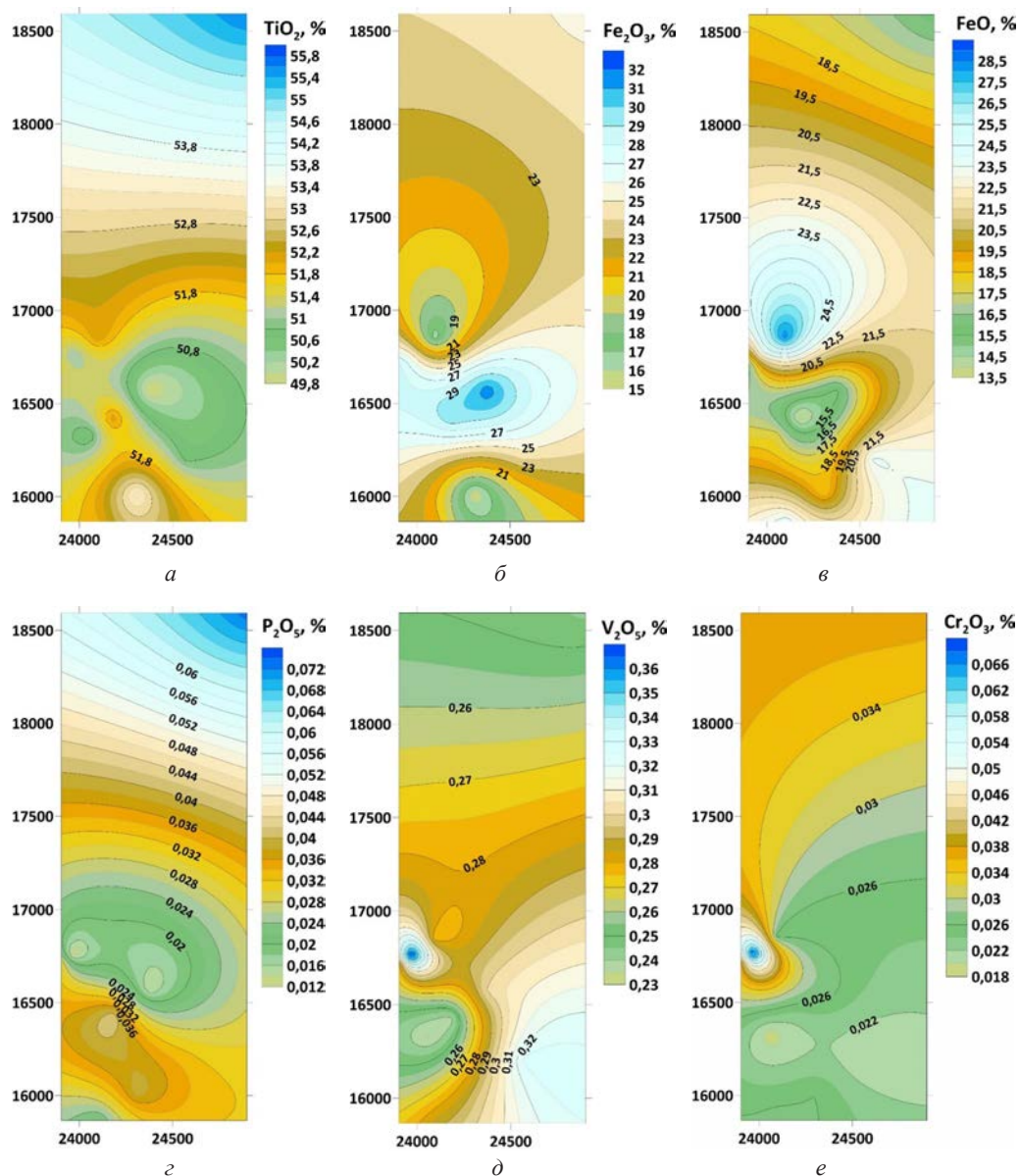


Рис. 6. Латеральний розподіл ільменіту в перевідкладених каолінах середньої юри – нижньої крейди з різним вмістом оксидів: TiO_2 (а), Fe_2O_3 (б), FeO (в), P_2O_5 (г), V_2O_5 (д), Cr_2O_3 (е)

Використовуючи результати опробування свердловин і хімічного аналізу ільменіту нами простежено зміну ільменіту з різним вмістом оксидів титану, окисного й закисного заліза та відношення FeO / Fe_2O_3 у вертикальному перетині свердловин. Найбільш типові колонки представлені на рис. 8.

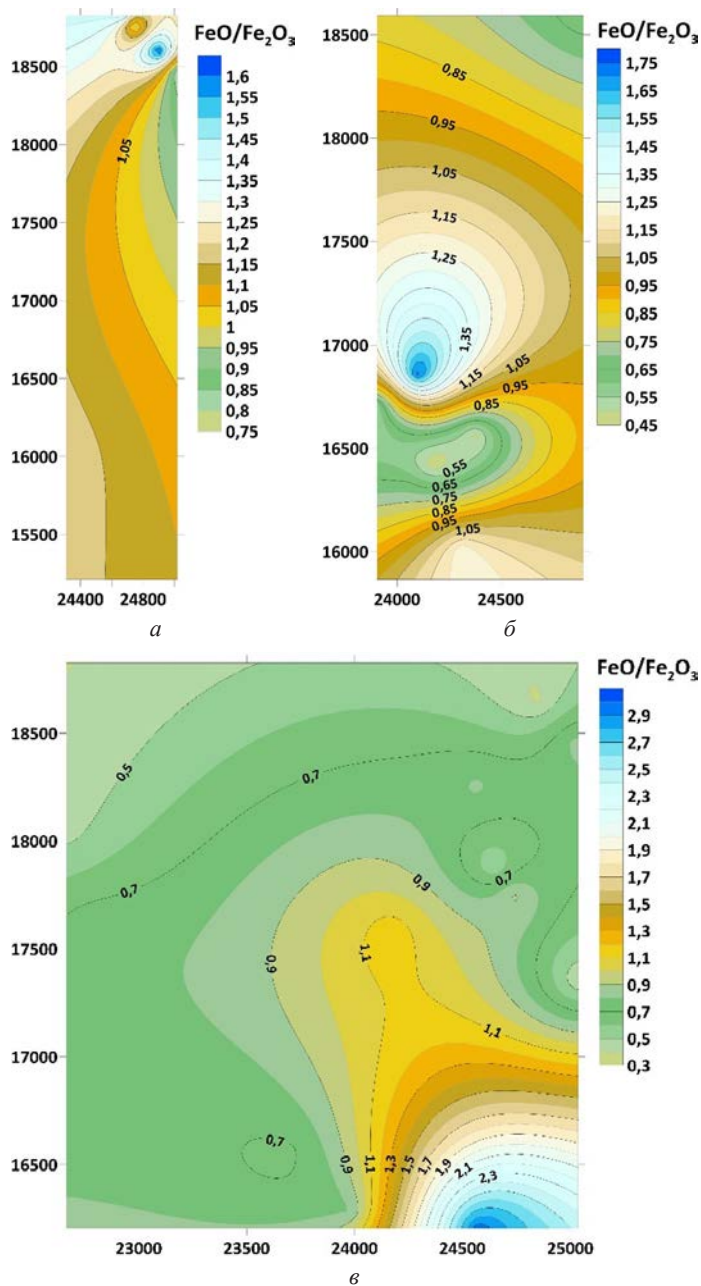


Рис. 7. Латеральний розподіл ільменіту в елювії (а),
перевідкладених каолінах (б) і пісках (в) середньої юри – нижньої
крейди з різним відношенням FeO/Fe₂O₃

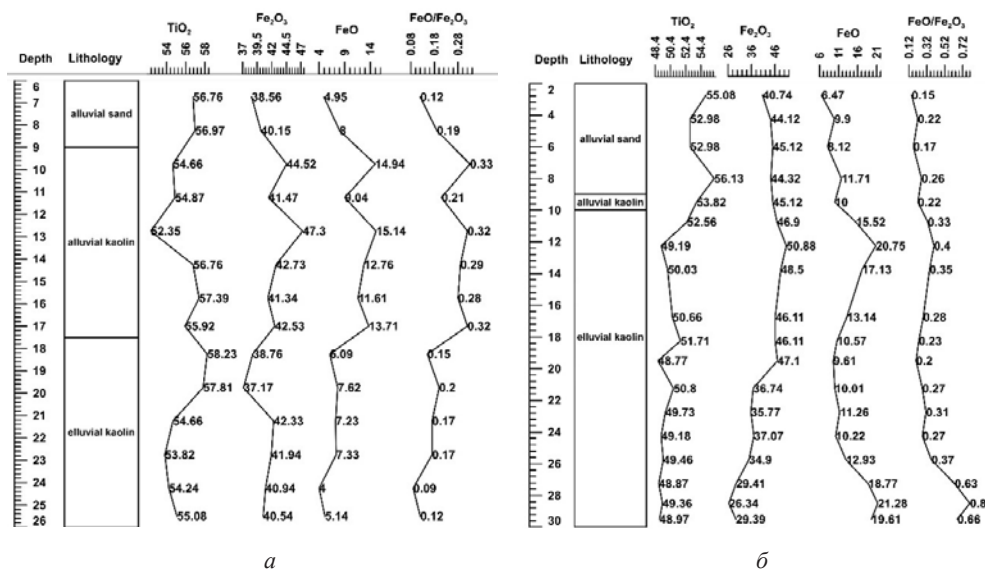


Рис. 8. Розподіл вмісту оксидів титану, окисного й закисного заліза та відношення FeO/Fe_2O_3 в ільменіті у вертикальному перетині свердловин: № 664/460 (а), № 683/316 (б)

Слід зазначити, що в більшості досліджених свердловин у вертикальному їх перетині наявний обернений сильний кореляційний зв'язок між вмістом ільменіту і його розміром (до $-0,99$) незалежно від генезису й літологічного складу відкладів. З'ясовано, що у вертикальному перетині свердловин обернений сильний кореляційний зв'язок часто наявний між вмістом в ільменіті TiO_2 і Fe_2O_3 (до $-0,89$) з кори вивітрювання та відкладів середньої юри – нижньої крейди, а також прямий сильний кореляційний зв'язок між вмістом в ільменіті Fe_2O_3 і FeO (до $+0,89$) з кори вивітрювання та делювіально-алювіальних утворень.

Висновки. Рудоносними в межах Тростяницького родовища ільменіту є різновіковими й різногенетичними утвореннями, представлені просторово-парагенетичним рядом: корою вивітрювання кристалічних порід фундаменту та середньоюрсько-нижньокрейдовими делювіально-алювіальними відкладами (пісками каоліністими й перевідкладеними каолінами піщанистими).

Рудоносність кори вивітрювання обумовлена рудоносністю кристалічних порід фундаменту, завдяки яким вона утворилася, а рудоносність середньоюрсько-нижньокрейдових відкладів – рудоносністю кори вивітрювання, фаціальними умовами утворення й іноді рельєфом поверхні елювіальних утворень.

Для кори вивітрювання та делювіально-алювіальних утворень, які разом становлять продуктивні відклади, притаманні значні перепади висот їх покрівлі й підосви. Зокрема, перепад висот поверхні кори вивітрювання становить 29,58 м, перепад висот підосви – 39,44 м, перепад висот поверхні делювіально-алювіальних відкладів – 27,95 м, перепад висот підосви – 29,58 м. Товщина кори вивітрювання становить 0,5–27,5 м; делювіально-алювіальних відкладів – 0,5–20,0 м.

Латеральний розподіл товщини кори вивітрювання нерівномірний, із локальними ділянками її збільшення чи збільшення; нерівномірним є і латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту з локальними ділянками його підвищеного та пониженого вмісту. Між товщиною елювію і вмістом ільменіту кореляційний зв'язок відсутній. Латеральний розподіл товщини середньоюрсько-нижньокрейдових відкладів більш-менш рівномірний, із незначними локальними ділянками її збільшення, натомість латеральний розподіл

середнього вмісту в них ільменіту нерівномірний. Між товщиною алювію і вмістом ільменіту кореляційний зв'язок змінюється від прямого дуже слабкого до прямого помірного.

Вміст ільменіту в корі вивітрювання – до 423,9 кг/м³; у делювіально-алювіальних утвореннях – до 523,2 кг/м³. Ільменіт в корі вивітрювання майже не змінений, натомість у флювіальних утвореннях він має різний ступінь лейкоксенізації. Середній розмір ільменіту змінюється від 0,52 мм у корі вивітрювання до 0,44 мм – у флювіальних континентальних утвореннях. У більшості досліджених свердловин у вертикальному їх перетині наявний обернений сильний кореляційний зв'язок між вмістом ільменіту і його розміром незалежно від генезису й літологічного складу відкладів.

Найменший і найбільший вміст TiO₂ діагностовано в ільменіті з кори вивітрювання – 49,35–57,0 %. Корисними домішками в ільменіті з продуктивних відкладів є оксиди ванадію і скандію, вмісти яких до 0,37 % і 0,029 % відповідно. Вміст оксиду хрому в ільменіті – 0,01–0,08 % (найвищий в ільменіті з перевідкладених каолінів). Шкідливою домішкою в ільменіті є наявність P₂O₅, вміст якого становить 0,01–0,07 %. Найбільший вміст Fe₂O₃ (49,09 %) та відношення FeO / Fe₂O₃ (2,97) діагностовано в ільменіті з піщаних відкладів середньої юри – нижньої крейди.

Найбільш значущі кореляційні зв'язки діагностованих оксидів в ільменіті такі:

- прямий сильний кореляційний зв'язок існує між оксидами Fe₂O₃ і P₂O₅ (елювій) та TiO₂ і P₂O₅ (перевідкладені каоліни);
- обернений сильний – між Fe₂O₃ і FeO й FeO і TiO₂ (елювій) і між Fe₂O₃ і FeO (перевідкладені каоліни);
- прямий середній кореляційний зв'язок існує між P₂O₅ і V₂O₅ (піщані відклади) та між V₂O₅ і Cr₂O₃ й FeO і V₂O₅ (перевідкладені каоліни);
- обернений середній – між TiO₂ і V₂O₅ й FeO і P₂O₅ (елювій), між TiO₂ і Cr₂O₃ (піщані відклади) та між P₂O₅ і V₂O₅ й FeO і P₂O₅ (перевідкладені каоліни).

Ділянки латерального поширення ільменіту з різним вмістом оксидів в елювії, піщаних і глинистих делювіально-алювіальних утвореннях більш-менш просторово збігаються лише для показника вмісту оксиду титану в мінералі. Оскільки внаслідок розмиву кори вивітрювання ільменіт переносився на різні відстані й нагромаджувався в різних літофаціях за делювіальних, алювіальних і делювіально-алювіальних фаціальних умов, його просторовий зв'язок з елювієм певних петротипів порід фундаменту втрачався, що знайшло своє відображення в просторовому розподілі ільменіту з різним вмістом оксидів у континентальних відкладах середньої юри – нижньої крейди.

Отримані результати, що відображають латеральний розподіл товщини, середнього вмісту і якісних показників хімічного складу ільменіту, є інформаційною основою для наукового супроводу експлуатаційних робіт на Тростяницькому родовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Михайлов В. А. Стратегічні корисні копалини України та їхня інвестиційна привабливість : монографія. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2023. 371 с.
3. Фігура Л. А., Ковальчук М. С. Рудоносність Осинової ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Геохімія та рудоутворення*. Київ, 2022. Вип. 43. С. 59–73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059>.

4. Фігура Л. А., Ковальчук М. С. Геологічна будова та рудоносність Юрської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Мінералогічний журнал*. Київ, 2023. Вип. 45, № 4. С. 100–117. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100>.
5. Ganzha O., Okholina T., Kroshko Yu., Kuzmanenko H., Kovalchuk, M. Structural and Lithological Models of Ilmenite Placer Deposits in Ukraine. *Anuário do Instituto de Geociências*, 2023. 46:55949. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2023_46_55949.

REFERENCES

1. Kovalchuk, M.S. (2019). Heoloho-henetychni 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 heolohichnoi nauky v Ukraini: zbirnyk tez naukovoi konferentsii, prysviachenoï 50-richchiu Instytutu heokhimii, mineralohii ta rudoutvorennia imeni M.P. Semenka (Kyiv, 14–16 travnia 2019)*. Kyiv: NAN Ukrainy, In-t heokhimii, mineralohii ta rudoutvorennia im. M.P. Semenka. Vol. 2. 53–54 [in Ukrainian].
2. Mykhailov, V.A. (2023). *Stratehichni korysni kopalyny Ukrainy ta yikhnia investytsiina pryvabyvist [Strategic minerals of Ukraine and their investment attractiveness]* Kyiv: VPTs “Kyivskiy universytet”. 371 [in Ukrainian].
3. Figura, L.A., & Kovalchuk, M.S. (2022). Rudonosnist Osynovoi dilianky Mezhyrichnoho rodovyscha tytanovykh rud [Ore-bearing of the Osynova area of the Mezhyrichne deposit of titanium ores]. *Heokhimiia ta rudoutvorennia – Geochemistry and ore formation*. Vol. 43. 59–73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059> [in Ukrainian].
4. Figura, L.A., & Kovalchuk, M.S. (2023). Heolohichna budova ta rudonosnist Yurskoi dilianky Mezhyrichnoho rodovyscha tytanovykh rud [Geological structure and ore bearing of the Yurska area of the Mezhyrichny titanium ore deposit]. *Mineralohichnyi zhurnal – Mineralogical journal*. Vol. 45, № 4. 100–117. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100> [in Ukrainian].
5. Ganzha, O., Okholina, T., Kroshko, Yu., Kuzmanenko, H. & Kovalchuk, M. (2023). Structural and Lithological Models of Ilmenite Placer Deposits in Ukraine. *Anuário do Instituto de Geociências*, 46:55949. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2023_46_55949 [in English].

Стаття надійшла до редакції 27.05.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

ILMENITE-BEARING CAPACITY OF PRODUCTIVE SEDIMENTS AND QUALITY PARAMETERS OF ILMENITE OF THE TROSTYANYTSKY TITANIUM ORE DEPOSIT

Myron Kovalchuk, Liubow Figura

kms1964@ukr.net, liuba_figura@ukr.net

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine,

55 b, O. Honchar St., Kyiv, Ukraine, 01601

The article presents brief information on the geological structure of the Trostyanytsky ilmenite deposit, which is located in the northern part of the Volodarsk-Volyn massif of rocks of the main composition of the Korosten pluton. Within the deposit, ilmenite deposits are localized in the weathered crust of the basement crystalline rocks and in the products of its erosion and redeposition – unbroken Middle Jurassic – Lower Cretaceous continental fluvial (deluvial-alluvial) sediments, which are represented by kaolin sands and redeposited kaolins. Deluvial-alluvial sediments with erosion overlie the weathering

crust of the bedrock and fill the buried valley-like depression between the Irsha and Trostianytsia rivers. The weathering crust served as a dam and intermediate reservoir for deluvial-alluvial deposits and alluvial minerals, including ilmenite. Based on the coordinates of the boreholes, their descriptions, and testing results, we created cartographic constructions that were used to study the lateral distribution of the thickness of the weathering crust and deluvial-alluvial deposits of the Middle Jurassic – Lower Cretaceous and the lateral distribution of the average ilmenite content in these sedimentary formations. Information on the morphology, granulometry, and chemical composition of ilmenite from eluvium and deluvial-alluvial sediments is presented. Based on the results of chemical analysis of ilmenite, the lateral distribution of ilmenite with different contents of titanium, iron, phosphorus, vanadium, and chromium oxides in weathering crust, sandy and clayey lithofacies of the Middle Jurassic – Lower Cretaceous is investigated. The lateral distribution of ilmenite with different $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ratios in eluvium, redeposited kaolins, and sands of the Middle Jurassic–Lower Cretaceous was studied. The direction and strength of correlations between these oxides in ilmenite from weathering crust, sandy and clay lithofacies of the Middle Jurassic – Lower Cretaceous were studied. The vertical distribution of ilmenite with different contents of TiO_2 , Fe_2O_3 , and FeO in the vertical section of the boreholes was studied. The obtained results allow us to specify the areas of maximum and minimum thickness of productive formations; areas of increased and decreased average ilmenite content within the deposit; spatial distribution of ilmenite with certain quality parameters in eluvium and deluvial-alluvial deposits of the Middle Jurassic – Lower Cretaceous; to find out the correlations between the content of various oxides in ilmenite.

Key words: Korosten pluton, Trostianytske deposit, weathering crust, deluvial-alluvial Middle Jurassic – Lower Cretaceous sediments, ilmenite, lateral distribution of ilmenite content, oxide content in ilmenite, spatial distribution of ilmenite with different oxide content.

УДК 553.21/24:549.41(477)

ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЯ ПРОЦЕСІВ РУДОУТВОРЕННЯ НА ЗОЛОТОРУДНОМУ РОДОВИЩІ БАЛКА ШИРОКА (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

Микола Павлунь, д-р геол. наук, професор,
професор кафедри геології корисних копалин і геофізики
mykola.pavlun@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-8634-65762>

Олег Гайовський, канд. геол. наук, доцент,
завідувач кафедри геології корисних копалин і геофізики
oleh.hayovskyu@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0000-5178-4173>

Тарас Шваєвський, аспірант кафедри геології корисних копалин і геофізики
Taras.Shvaievskiy@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

У статті схарактеризовано морфологію, морфометрію та фазовий склад флюїдних включень у мінералах руд родовища золота Балка Широка (Середнє Придніпров'я, Український щит). Контрастність головних парагенезисів і чіткі прояви ознак їхніх часових співвідношень (а це текстури перетинання, заміщення, брекчіювання й цементації) дають підстави для виокремлення низки послідовно утворених мінеральних асоціацій стійкого складу і їхніх комплексів, які суттєво відрізняються за продуктивністю. За допомогою термобарогеохімічних досліджень виділено найстійкіші асоціації мінералів і визначено температуру мінералоутворення. Допродуктивний комплекс представлений пірит-кварцовою асоціацією (з магнетитом) і охоплює три парагенезиси – магнетит-кварцовий (435–390 °С), піротин-пірит-кварцовий із магнетитом (395–320) і кварц-сидеритовий із перевідкладеним магнетитом (280–240 °С). Продуктивний полісульфідний комплекс складений такими двома послідовними мінеральними асоціаціями, як арсенопірит-пірит-кварцова із золотом (385–310 °С, 194–123 МПа) і золото-сульфосольова (290–200 °С, 93–79 МПа). Перша охоплює такі парагенезиси: турмалін-кварцовий (385–300 °С), кварц-піротин-піритовий (385–310) і золото-арсенопірит-сфалерит-халькопірит-кварцовий (335–310 °С), друга – кварц-піритовий (290–210 °С), кварц-халькопірит-арсенопірит-сульфосольовий із золотом (275–210), клейофан-халькопірит-кварцовий (245–210), клейофан-галеніт-кварцовий (245–210) і кварц-анкеритовий (210–200 °С). Післяпродуктивний карбонатний комплекс представлений кварц-кальцитовою мінеральною асоціацією, до складу якої входять кальцит-пірит-кварцовий (150–110 °С) і кварц-кальцитовий (110–90 °С і нижче) парагенезиси.

На підставі наведених даних розроблено модель стадійності й термобарогеохімічного режиму формування родовища Балка Широка. Вона відображає еволюцію мінерального складу руд, агрегатний стан і хімічний склад розчинів, що можна успішно застосовувати під час розшуків, оцінювання та прогнозування золотого зруденіння з глибиною і на флангах родовища Балка Широка.

Ключові слова: термобарогеохімія, флюїдні включення, мінеральна асоціація, парагенезис, родовище золота, Середнє Придніпров'я, Український щит.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.04>

Вступ. Термобарогеохімія процесів рудоутворення визначається послідовністю формування мінеральних асоціацій і головних парагенезисів, які часто об'єднані в мінеральні комплекси, та термобарогеохімічними даними їхньої кристалізації, агрегатним станом і складом відповідних флюїдних включень у мінералах. Ці дані – основа синтезу схеми стадійності і *PT*-режиму формування родовища та вирізнення допродуктивного, продуктивного й післяпродуктивного комплексу мінералів.

Мета – навести нові термобарогеохімічні дані про фізико-хімічний режим і термобарогеохімічні параметри формування золоторудного родовища Балка Широка.

Результати досліджень і обговорення. Родовище Балка Широка розташоване на високомагнітній ділянці західного крила антиклінальної складки серед метаморфізованих вулканогенних і вулканогенно-осадових товщ сланцево-джеспіліт-толейтової формації, що зазнали плікативних дислокацій. Вони поширені в зоні екзоконтактового впливу Чкаловського масиву тоналіт-плагіогранітної формації та реліктів лавово-субвулканічних полів ріодацитової вулканогенної формації, які інтродовані їхніми плутонічними комагматами з утворенням ріодацит-плагіогранітної вулкано-плутонічної асоціації [1, 2]. Джеспіліти представлені агрегатами кварцу, хлориту, біотиту, амфіболу. За результатами термобарогеохімічних (ТБГХ) досліджень, сульфіди й карбонати, які повсюдно наявні в залізистих кварцитах, утворилися значно пізніше як мінералого-геохімічний наслідок рудоутворювальної діяльності пневматолітових і гідротермальних розчинів.

Зруденіння на родовищі приурочене до системи субпаралельних зон сітчасто-прожилкової мінералізації, іноді без чітких меж, складної конфігурації, нерідко з безрудними інтродованими інтервалами. Рудні зони супроводжуються не лише інтенсивно катаклазованими, мілонітованими, а й метасоматично зміненими породами. До продуктів гідротермально-метасоматичних змін належать утворення березито-лиственітової формації. Це витримані за простяганням зони потужністю від 5–7 до 10–20 м і більше – у внутрішніх частинах породи лиственітовані (березити по кислих породах), карбонатизовані, поступово переходять в аргілітовані в жильних чи лінзоподібних рудних тілах кварц-сульфідного складу, для яких притаманний спектр мінерального різноманіття, потужність змінюється від десятків сантиметрів до декількох метрів, а протяжність не перевищує перших сотень метрів. Рудні тіла найчастіше займають згідне положення у зонах метасоматично змінених порід, а їхня локалізація і нерідко напрямок визначаються позицією пластів залізистих кварцитів і структурними флуктуаціями вмісних порід – флексури, S-подібні складки та ін.

Родовище Балка Широка характеризується порівняно стійким золото-кварц-сульфідним типом зі схожим мінеральним складом у межах досліджених нами рівнів жильних тіл. Особливо широким розвитком у рудах користуються прості сульфіди, кристалізація деяких з них відбувалася неодноразово у вигляді ряду послідовних генерацій (у розумінні Д. Григор'єва, 1961): пірит I, II-а, б, III → піротин I, II → халькопірит I → сульфосоли срібла I → галеніт I. Часто окремі генерації мінералів зазначеного ряду або їхні зародження тісно асоціюють із золотом. Ця обставина (з урахуванням ТБГХ і мінералого-фізичних (ГЕРС) досліджень) може бути пояснена сепаратним осадженням частини золота в період рудоутворення або кристалізацією сульфідів спільно з іншою частиною золота під час формування порівняно вузьких парагенезисів (Банкрофт, 1985). У рудах порівняно стійко присутній магнетит I, сфалерит I (марматит-клейофан), карбонати I, II, III (сидерит, анкерит, кальцит), іноді трапляється марказит I, II; у виділеннях кварцу II-а, б зафіксовано вкраплення самородного золота. Мінерали руд родовища кристалізувалися в певній послідовності, оскільки формують досить контрастні за складом мінеральні парагенетичні асоціації. Їхній склад, характер взаємовідношень і порядок виділення мінералів у рамках кожної асоціації дає змогу представити формування руд родовища як результат розвитку складного ендегенного процесу. Цілеспрямоване вивчення мінералів і їхніх поєднань методами ТБГХ дає підстави з'ясувати зміни агрегатного стану рудоутворювальних розчинів, їхнього хімічного складу й термобаричного режиму в координатах часу і простору.

Дані мікроскопічного вивчення флюїдних інклюдивів у прозорих і напівпрозорих мінералах руд родовища засвідчують, що вони у своєму складі мають широкий розвиток одно-, двох- і трифазових включень, які за агрегатним станом і хімічним складом відповідають різним типам мінералоутворювальних розчинів. Разом із тим не всі генерації мінералів і далеко не завжди і повсюдно мають однакову ступінь насиченості флюїдними включеннями. Наприклад, у таких мінералах, як сидерит, анкерит, кальцит, вони трапляються дуже зрідка. Натомість кварц, навпаки, часто перенасичений включеннями різних генетичних типів.

За морфологією ступінь їхньої кристаломорфологічної досконалості знижується від ранніх генерацій до пізніх. При цьому вакуолі включень, намагаючись набути енергетично вигідніші обриси, нерідко наближаються за формою до витягнутої сфери, іноді до негативного кристала мінералу-господаря. Для кварцу характерні різноманітні комбінації призм і ромбоєдрів, а для карбонатів – зростання різних ромбоєдрів. Пізнішим генераціям цих мінералів притаманні неправильні каверноподібні вакуолі включень. Такі самі форми характерні для різних вторинних включень незалежно від генерації мінералу-господаря, при цьому їхні обриси нерідко суттєво ускладнені у зв'язку з явищами «розшнуровання» й перенаповнення вакуолей у вузлах перетину різновікових залікованих тріщин (Калюжний, 1960). Тріщини головню призводять до значних змін первинного наповнення включень, тим самим створюючи своєрідну «заборону» для термометричних визначень незалежно від методів вивчення (гомогенізації, кріометрії тощо). Адже без урахування цього ТБГХ-дослідження як такі абсолютно марні, а теоретичні побудови хибні, як і зовсім неправильними будуть наші уявлення про перебіг процесів мінералогенезу, фізико-хімічну природу утворення мінералів і руд та їхню прогностичну оцінку.

Розмір включень у мінералах досліджуваного родовища змінюється від 0,05–0,01 до 0,005–0,001 мм і менше. Дуже зрідка у кварці, який тісно асоціює із золотом, халькопіритом і піритом, трапляються мікрровключення розміром 0,03–0,05 мм (св. 2848-11, гл. 315,4 м). Найпоширеніші включення розміром 0,005–0,010 мм, які є головним об'єктом досліджень.

Однофазні включення представлені водним розчином із низькою концентрацією солей, про що свідчить відсутність у них твердих фаз і прямі спостереження їхнього термометричного розкриття без утворення сольового залишку. Такі включення представляють релікти теплотворного середовища і присутні здебільшого в найпізніших зародженнях мінералів (кварц, клейофан, карбонати), які завершують процес формування родовища.

Двофазні включення – це релікти газових і водних розчинів, перші більш високотемпературні щодо других. Залежно від густини початкових розчинів виникають суттєво газоподібний і рідинно-газовий або газозво-рідкий фазовий склад. Перші, з наповненим водним розчином (від 5–25 до 45 %), характерні для ранніх зароджень кварцу, який асоціює з магнетитом, піритом; інші, з наповненням 65–85 %, притаманні пізнішим зародженням тієї самої генерації, а також генерації кварцу, який асоціює з турмаліном, арсенопіритом (із золотом), сульфосолями (із золотом), сфалеритом, галенітом і анкеритом. Газозво-рідкі включення з наповненням від 85–95 до 100 % трапляються в мінералах кварц-кальцитової асоціації.

Трифазові включення – це мікропроби розчинів, в одному випадку водно-вуглекислотні, а в іншому – хлоридно-натрієві (профіль «0», св. 2848, гл. 315,4 м; св. 2848П, гл. 573,4 м). Водно-вуглекислотні розчини частіше є газозво-рідкими з фазою рідкого діоксиду вуглецю (CO₂), який займає 10–25 % об'єму вакуолі, однак нерідко спільно з ним трапляються включення, рідка вуглекислота у яких займає до 30–35 і навіть 90–95 % об'єму вакуолі. Хлоридно-натрієві розчини, крім газової і рідкої фаз, містять одну, зрідка дві тверді фази, що складені галітом, який займає 20–40 % об'єму вакуолі. Трифазові включення з твердою фазою трапляються в залікованих тріщинах у кварці, який асоціює з арсенопіритом, однак відносно кварцу, вони сингенетичні до магнетиту, піриту й піротину, тому поводять себе як вторинні включення.

Включення з CO₂ порівняно широко поширені у кварці, який асоціює з піритом, піритом, халькопіритом, арсенопіритом, бляклими рудами, золотом, сфалеритом і галенітом,

та значно розвинені на родовищі. Ці інклюзиви в кварці розташовані по зонах росту (первинні), частіше у вигляді об'ємних «роїв», які приурочені до центральних частин зерен (первинно-вторинні вклучення).

Контрастність головних парагенезисів і достатньо чіткі ознаки їхніх вікових співвідношень (текстури перетину, заміщення, брекчіювання, дроблення і цементації) дає нам змогу використати низку послідовно утворених мінеральних асоціацій¹ стійкого складу й вирізнити їхні комплекси, які суттєво відрізняються за ступенем продуктивності, що відображено в табл. 1 [6]. Крім цього, певні матеріали ми використали з праць [3, 8].

В окремих випадках локально розвинені мінеральні поєднання, у яких один-два члени вказаних парагенетичних асоціацій [8] випадають або ж на конкретній ділянці родовища не проявлені, однак назагал такі поєднання за складом і часом утворення дуже близькі головним, найстійкішим асоціаціям і через це розглядаються як їхні фаціальні різновиди.

Пірит-кварцова асоціація (з магнетитом) є найранішою, кристалізація її мінералів відбувалася, вірогідно, після формування магматичних тіл гранітоїдного складу, які закартовано у межах родовища і на прилеглий території (Чкаловський масив). Ця мінеральна асоціація дуже широко розвинута в межах вивченого розрізу профілю «0». Вона представлена дрібнозернистим сірих відтінків кварцом I, з раннім зародженням якого виділився синхронний магнетит (суцільні агрегати або дрібне вкраплення), формуючи магнетит-кварцовий парагенезис (А).

Таблиця 1

Послідовність і термобарогеохімічні інтервали формування мінерального складу руд родовища Балка Широка

Мінеральний комплекс	Мінеральна асоціація і парагенезис
I. Допродуктивний магнетит-кварцовий ($T = 435\text{--}240\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1. <i>Пірит-кварцова (з магнетитом) мінеральна асоціація</i> (435–240 °C): А – магнетит-кварцовий (435–390 °C); Б – піротин-пірит-кварцовий (із магнетитом) (395–320 °C); В – кварц-сидеритовий (із перевідкладеним магнетитом) (280–240 °C).
II. Продуктивний полісульфідний ($T = 385\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 194\text{--}79\text{ МПа}$)	2. <i>Арсенопірит-пірит-кварцова (із золотом) мінеральна асоціація</i> (385–310 °C, 194–123 МПа): Г – турмалін-кварцовий (385–300 °C); Д – кварц-піротин-піритовий (385–310 °C); Е – золотого-арсенопірит-сфалерит-халькопірит-кварцовий (335–310 °C). 3. <i>Золото-сульфосольова мінеральна асоціація</i> (290–200 °C, 93–79 МПа): Ж – кварц-піритовий (290–210 °C); З – кварц-халькопірит-арсенопірит-сульфосольовий із золотом (275–210 °C); І – клейофан-халькопірит-кварцовий (245–210 °C); К – клейофан-галеніт-кварцовий (245–210 °C); Л – кварц-анкеритовий (210–200 °C).
III. Післяпродуктивний карбонатний ($T = 150\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче)	4. <i>Кварц-кальцитова мінеральна асоціація</i> (150–110 °C): М – кальцит-пірит-кварцовий (150–110 °C); Н – кварц-кальцитовий (110–90 °C).

¹ Мінеральна асоціація – термін, який ми вживаємо в розумінні Н. Петровської (1973): це поєднання мінералів, які виникли закономірно в єдиному процесі, що обмежений у просторі й часі та відбувається за визначених фізико-хімічних умов. Назва мінеральних асоціацій і парагенезисів будується за принципом збільшення ролі мінералів. А мінеральний парагенезис – це закономірне поєднання мінералів, утворених тільки як рівноважна мінеральна система в рамках термодинамічних умов, що допускають виникнення цієї системи, і в обмежений відрізок часу, що відповідає одному ступеню мінеральної рівноваги.

Дещо пізніше до нього приєднується пірит I *n*-провідності й піротин I (піротин-пірит-кварцовий (епізодично з магнетитом) парагенезис (Б)). Мінерали кварц-сидеритового (з магнетитом) парагенезису (В) виділилися в тісній асоціації з найпізнішими зародженнями кварцу I, сидериту й магнетиту; магнетит, імовірно, виник унаслідок часткового розчинення більш ранніх утворень оксидів заліза (у складі залізистих кварцитів) та їхнього наступного перевідкладення. Нерідко мінералами асоціації складені тонкі прожилки (0,3–1,0 см), у яких рудні мінерали утворюють нерівномірне вкраплення не лише у виділеннях кварцу I, а й у біляжилних зонах гідротермально змінених порід.

Релікти мінералоутворювальних розчинів виявлено лише у виділеннях кварцу I, і вони представлені таким комплексом первинних і первинно-вторинних включень: суттєво газовими (наповнення рідким (водним) розчином до 25 %); рідинно-газовими (наповнення водним розчином до 45 %); газиво-рідкими (наповнення від 50–70 до 75–85 %). Суттєво газові й рідинно-газові інклюзиви, які гомогенізувалися в газову фазу за 390–435 °С, поширені в ранніх зародженнях кварцу I, який асоціює з магнетитом. Газово-рідкі включення гомогенізуються в рідку фазу в інтервалі 320–395 °С. У включеннях перехідного наповнення нерідко спостерігаються критичні явища, які свідчать про перехід газоподібних розчинів у рідкі: 395–375 °С – за цих умов у системі рудоутворення завершувалася кристалізація мінералів магнетит-кварцового парагенезису (А) і розпочиналося формування піротин-пірит-кварцового, часто з магнетитом парагенезису (Б). Найпізніші газиво-рідкі включення з $T_{\text{гом}}$ 280–240 °С характерні для кварц-сидеритового парагенезису (В), що відповідає завершенню формування пірит-кварцової асоціації й магнетит-кварцового комплексу [8].

Арсенопірит-пірит-кварцова із золотом асоціація, розвиток якої пов'язаний із новим етапом активізації тектонічних рухів, дуже поширена в рудних тілах. Вона є надранньою у складі золотовмісного полісульфідного мінерального комплексу. Від ранніх асоціацій відрізняється суттєвим підвищенням ролі сульфідів та їхнім різноманіттям. Формування цього мінерального поєднання фіксувалося різким підвищенням температури розчинів з яскраво виявленою ТБГХ-спеціалізацією.

Формування рудної речовини в цей період розпочалося з виділення дрібнозернистих агрегатів продуктивного кварцу IIа і турмаліну (турмалін-кварцовий парагенезис – Г) за температури 385–360 °С; у деяких випадках до них приєднується пірит IIа (*p-n* провідності), який нерідко сингенетичний раннім зародженням кварцу IIа без участі турмаліну. У піриті IIа наявні вкраплення золота; ще дещо пізніше від кристалізації ранніх зароджень піриту IIа (385–370 °С) і далі, за 370 °С розпочинається кристалізація піротину II (кварц-піротин-піритовий парагенезис – Д) [8].

Мінерали цих парагенетичних асоціацій просторово тяжіють до зальбандових частин рудних прожилків, центральна частина яких найчастіше виповнена середньозернистим кварцом IIа, халькопіритом, сфалеритом і арсенопіритом Ia із самородним золотом (золото-арсенопірит-сфалерит-халькопірит-кварцовий парагенезис – Е), епізодично тут наявні й мінерали пізніших асоціацій. Нерідко можна спостерігати, що перехід від дрібно- до середньозернистих агрегатів кварцу IIа в одних випадках відбувається дуже різко, в інших – поступово, без ознак суттєвої перерви в мінералоутворенні. У другому випадку помітне збільшення зернистості мінеральних агрегатів можна інтерпретувати як наслідок перепадів тиску, спричинених внутрішньорудними тектонічними флуктуаціями й перенасиченням металоносних розчинів у початковий період кристалізації з поступовою стабілізацією термодинамічної рівноваги рудоутворювальної системи зі встановленням відповідного балансу розчинів зі стінками рудовмісних тріщин.

У дрібнозернистих різновидах кварцу IIа виявлено три типи первинно-вторинних газиво-рідких включень: двофазні, що містять не лише водний розчин, а й, імовірно, граничні

і неграничні вуглеводні й високогустинну вуглекислоту ($> 0,914 \text{ г/см}^3$), що побічно підтверджується криометричними дослідженнями й термометричним розкриттям включень, гомогенізація яких відбувається в рідку фазу за $385\text{--}310 \text{ }^\circ\text{C}$. У конкретних кварцових індивідах два інші різновиди включень утворені синхронно та розрізняються за співвідношенням фаз: двофазні з наповненим водним розчином $65\text{--}75 \%$ і трифазні з CO_2 , які представляють закриті багатокомпонентні мікросистеми – водний розчин (рідка фаза H_2O), водно-вуглекислотний розчин (рідка фаза CO_2) і газова фаза CO_2 . Мінливість фазового складу включень пов'язана і є наслідком первинної неоднорідності початкових мінералоутворювальних гідротерм, що В. Калюжний інтерпретував (1960, 1982) як результат гетерогенного стану системи.

Трифазові включення з рідким CO_2 частково гомогенізуються в рідку фазу (зникає газова фаза CO_2) за $8,5\text{--}15,5 \text{ }^\circ\text{C}$, в окремих випадках за $28,2 \text{ }^\circ\text{C}$. З огляду на дані праць [9, 10], густина гомогенної рідкого CO_2 в таких включеннях відповідає значенням від $0,866\text{--}0,809$ до $0,688 \text{ г/см}^3$. Сингенетичні до них двофазові газопо-рідкі (без рідкого CO_2) включення сягають повної гомогенізації за $370\text{--}310 \text{ }^\circ\text{C}$. Подібні родини включень свідчать про те, що виділення дрібнозернистих зароджень кварцу Па відбувалося за участі гетерогенних водно-вуглекислотних розчинів у температурному інтервалі $385\text{--}310 \text{ }^\circ\text{C}$ за суттєвих варіацій тиску від $> 194\text{--}123$ до 93 МПа .

У середньозернистому кварці Па, який асоціює із халькопіритом, арсенопіритом Іа, сфалеритом, золотом (арсенопірит-сфалерит-халькопірит-кварцовий парагенезис – Е), виявлено первинно-вторинні газопо-рідкі трифазні включення з галітом (до $20\text{--}40 \%$ об'єму вакуолі). Фаза галіту в них розчиняється після зникнення газової фази ($150\text{--}179 \text{ }^\circ\text{C}$) за температури $350\text{--}330 \text{ }^\circ\text{C}$; тиск у такому випадку оцінено в $190\text{--}170 \text{ МПа}$.

Золото-сульфосольова асоціація завершує процес рудоутворення в період виділення мінералів полісульфідного комплексу. Асоціація не дуже поширена в рудних тілах, має мінеральну своєрідність і певні геохімічні типи флюїдних включень, які відображають сутність певних типів гідротермальних розчинів у формуванні низки парагенезисів у її складі. Вона складена середньозернистими агрегатами кварцу Пб з одночасними вкрапленнями піриту Пб (*n-p* провідність). За нашими спостереженнями, нерідко пірит Пб розташований по зонах росту кварцу П (кварц-піритовий парагенезис – Ж), дещо пізніше до них приєднуються арсенопірит Іб і халькопірит, з ранніми зародженнями якого трапляються зростання сульфосолей і золота (кварц-халькопірит-арсенопірит-сульфосольовий із золотом парагенезис – З) і пізніше формується клейофан-халькопірит-кварцовий парагенезис – І). Часто спостереженнями визначено асоціацію клейофану й галеніту – ці мінерали виділялися одночасно, вони формують клейофан-галеніт-кварцовий парагенезис – К).

У кварці Пб, який є наскрізним мінералом асоціації, виділяється родина синхронних включень – газопо-рідкі з рідким CO_2 і без нього. За включеннями без видимої фази CO_2 визначено температуру мінералоутворення золото-сульфосольової асоціації, а за включеннями суттєво вуглекислотного складу – густину CO_2 ($0,688\text{--}0,653 \text{ г/см}^3$). Температура повної гомогенізації таких інклюзивів змінюється від 290 до $210 \text{ }^\circ\text{C}$, часткової – $26,0\text{--}28,0 \text{ }^\circ\text{C}$, що дає змогу на *PT*-діаграмі стану бінарної системи $\text{H}_2\text{O}\text{--}\text{CO}_2$ визначити тиск в інтервалі $93,0\text{--}79,0 \text{ МПа}$. Завершують процес формування золотоносного полісульфідного комплексу мінерали кварц-анкеритового парагенезису – Л. У пізніх зародженнях кварцу Пб, які сингенетичні до анкериту, виявлено первинно-вторинні включення з гомогенізацією в рідку фазу за $210\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Кварц-кальцитова мінеральна асоціація є речовинним свідченням діяльності нової порції розчинів, шляхи руху якої визначалися характером тектонічних напружень на завершених рудного процесу. Мінерали асоціації є найпізнішими в складі руд родовища, нерідко

цементують або перерізають мінеральні агрегати всіх зазначених вище парагенезисів. Головними рисами асоціації є наявність кварцу III, піриту III *p*-провідності й кальциту.

Напівпрозорий середньозернистий кварц III, що асоціює з піритом III і ранніми зародженнями кальциту (кальцит-пірит-кварцовий парагенезис – М), є господарем комплексу газиво-рідких первинно-вторинних включень, які гомогенізувалися в діапазоні 150–110 °С. Індивіди кальциту фіксуються також і з пізнішими агрегатами кварцу III (кварц-кальцитова парагенетична асоціація – Н), де виявлено газиво-рідкі інклюзиви (частіше овальної, зрідка каверноподібної форми, у кальциті – у вигляді ромбоєдрів), які гомогенізуються за 110–90 °С. Часто наявні однофазні рідкі включення зі стовідсотковим наповненням, що свідчить про тепловодні (50–40 °С) умови кристалізації і, можливо, неодноразову перекристалізацію пізнього кварцу III.

Для того щоб виконати описані вище дослідження з вирізнення мінеральних асоціацій і головних рудних парагенезисів родовища (як генетичної основи для розуміння послідовності процесів рудоутворення), ми застосували методи польового топомінералогічного картування, вивчили речовинний склад, текстурно-структурні особливості й часові взаємовідношення руд, виконали мікроскопічну діагностику, провели мінералого-парагенетичний аналіз. Використали також головні методи ТБГХ-досліджень флюїдних включень у мінералах, виконали типізацію включень за розміром і формою, складом і агрегатним станом, часом утворення щодо мінералу-господаря, застосували барометрію і вимірювання ТЕРС мінералів-напівпровідників тощо. Чому ми так детально на цьому зупиняємось – тому що останніми десятиліття в наукових працях про генезис і ТБГХ-характеристики утворення родовищ корисних копалин вчені ігнорують ці дані, а подають тільки інтегровані характеристики процесів рудоутворення, як це неодноразово робили і ми [5–7]. Однак для того, щоб синтезувати модель процесів формування родовища й розкрити термобарогеохімічний режим та його стадійність, ці дані є вихідними і незамінними (рис. 1). А результати ТБГХ-вивчення послідовних асоціацій і парагенезисів руд, у тому числі продуктивних на самородне золото, дають змогу визначити, що процес рудоутворення відбувався за участі газоподібних і рідких розчинів.

Фазово-агрегатний стан і хімічний склад флюїдних включень у мінеральних асоціаціях руд родовища, температурний і баричний рівень їхнього захоплення, дають підстави припускати, що ТБГХ-процес рудоутворення здійснювався за участі газоподібних і рідких розчинів. Загальна еволюція фізико-хімічного стану розчинів зводиться до такого.

Гомогенізація первинно-вторинних включень різновікових генерацій засвідчує, що температура розчинів, які брали участь у формуванні мінеральних парагенезисів, змінювалася від 435 до 90 °С і дещо нижче. На загальному тлі регресивного температурного режиму мінералоутворення чітко виявлені стрибкоподібні зміни цього параметра, що свідчить про переривчастість рудного процесу в зв'язку з різночасовим надходженням послідовних порцій розчинів. Визначено температурні стрибки для початку кристалізації комплексу ранніх сульфідів (до 180 °С) і перепади температури для полісульфідного комплексу (до 50 °С). За часом такі різкі зміни температурного режиму відповідають періодам суттєвої активізації до- і внутрішньорудних тектонічних напружень, ознаки яких (текстури перетинання, дроблення й цементації) виявлені повсюдно, а ці дані можуть слугувати надійним критерієм для визначення меж розвитку окремих мінеральних комплексів [6]. Про це свідчить також зміна хімічного складу мінералоутворювальних розчинів на початку кристалізації арсенопірит-пірит-кварцової асоціації, що доведено наявністю в мінералах первинно-вторинних включень вуглеводнів, вуглекислоти і твердих фаз NaCl, які не властиві попереднім пірит-кварцовим (із магнетитом) агрегатам або наступним кварц-кальцитовим.

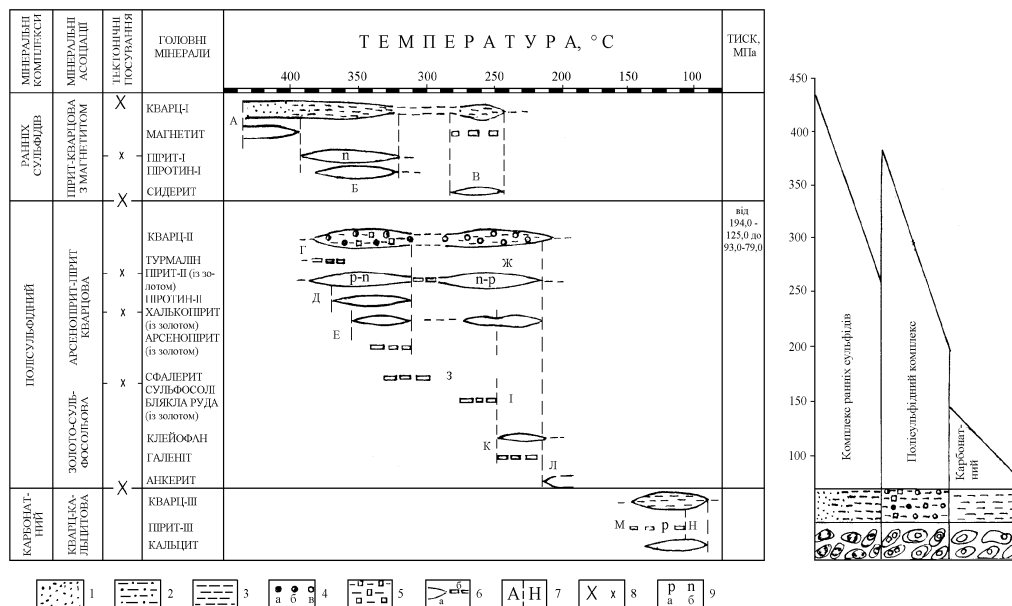


Рис. 1. Схема стадійності і термобаричного режиму формування золоторудного родовища Балка Широка: Температурні інтервали кристалізації мінералів та агрегатний стан мінералоутворювальних розчинів за даними гомогенізації включень: 1 – газоподібних; 2 – критичних; 3 – рідких гомогенних; 4 – гетерогенних з вуглекислою (а), високогустинною – 0,809–0,866 г/см³ (б) та низькогустинною – 0,653–0,688 г/см³ CO₂ (в); 5 – порівняно висококонцентровані флюїди з NaCl; 6 – температурні інтервали кристалізації рудних мінералів, що визначені за часовими співвідношеннями з термометрично вивченими мінералами (а) та за результатами мінераграфічних досліджень (б); 7 – температурні границі виділення головних мінеральних парагенезисів: магнетит-кварцового (А), піротин-пірит-кварцового з магнетитом (В), кварц-сидеритового (з перевідкладеним магнетитом) (В), турмалін-кварцового (Г), кварц-піротин-піритового (Д), золото-арсенопірит-сфалерит-халькопірит-кварцового (Е), кварц-піритового (Ж), кварц-халькопірит-арсенопірит-сульфосольового з золотом (З), клейофан-халькопірит-кварцового (І), клейофан-галеніт-кварцового (К), кварц-анкеритового (Л), кальцит-пірит-кварцового (М), кварц-кальцитового (Н); 8 – тектонічні зсуви: а – між мінеральними комплексами, б – між мінеральними парагенезисами; 9 – дані досліджень ТЕРС піриту: а – діркова провідність, б – електронна

Процес кристалізації мінералів, які входять до складу окремих комплексів, має еволюційний характер і тільки локально ускладнений короткочасними фізико-хімічними флуктуаціями, які не можна трактувати як міжстадійні.

Щодо агрегатного стану розчинів, то кристалізація ранніх зароджень мінералів допродуктивного комплексу А здійснювалася головню з газових розчинів. Газові розчини зі зниженням температури і через зрідження в близькокритичних умовах порівняно плавно трансформувалися в гідротермальні. Зважаючи на критичні явища у включеннях, конденсація таких розчинів відбувалася в доволі вузькому температурному інтервалі 395–375 °С. Пізніші мінеральні зародження першого і мінерали наступних комплексів кристалізувалися за умов гідротермальної системи.

Натомість продуктивні парагенетичні асоціації формувалися за умов періодично киплячих (гетерогенних) гідротерм, чіткі ознаки яких повсюдно наявні в мінералах арсенопірит-пірит-кварцової із золотом і золото-сульфосольової асоціацій (сингенетичні включення

відмінні за співвідношенням фаз): двофазні з наповненням водним розчином 75–65 % і трифазні з CO_2 , які є замкнутими багатокомпонентними системами – водний розчин (рідка H_2O), водно-вуглекислотний розчин (рідкий CO_2) і газова фаза CO_2 . Зміна фазового складу включень зумовлена первинною неоднорідністю початкових мінералоутворювальних гідротерм, що їх трактують як результат гетерогенного стану системи [6, 7].

Формування парагенетичних асоціацій післяпродуктивного комплексу відбувалося за порівняно стабільних умов з гомогенних гідротермальних розчинів, які мали загалом порівняно низьку температуру.

У процесі мінералоутворення рудовмісні тріщини зазнають неодноразового привідкривання, а збільшення «робочого» об'єму неминуче супроводжується падінням тиску. Це призводить до різкого перенасичення розчинів, що в нашому випадку фіксується за включеннями з твердими фазами NaCl , які сингенетичні мінеральним зародженням золото-арсенопірит-халькопірит-кварцового парагенезису (Е). Порушення рівноваги мінералоутворювальної системи внаслідок баричних флуктуацій супроводжувалося відділенням легких компонентів, деяким зниженням температури, зміною кислотності – лужності і розпадом металоносних сполук з утворенням низки певних мінеральних парагенезисів. Роль таких порушень особливо значною була у формуванні продуктивного комплексу мінералів. Саме у кварці Па, б ми виявили родину сингенетичних включень, які відображають умови гетерогенізації водно-вуглекислотних розчинів, а також багатофазові (з NaCl), які відповідають гомогенним умовам мінералоутворення.

За включеннями гетерогенного середовища оцінено тиск, який близький до істинного, – 194,0–79,0 МПа. За включеннями, які гомогенізуються з розчиненням галіту після зникнення газової фази, визначено нижню межу ймовірного тиску в системі рудоутворення – 190,0–170,0 МПа.

Що стосується хімізму мінералоутворювальних розчинів, то різноманіття фазового складу флюїдних включень (двофазних, трифазних із CO_2 і трифазних з мінералом-в'язнем) дає змогу визначити не тільки особливості їхнього складу, а й сумарну сольову концентрацію розчинів у різні періоди формування руд родовища Балка Широка.

Мінерали допродуктивного комплексу кристалізувалися за участі головно пневматолітових і гідротермальних розчинів помірної концентрації (від 9–11 до 20–24 мас. % NaCl), які містять, вірогідно, CO_2 , про що свідчить наявність у кварці І первинно-вторинних включень, гомогенізація яких відбувається з критичними явищами за 395–375 °С. А своєрідність хімічного складу гідротермальних розчинів під час формування мінеральних асоціацій продуктивного комплексу виявилась у суттєвій ролі вуглеводнів, CO_2 і NaCl , які не властиві розчинам до- і післяпродуктивного періодів рудного процесу. Рідка фаза CO_2 наявна головно в первинно-вторинних включеннях у дрібнозернистих агрегатах кварцу Па, а хлористий натрій у вигляді кубічних кристалів – у газово-рідких включеннях середньозернистого кварцу Па. Можна припустити, що спершу водно-вуглекислотні розчини продуктивного періоду в процесі рудоутворювальної діяльності й хімічної взаємодії з бічними породами суттєво збагатилися хлористим натрієм (до 40–42 мас. % NaCl) за умови зниження ролі CO_2 внаслідок періодичного падіння тиску й дегазації системи. Післяпродуктивний комплекс мінералів формувався, імовірно, зі слабо концентрованих розчинів.

Висновки. Родовище Балка Широка – це середньобаричне (до 200 МПа) пневматолітово-гідротермальне високо-середньотемпературне родовище (> 435–200 °С) з чітким інверсійно-регресивним режимом формування. Рудогенерувальна система еволюціонувала близько-субізохорично від вуглекислотно-водно-сольової до суттєво вуглекислотно-водної (головно гетерогенної) та, насамкінець, власне водної (уже гомогенної). Родовище належить до середніх і великих глибин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобров О. Б. Корисні копалини України. Ч. 1. Золоторудні родовища Українського щита : метод. посібник. Львів : ВЦ ЛДУ, 1997. 58 с.
2. Бобров О. Б., Гурський Д. С., Сіворонов А. О., Павлунь М. М. та ін. Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України. Київ : УкрДГРІ, 2004. 468 с.
3. Коптюх Ю. М., Гостяєва Н. М., Лазаренко О. Є. та ін. Нові дані з геології та умов утворення золотопрояву Балка Широка. *Мінерал. зб.* 1995. № 48. Вип. 1. С. 115–117.
4. Калюжний В. А. Методи вивчення багатофазових включень у мінералах. Київ : Вид-во АН УРСР, 1960. 184 с.
5. Павлунь М. М. Про метаморфогенно-гідротермальну природу родовищ золоторудних формацій Українського щита. *Мінерал. журн.* 2015. Т. 37. № 3. С. 98–111.
6. Павлунь М. Деякі особливості генезису родовища Балка Широка (Український щит) за результатами термобарогеохімічних досліджень. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол.* 2021. Вип. 35. С. 3–9.
7. Павлунь М. М., Гоцанюк Г. І., Іваніна А. В. Термобарогеохімічні і пошуково-оціночні критерії золотого зруденіння родовища Балка Широка в Середньому Придніпров'ї. *Мінерал. журн.* 2022. Т. 44. № 3. С. 111–119. DOI: <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.111>.
8. Фомін Ю. О., Савченко Л. Т., Деміхов Ю. М., Петько В. М. Мінералого-геохімічні і ізотопні дослідження золотоджеспілітових руд Балки Широкої. *Мінерал. зб.* 1995. № 48. Вип. 1. С. 110–114.
9. Amagat E. H. Nouveau réseau d'isothermes de l'acide carbonique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.* 1891. Т. 113. Р. 446–451.
10. Amagat E. H. Sur la détermination de la densité de liquéfiés et de leurs vapeurs saturées. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.* 1892. Т. 114. Р. 1093–1098.

REFERENCES

1. Bobrov, O.B. (1997). Korynsni kopalyny Ukrainy. Ch. 1. Zolotorudni rodovyshcha Ukrainskoho shchyta [Minerals of Ukraine. Part 1. Gold ore deposits of the Ukrainian Shield.]. Lviv: Publishing Centre of Ivan Franko State University of Lviv [in Ukrainian].
2. Bobrov, O.B., Hurskyi, D.S., Sivoronov, A.O., & Pavlun, M.M. et al. (2004). Heoloho-henetychna typizatsiia zolotorudnykh rodovyshch Ukrainy [Geological and genetic typing of gold ore deposits of Ukraine]. Kyiv: UkrSGRI [in Ukrainian].
3. Koptiukh, Yu.M., Hostiaieva, N.M., & Lazarenko, O.Ye. et al. (1995). Novi dani z heolohii ta umov utvorennia zolotoprojavu Balka Shyroka [New data on the geology and conditions of formation of the Balka Shyroka gold manifestation]. *Mineralogical Collection.* 48 (1). P. 115–117 [in Ukrainian].
4. Kaliuzhnyi, V.A. (1960). Metody vyvchennia bahatofazovykh vkluchen u mineralakh [Methods of studying multiphase inclusions in minerals]. Kyiv: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR [in Ukrainian].
5. Pavlun, M.M. (2015). Pro metamorfohenno-hidrotermalnu pryrodu rodovyshch zolotorudnykh formatsii Ukrainskoho shchyta [On the metamorphogenic-hydrothermal nature of deposits of gold ore formations of the Ukrainian Shield]. *Mineralogical Journal.* 37 (3). P. 98–111 [in Ukrainian].
6. Pavlun, M. (2021). Deiaki osoblyvosti henezysu rodovyshcha Balka Shyroka (Ukrainskyi shchyt) za rezultatamy termobarogeokhimichnykh doslidzhen [Some features of the genesis of the Balka Shyroka deposit (Ukrainian Shield) according to thermobarogeochemical research results]. *Visnyk of the Lviv University. Series Geology.* 35. P. 3–9 [in Ukrainian].

7. Pavlun, M.M., Hotsaniuk, H.I., & Ivanina, A.V. (2022). Thermobarogeokhimichni i poshukovo-otsinochni kryterii zolotoho zrudennia rodovyshcha Balka Shyroka v Seredniomu Prydniprovi [Thermobarogeochemical and prospecting-evaluation criteria of gold mineralization of the Balka Shyroka deposit in the Middle Dnieper region]. *Mineralogical Journal*. 44 (3). P. 111–119. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.111> [in Ukrainian].
8. Fomin, Yu.O., Savchenko, L.T., Demikhov, Yu.M., & Petko, V.M. (1995). Mineralohheokhimichni i izotopni doslidzhennia zolotodzhespilitovykh rud Balky Shyrokoj [Mineralogical, geochemical and isotopic studies of gold-jaspilite ores of Balka Shyroka]. *Mineralogical Collection*. 48 (1). P. 110–114 [in Ukrainian].
9. Amagat, E.H. (1891). Nouveau réseau d'isothermes de l'acide carbonique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. 113. P. 446–451 [in French].
10. Amagat, E.H. (1892). Sur la détermination de la densité de liquéfiés et de leurs vapeurs saturées. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. 114. P. 1093–1098 [in French].

Стаття надійшла до редакції 27.05.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

THERMOBAROGEOCHEMISTRY OF ORE FORMATION PROCESSES AT THE BALKA SHYROKA GOLD ORE DEPOSIT (UKRAINIAN SHIELD)

Mykola Pavlun, Oleh Haiovskyi, Taras Svaievskyi

oleh.hayovskyi@lnu.edu.ua

Ivan Franko National University of Lviv,

4, Hrushevskoho St., Lviv, Ukraine, 79005

The article characterizes the morphology, morphometry, and phase composition of fluid inclusions in minerals of the Balka Shyroka gold deposit ores (Middle Dnieper region, Ukrainian Shield). The contrast of the main mineral parageneses and clear manifestations of the signs of their time relationships are revealed, namely the textures of intersection, replacement, brecciation, and cementation. This gave rise to the identification of a number of sequentially formed mineral associations of stable composition and their complexes, which differ significantly in terms of productivity. The most stable associations of minerals were selected and the temperature of mineral formation was determined with the help of thermobarogeochemical studies. The pre-productive complex is represented by a pyrite–quartz association (with magnetite) and includes three parageneses – magnetite–quartz (435–390 °C), pyrrhotite–pyrite–quartz with magnetite (395–320) and quartz–siderite with redeposited magnetite (280–240 °C). The productive polysulphide complex is composed of two sequential mineral associations, such as arsenopyrite–pyrite–quartz with gold (385–310 °C, 194–123 MPa) and gold–sulphosalts (290–200 °C, 93–79 MPa). The first of them covers the following parageneses: tourmaline–quartz (385–300 °C), quartz–pyrrhotite–pyrite (385–310) and gold–arsenopyrite–sphalerite–chalcopyrite–quartz (335–310 °C), the second one – quartz–pyrite (290–210 °C), quartz–chalcopyrite–arsenopyrite–sulphosalts with gold (275–210), cleiophane–chalcopyrite–quartz (245–210), cleiophane–galena–quartz (245–210) and quartz–ankerite (210–200 °C). The post-productive carbonate complex is represented by a quartz–calcite mineral assemblage, which includes calcite–pyrite–quartz (150–110 °C) and quartz–calcite (110–90 °C and below) parageneses.

A model of the staging and thermobarogeochemical regime of the Balka Shtroka deposit formation was developed on the basis of the given data. It reflects the evolution of the mineral composition of ores, aggregate state and chemical composition of solutions. It can be successfully applied during prospecting, evaluation and forecasting of gold mineralization with depth and on the flanks of the Balka Shyroka deposit.

Key words: thermobarogeochemistry, fluid inclusions, mineral association, paragenesis, gold deposit, Middle Dnieper region, Ukrainian Shield.

УДК 552.3:549(477)

УЛЬТРАОСНОВНІ ПОРОДИ ЗАХІДНО-ЛАЩІВСЬКОГО МАСИВУ (ПОБУЗЬКИЙ РУДНИЙ РАЙОН)

¹Ірина Побережська, канд. геол.-мін. наук, доцент, зав. кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського
iryana.poberezhska@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-5020-8326>

¹Наталія Білик, асистент кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського
<https://orcid.org/0000-0001-5020-8326>

¹Євгенія Сливко, канд. геол.-мін. наук, доцент кафедри екологічної та інженерної геології і гідрогеології
<https://orcid.org/0000-0002-2731-0602>

¹Валентина Бондарчук, студентка IV курсу геологічного факультету
<https://orcid.org/0009-0007-0910-8850>

¹Дмитрій Бірук, магістр I курсу геологічного факультету
¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

²Ігор Меркушин, канд. геол. наук, провідний геолог
²Виробничий кооператив «Геолог»,
вул. Іоанна Павла II, 4/6 (корпус «А»), Київ, Україна, 01042

Західно-Лашівський масив, розташований у південно-західній частині Українського щита, приурочений до Голованівської шовної зони. Він має лінзоподібну форму, північно-західне простягання q зональну будову. З погляду металогенії масив розташований в Побузькому рудному районі, спеціалізованому на Ni, Co, Fe, Cr і благородних металах. Побузька група родовищ приурочена до кори звітрування ультрабазитів капітанівсько-деренюхінського комплексу архейського віку (*AR₃kp-dr*). Тіла ультрабазитів розміром до декількох квадратних кілометрів поширені на площі близько 500 км².

Петрографічні дослідження засвідчили, що серед ультрабазитів Західно-Лашівського масиву поширені апоперидотитові (аполерцолітові, апогарцбургітові) серпентиніти, ортопіроксеніти й олівінові піроксеніти, гарцбургіти, лерцоліти, зрідка трапляються клінопіроксеніти. Апоперидотитові серпентиніти майже цілком складені серпентином (близько 99 %), містять рудні мінерали й оксиди заліза. У складі ортопіроксенітів визначено орто- і клінопіроксен, олівін, вторинний амфібол, серпентин, шпінель, рудні мінерали. В олівінових піроксенітах і гарцбургітах порівняно з ортопіроксенітами зростає вміст олівіну. В окремих випадках завдяки збільшенню в піроксенітах кількості моноклінного піроксену порівняно з ромбічним породи можна визначити як лерцоліти. Трапляються також олівінові вебстерити – піроксеніти, у яких вміст олівіну досягає 50 %.

Згідно з результатами мікроаналітичних досліджень, типові серпентиніти Західно-Лашівського масиву містять серпентин, піроксени й кальцит; рудні мінерали представлені магнетитом і хромітом.

Визначено дві генерації серпентину: антигорит і лізардит у вигляді листуватих агрегатів та волокнистий хризотил. Для магнетиту характерна зміна хімічного складу від центра до периферії зерна: вміст NiO зростає від 0,91 до 13,43 мас. %.

З ультраосновними породами пов'язана нікеленосна кора звітрювання, яка має зональну будову. Основний продуктивний горизонт кори складений нонтронітами й озалізненими нонтронітами, у яких визначено нікелевмісні нонтроніт, монтморилоніт та інші мінерали.

Ключові слова: ультраосновні породи, апоперидотитові серпентиніти, серпентин, магнетит, Західно-Лашівський масив, Побузький рудний район, Український щит.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.05>

Вступ. Західно-Лашівський масив розташований у Первомайському районі Миколаївської області, на відстані 5 км на схід від с. Довга Пристань. Геологічно він приурочений до південно-західної частини Українського щита, точніше – до Голованівської шовної зони, охоплює частину Первомайсько-Голованівського тектонічного блока другого порядку.

Тіла базит-ультрабазитів розміром до декількох квадратних кілометрів сконцентровані в межах Пушківського блока третього порядку в зоні Капітанівського глибинного розлому на площі близько 500 км². Ультрабазити належать до капітанівсько-деренюхінського комплексу верхнього архею (*v-uAR₃kp-dr*). З погляду металогенії досліджувана ділянка розташована в Побузькому рудному районі, який спеціалізований на нікелі, кобальті, залізі, хромі та благородних металах. Побузька група родовищ (Деренюхське, Капітанівське, Липовеньківське, Східнолиповеньківське, Пушківське, Грушківське, Тарнаватське та ін. [1]) приурочена до кори звітрювання архейських ультрабазитів.

Перші відомості про нікеленосність Побузького рудного району з'явилися на початку 1950-х років. А ультраосновні породи і пов'язану з ними нікеленосну кору звітрювання на Західно-Лашівській ділянці вперше виявили геологи експедиції № 46 КП «Кіровгеологія» у 1990–1991 рр. під час розшукових робіт щодо золота. За низкою дрібних масивів гіпербазитів (найбільші з них – Лашівський і Західно-Лашівський), зонами сульфідизації та графітизації було простежено зону Капітанівського розлому. Пізніше провадили геологічну розвідку Західнолашівського родовища силікатного нікелю та розшуково-оцінні роботи на інших ділянках Деренюхінсько-Липовеньківської зони (П. Корнієнко, М. Виходцев та ін., Київ, 2009). Також виконано попередню геолого-економічну оцінку запасів силікатних кобальт-нікелевих руд Західно-Лашівської ділянки (С. Кирилов та ін., Дніпропетровськ, 2014). Протягом 2022–2023 рр. у рамках детальної геолого-економічної оцінки цієї ділянки дослідження речовинного складу ультрабазитів провадили співробітники виробничого кооперативу «Геолог» (м. Київ) і фахівці кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського ЛНУ імені Івана Франка. Такі роботи сприяють глибшому розумінню геологічної будови регіону, адже досліджувані гірські породи можуть містити значні запаси силікатних кобальт-нікелевих руд.

Мета роботи – вивчити структурно-текстурні особливості й мінеральний склад ультраосновних порід Західно-Лашівського масиву як потенційних носіїв силікатного кобальт-нікелевого зруденіння.

Методи досліджень. Для досягнення мети вивчено геологічну будову району, проведено макро- й мікроскопічні дослідження порід і мінералів. Силікатний аналіз порід виконано в Центральній лабораторії ДП «Українська геологічна компанія». Мікрозондові дослідження аншліфів ультраосновних порід виконано в лабораторії фізичного факультету ЛНУ імені Івана Франка за допомогою растрового (сканувального) електронного мікроскопа РЕММА-102-02 (Суми, Україна), обладнаного енергодисперсійним аналізатором EDAR.

Загальні риси геологічної будови. У геологічній будові району беруть участь насамперед гранітоїди побузького комплексу (PR_{pb}) (рис. 1). Це гнейсоподібні граніти й лейкократові гранітогнейси з біотитом і/або гранатом; лейкократові граніти та гранітогнейси з біотитом і/або ортопіроксеном, гранатом, кордієритом; чарнокітоїди (чарнокіти, чарноендербіти, ендербіти), часто лейкократові; плагіограніти з ортопіроксеном, подекуди з гранатом; пегматоїдні граніти й пегматити. Серед них наявні метаморфічні утворення бузької серії (AR_{bg}): піроксенові, амфібол- і гранат-піроксенові, амфібол-біотитові кристалосланці та плагіогнейси, глиноземисті й високоглиноземисті, часто з графітом плагіогнейси і гнейси, а також амфіболіти, кальцифіри й залізисті кварцити. Рідше трапляються різного розміру й форми тіла метаморфічних порід дністровсько-бузької серії (AR_{db}). Вони складені піроксеновими й амфібол-піроксеновими, гранат- і магнетит-піроксеновими кристалосланцями та плагіогнейсами, а також гранат-біотитовими, часто з піроксеном і/або кордієритом плагіогнейсами.

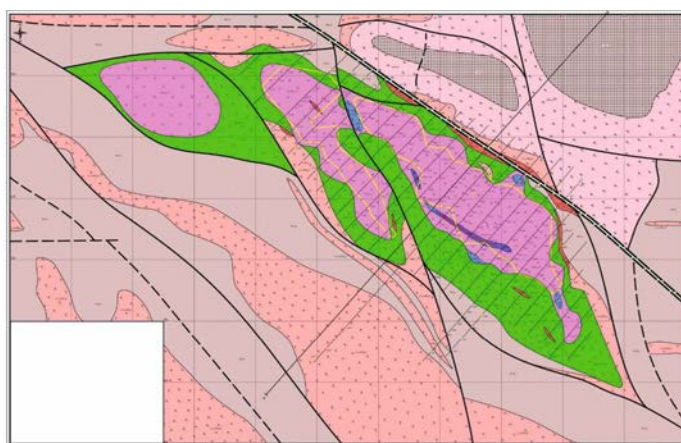


Рис. 1. Геологічна карта Західно-Лачівського масиву [2]

Західно-Лашівський масив серпентинізованих перидотитів і апогаброїдних амфіболітів, які належать до капітанівсько-деренюхінського комплексу, розташований у центральній частині досліджуваної ділянки. Разом із кількома меншими за розміром тілами ультрабазитів масив є частиною ланцюжка подібних за генезисом і складом інтрузій (протрузій), просторово й генетично пов'язаних із Капітанівським розломом.

Загалом Західно-Лашівський масив має лінзоподібну форму, ускладнену ортогональною мережею розривних порушень різного порядку. Тіло магматичних порід основного-ультраосновного складу має північно-західне простягання (азимут простягання – 310–325°), максимальний розмір досягає 1660 × 500 м. Загальна структура масиву за формою в плані нагадує фрагмент вертикальної (кулісної) складки з редукованими «крилами». Її ядерна частина ускладнена субвертикальним розривним порушенням складної скидово-зсувної природи. Східна частина масиву завширшки 100–320 м витягнута згідно із загальним структурним планом (азимут 315°) на відстань близько 1 км. Західна частина завдовжки близько 660 м і завширшки 70–200 м орієнтована субпаралельно до східної (азимут 325°). Отже, лінійні розміри та просторова орієнтація частин масиву узгоджені з системою крутоспадних дугоподібних розривних порушень. На північному сході масив обмежений зоною Капітанівського глибинного розлому, який виявлений інтенсивною гранітизацією й мігматизацією вмісних порід, окварцюванням, графітизацією, сульфідизацією (П. Корнієнко та ін., 2009).

Масив має зональну будову: його центральна частина складена апоперидотитовими й іншими серпентинітами з реліктами вихідних порід, які по периметру облямовані смугою апогаброїдних амфіболітів завширшки до 150 м. Релікти перидотитів і піроксенітів розкрито розвідувальними свердловинами здебільшого поблизу західного контакту амфіболітів і серпентинітів.

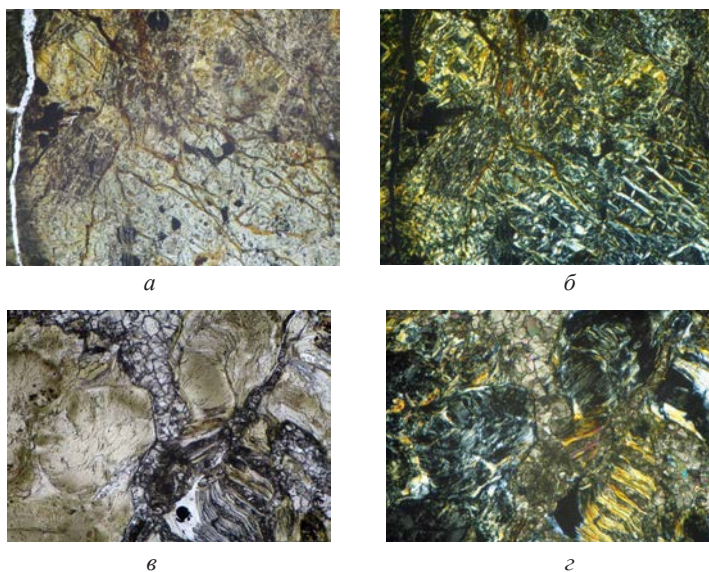
На породах кристалічного фундаменту майже повсюдно розвинута кора звітрування потужністю до 50–80 м. У південній частині території вона в багатьох місцях майже цілком розмита. З досліджуваними ультраосновними породами пов'язана нікеленосна кора звітрування, середня потужність якої становить 21,9 м. У її будові виявлено вертикальну зональність (зверху донизу): 1) бурі залізняки й вохри; 2) нонтроніти й озалізені нонтроніти; 3) нонтронітизовані серпентиніти; 4) карбонатизовані серпентиніти. Основний продуктивний (нікелевмісний) горизонт складений нонтронітами й озалізненими нонтронітами, у складі яких виявлено нікелевмісні нонтроніт, монтморилоніт та інші мінерали. Власне із цим горизонтом пов'язані основні промислові руди як Західно-Лашівської ділянки, так і Побузкої групи родовищ силікатного нікелю загалом. За даними геологорозвідувальних робіт, по біотиту тріщинуватих зон із крутим падінням серед серпентинітів сформувалися ділянки хлоритизації, у яких зафіксовано найвищі концентрації нікелю – 2 % і більше. Уважають, що це зумовлено адсорбцією хлоритами нікелю з розчинів у процесі короутворення.

Результати досліджень. Породи Західно-Лашівського масиву представлені апоперидотитовими (аполерцолітовими, апогарцбургітовими) серпентинітами, серпентинізованими ультрабазитами, ортопіроксенітами й олівіновими піроксенітами, гарцбургітами, лерцолітами, зрідка трапляються клінопіроксеніти.

Апоперидотитові (аполерцолітові, апогарцбургітові) серпентиніти майже на 99 % складені серпентином, наявні також рудні мінерали й оксиди заліза (рис. 2, 3). Структура породи петельчата. Серпентин має різне забарвлення – жовте, матове сіро-зелене, блідо-жовтувато-зелене, зрідка безбарвний. Він утворює округлі, видовжено-призматичні, волокнисті, петельчасті агрегати. Інколи під мікроскопом видно слиноподібні агрегати серпентинового складу, що свідчить про існування принаймні двох генерацій серпентину. За результатами досліджень серпентинітів у шліфах, де є ознаки габітусу реліктових ізометричних і видовжено-призматичних кристалів, виповнених серпентином, можна припустити, що первинна порода була складена олівіном і піроксенами (отже, це був перидотит).



Рис. 2. Апоперидотитовий серпентиніт

Рис. 3. Апоперидотитовий серпентиніт під мікроскопом, $\times 30$:
а, в – без аналізатора; б, г – з аналізатором

В асоціації з серпентином наявні видовжено-призматичні й голчасті виділення вторинних амфіболів, окремі округлі та ксеноморфні зерна рудних мінералів – хроміту і хромшпінелідів та видовжені, звивисті утворення оксидів заліза.

Серпентинізовані ультрабазити складені серпентином, олівіном, піроксеном, шпінеллю, вторинним амфіболом, вторинним біотитом, карбонатами й рудними мінералами. Первинні мінерали – олівін і піроксен – представлені реліктовими зернами розміром до 1,0 мм (рис. 4). Первинна структура породи – гіпідіомофнозерниста. Основна маса складена бурувато-зеленим серпентином декількох генерацій, хлоритом, вторинним біотитом і карбонатом (головно кальцитом). Значно рідше трапляються вторинний амфібол (звичай тремоліт), шпінель і рудні мінерали. Часто інтенсивні вторинні зміни призводять до формування характерних тальк-серпентинових порід.

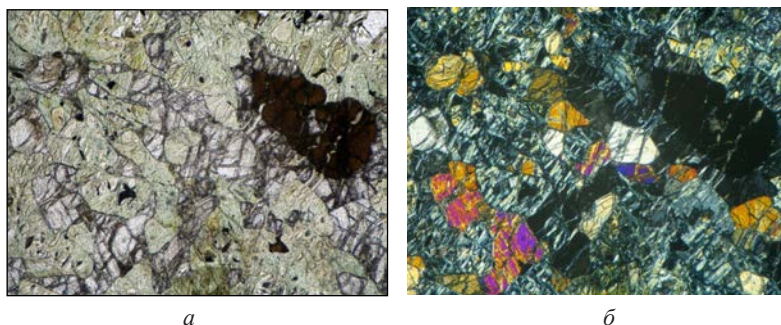


Рис. 4. Серпентинізований ультрабазит під мікроскопом, $\times 30$:
a – без аналізатора; *б* – з аналізатором

У складі *ортопіроксенітів* виявлено ромбічний і моноклінний піроксени, олівін, вторинний амфібол, серпентин, шпінель, рудні мінерали (дрібні виділення піриту й, вірогідно, хроміту) (рис. 5, 6). З первинних мінералів найбільше поширений ромбічний піроксен у вигляді порівняно великих (1–2 мм) призматичних чи таблитчастих зерен, менше поширені призматичні зерна клінопіроксену розміром 0,30–0,52 мм. Вторинний амфібол представлений призматичними зернами розміром до 1,0 мм. Олівін, який простежено у вигляді субмікретричних зерен і агрегатів розміром близько 1,0 мм, часто майже цілком заміщений серпентином. Шпінель формує округлі темно-бурі, коричневі до чорних індивіди розміром від 0,6 до 0,9 мм.



Рис. 5. Амфіболізований ортопіроксеніт

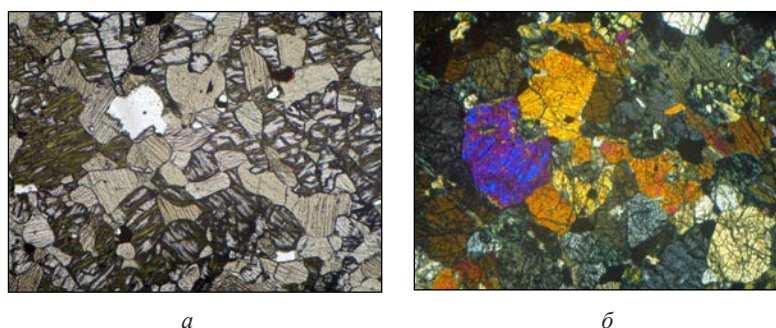


Рис. 6. Амфіболізований ортопіроксеніт під мікроскопом, $\times 30$:
a, в – без аналізатора; *б, г* – з аналізатором

Олівінові піроксеніти й *гарцбургіти* містять більшу кількість олівіну, порівняно з ортопіроксенітами. Подекуди у взірцях порід кількість олівіну досягає 60 %, тому їх можна класифікувати як гарцбургіти (рис. 7).



Рис. 7. Гарцбургіт

Склад гарцбургітів такий: олівін, ромбічний і моноклінний піроксени, вторинний амфібол (часто актиноліт), серпентин, шпінель, рудний мінерал, вторинний карбонат (кальцит), зрідка хлорит. Олівін у породі наявний у вигляді ізометричних зерен розміром 0,4–1,6 мм та округлих агрегатів, у яких він різною мірою заміщений серпентином, деколи в асоціації з рудними мінералами (рис. 8). Ортопіроксен формує великі (від 1 до > 2 мм) призматичні зерна, а кількісно підпорядкований клінопіроксен – менші за розміром (до 0,6 мм) гіпідіоморфнозернисті індивіди короткопризматичного обрису, які часто розвинуті по зернах ортопіроксену.

Вторинні амфіболи разом із серпентином і подекуди хлоритом часто виповнюють дрібні тріщини або формують субізометричні агрегати розміром до 1,0 мм; вони заповнюють міжзерновий простір, імовірно, псевдоморфно заміщуючи олівін. Шпінель у вигляді дрібних (максимум до 0,9 мм) індивідів розвинута по великих зернах ромбічного піроксену й асоціює з вторинним амфіболом та, вірогідно, хромітом.

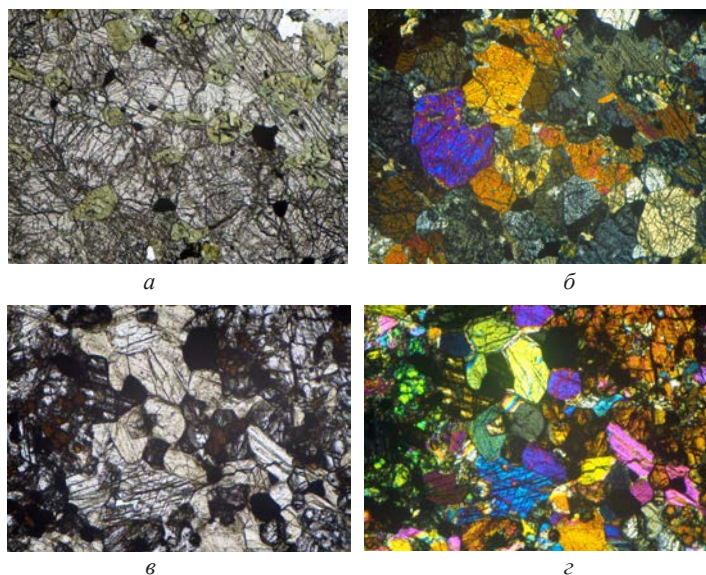


Рис. 8. Гарцбургіт під мікроскопом, $\times 30$:
а, в – без аналізатора; б, г – з аналізатором

В окремих випадках у піроксенітах зростає вміст клінопіроксену (порівняно з ортопіроксеном), що дає змогу класифікувати породи як *лерцоліти*. Якщо на додаток до цього ще збільшується до 50 % кількість олівіну, то породи можна назвати *олівіновими вебстеритами* (рис. 9).

Трапляються випадки, коли в одному взірці породи є різні за мінеральним складом ділянки: з різким переважанням ортопіроксену, або з переважанням моноклінного піроксену, або суттєво олівінові ділянки. Тобто вміст цих мінералів варіює у різних співвідношеннях. Крім них, у такій породі є рудні мінерали (імовірно, хроміт, гематит, магнетит, пірит), актиноліт, плагіоклаз, кварц. Породи мають темне, часто із зеленкуватим відтінком забарвлення та гіпідіоморфнозернисту, різнозернисту структуру. Олівін утворює великі (до 3 мм) ізометричні зерна. Ортопіроксен представлений призматичними й видовжено-призматичними зернами розміром до > 2 мм, клінопіроксен – такої самої форми кристали розміром від 1 до > 2 мм. Розмір зерен рудних мінералів – від 0,4 до > 2,0 мм, а плагіоклазу і кварцу – до 0,5 мм.

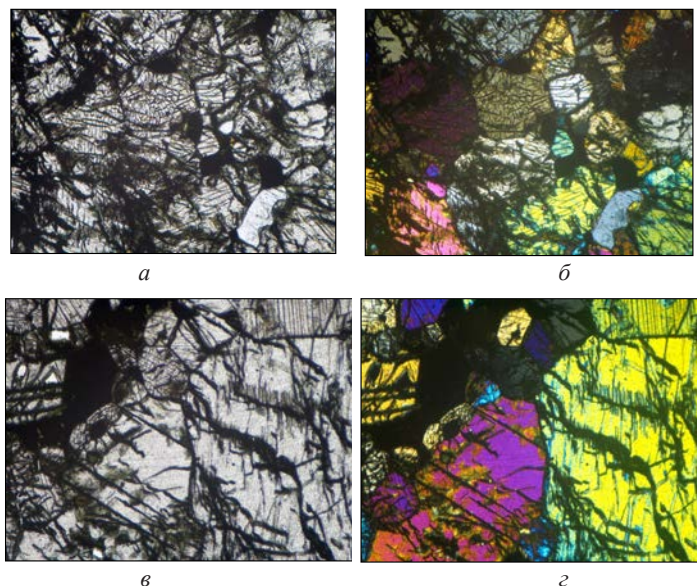
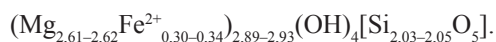


Рис. 9. Лерцоліт–олівіновий вебстерит під мікроскопом, $\times 30$:
а, в – без аналізатора; б, г – з аналізатором

Хімічний склад ультрабазитів Західно-Лашівського масиву наведено в табл. 1. На класифікаційній діаграмі в координатах $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ фігуративні точки олівінових піроксенітів потрапляють у поле піроксенітів – горнблендитів, гарцбургіту – у поле пікритів – перидотитів, а серпентинітів – у поле апоперидотитових серпентинітів.

Результати мікрозондового аналізу засвідчили наявність у типових серпентинітах Західно-Лашівського масиву серпентину, кальциту, магнетиту і хроміту. *Серпентин* представлений двома генераціями: спочатку по первинних глибинних високотемпературних фемічних мінералах – олівіну й орто- і клінопіроксену – формувалися листуваті агрегати антигориту та лізардиту. Пізніше відбулася вторинна серпентинизація вже серпентинізованих ультраосновних порід, і утворилися волокнисті агрегати хризотилу. З результатів мікроаналітичних досліджень серпентину (табл. 2) впливає така його кристалохімічна формула:



Таблиця 1

Хімічний склад ультраосновних порід Західно-Лашівського масиву, мас. %

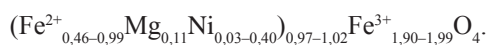
Компоненти	Порода і номер проби				
	Олівіновий ортопіроксеніт		Гарібургіт	Аноперидотитовий серпентиніт	
	1/44,3	2/42,0	2/45,5	3/45,7	9/23,0
SiO ₂	45,86	45,70	41,68	41,08	40,78
TiO ₂	0,570	0,590	0,340	0,085	0,190
Al ₂ O ₃	6,92	6,60	3,70	1,62	2,52
Fe ₂ O ₃	4,46	7,24	9,92	6,74	6,24
FeO	6,20	6,22	7,97	1,34	2,05
MnO	0,90	0,20	0,22	0,08	0,13
MgO	20,91	22,55	21,04	34,47	32,92
CaO	4,94	5,28	4,58	0,23	0,36
Na ₂ O	0,65	0,55	0,45	0,50	0,46
K ₂ O	0,220	0,130	0,090	0,130	0,089
SO ₃ заг.	3,32	2,18	2,89	< 0,01	< 0,01
S сульфід	1,37	0,88	1,16		
Впп	6,49	3,63	8,40	13,34	13,81
Сума	101,51	100,92	101,30	99,67	99,56
-H ₂ O	2,14	0,64	2,02	1,52	1,86

Таблиця 2

Хімічний склад (мас. %) та формульні коефіцієнти серпентину

Компоненти	Номер проби		
	4	6	8
SiO ₂	38,75	37,35	31,35
FeO	6,77	6,94	6,27
MgO	33,39	32,2	26,13
Сума	78,91	75,39	63,75
Формульні коефіцієнти			
Fe ²⁺	0,30	0,32	0,34
Mg	2,62	2,61	2,55
Сума	2,92	2,93	2,89
Si	2,04	2,03	2,05

Магнетит у породі формує як суцільні щільні виділення розміром понад 1 мм, так і поодинокі ізометричні зерна розміром 0,1–0,3 мм (рис. 10, 11). За результатами мікрозондового аналізу хімічний склад магнетиту такий, мас. %: SiO₂ – 2,41; Fe₂O₃ – 67,52–68,32; FeO – 14,65–30,77; MgO – 1,99; NiO – 0,91–13,43. Зафіксовано зміну хімічного складу мінералу від центральної частини зерна до його периферії (див. рис. 11, точки 1 і 2): центральна частина містить 0,91, а периферійна – 13,43 мас. % NiO. Кристалохімічна формула магнетиту така:



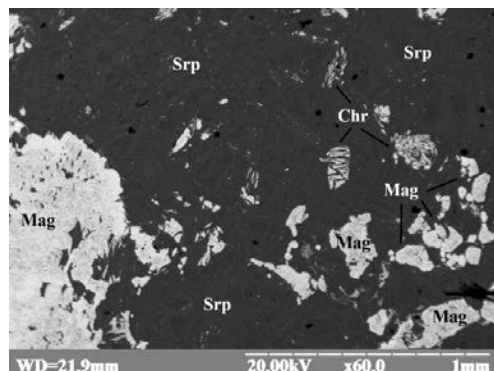


Рис. 10. Магнетит (Mag) і хроміт (Chr) у щільній серпентиновій масі. BSE-зображення

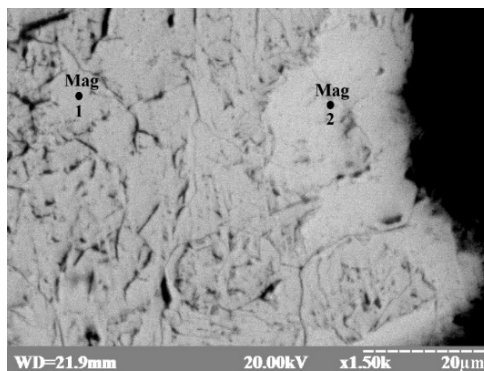


Рис. 11. Зональне зерно магнетиту (Mag). BSE-зображення

Хроміт представлений ізометричними зернами розміром 0,1–0,3 мм. Вони розбиті системою тріщин, по яких розвинутий серпентин (див. рис. 10). За результатами мікронзондового аналізу хроміту (TiO_2 – 1,05; Al_2O_3 – 5,12; Cr_2O_3 – 53,23; FeO – 38,11; MgO – 13,26 мас. %) обчислено його кристалохімічну формулу: $(\text{Fe}^{2+}_{0,67}\text{Mg}_{0,23})_{0,90}(\text{Cr}_{1,86}\text{Al}_{0,18})_{2,04}\text{O}_4$.

Висновки. Аналіз геологічної будови району досліджень засвідчив, що Західно-Лащівський масив має зональну будову: у центральній частині наявні головно апоперидитові серпентиніти з реліктами вихідних порід, а периферія складена апогабродітними амфіболітами. Серед ультрабазитів, які належать до капітанівсько-деренюхінського комплексу верхнього архею, визначено серпентинізовані ультрабазити, апоперидитові серпентиніти, орто- і клінопіроксеніти, олівінові піроксеніти, олівінові вебстерити, гарцбургіти, лерцоліти. Досліджено хімічний склад серпентинітів, олівінових піроксенітів і гарцбургітів.

Детально вивчено такі мінерали ультрабазитів, як серпентин, магнетит і хроміт. Зокрема, визначено дві генерації серпентину: рання (листуваті агрегати антигориту й лїзардиту) сформована по олівіну, орто- і клінопіроксену, а пізня (волокнистий хризотил) – по вже серпентинізованих ультраосновних породах. Зафіксовано зональну будову окремих зерен магнетиту: зональність виявлена у збільшенні вмісту NiO від центра (0,91 мас. %) до периферії (13,43 мас. %).

Дослідження мінерального складу ультраосновних порід Західно-Лащівського масиву тільки розпочалися, проте вони мають важливе значення, оскільки сприяють глибшому розумінню геологічної будови району. Масив розташований у Побузькому рудному районі, спеціалізованому на Ni , Co , Fe , Cr і благородних металах. Нікеленосна кора звігрювання пов'язана власне з досліджуваними ультраосновними породами. Геологи дійшли висновку, що в майбутньому вони можуть слугувати базою приросту запасів силікатних кобальт-нікелевих руд у межах південно-східного та західного флангів Західно-Лащівської ділянки. Ці території вважають інвестиційно привабливими, тому вони потребують подальшого вивчення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мінеральні ресурси України : щорічник. Київ : ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2014. 270 с.
2. Клочков В. М., Білінська Я. П., Веклич Ю. М. та ін. Державна геологічна карта України. М-б 1:200 000. Центральноросійська серія. Аркуш М-36-XXXI (Первомайськ) з пояснювальною запискою. Київ : Міністерство екології та прир. ресурсів України, Держ. геол. служба, УкрДГРІ, 2004. 174 с.

REFERENCES

1. Mineralny resursy Ukrainy: shchorichnyk (2014). [Mineral resources of Ukraine: Yearbook]. Kyiv: State Scientific and Production Enterprise "State Information Geological Fund of Ukraine" [in Ukrainian].
2. Klochkov, V. M., Bilynska, Ya. P., & Veklych, Yu. M., et al. (2004). Derzhavna heolohichna karta Ukrainy. M-b 1 : 200 000. Tsentralnoukrainska seriia. Arkush M-36-XXXI (Pervomaisk) z poiasniuvalnoiu zapyskoiu [State geological map of Ukraine. Scale 1 : 200,000. Central Ukrainian series. Sheet M-36-XXXI (Pervomaisk) with an explanatory note]. Kyiv: Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, State Geological Service, Ukrainian State Geological Exploration Institute. [in Ukrainian]

Стаття надійшла до редакції 13.05.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

ULTRABASIC ROCKS OF THE ZAKHIDNO-LASHCHIVSKYI MASSIF (POBUZKYI ORE DISTRICT)

**Iryna Poberezhska¹, Nataliia Bilyk¹, Yevheniia Slyvko¹,
Valentyna Bondarchuk¹, Dmytrii Biruk¹, Ihor Merkushev²**
iryna.poberezhska@lnu.edu.ua

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

²*Production Cooperative "Geologist",
4/6 (building A), Jan Pawel II St., Kyiv, Ukraine, 01042*

The Zakhidno-Lashchivskiyi massif, located in the southwestern part of the Ukrainian shield, is confined to the Holovanivska suture zone. It has a lenticular shape, north-western strike and zonal structure. From the point of view of metallogeny, the massif is located in the Pobuzkyi ore district, specialized in Ni, Co, Fe, Cr and precious metals. The Pobuzka group of deposits is confined to the crust of weathering of ultrabasic rocks of the Kapitanivsko-Dereniukhinskyi complex which is Archaean in age (AR_3kp-dr). Ultrabasic rock bodies up to several square kilometres in size are spread over an area of about 500 km².

Petrographic studies have shown that apoperidotite (apolherzolite, apoharzburgite) serpentinites, serpentinitized ultrabasic rocks, orthopyroxenites and olivine pyroxenites, harzburgites, and lherzolites are common among the rocks of the Zakhidno-Lashchivskiyi massif, and clinopyroxenites occur occasionally. Apoperidotite serpentinites are almost entirely composed of serpentine (about 99 %), contain also ore minerals and iron oxides. Ortho- and clinopyroxene, olivine, secondary amphibole, serpentine, spinel, and ore minerals are determined in orthopyroxenites. The olivine content increases in olivine pyroxenites and harzburgites, compared to orthopyroxenites. In some cases, due to the increase in the amount of monoclinic pyroxene in pyroxenites, compared to rhombic pyroxene, rocks can be identified as lherzolites. There are also olivine websterites – pyroxenites, in which the olivine content reaches 50 %.

According to the results of microanalytical studies, typical serpentinites of the Zakhidno-Lashchivskiyi massif contain serpentine, pyroxenes, and calcite; ore minerals are represented by magnetite and chromite. Two generations of serpentine have been identified: antigorite and lizardite in the form of foliated aggregates and fibrous chrysotile. Magnetite is characterized by a change in its chemical composition from the centre to the periphery of the grain: the NiO content increases from 0.91 to 13.43 wt. %.

The nickel-bearing crust of weathering, which has a zonal structure, is associated with the ultrabasic rocks. The main productive horizon of the crust is composed of nontronites and ferruginized nontronites, in which nickel-bearing nontronite, montmorillonite, and other minerals have been identified.

Key words: ultrabasic rocks, apoperidotite serpentinites, serpentine, magnetite, Zakhidno-Lashchivskiyi massif, Pobuzkyi ore district, Ukrainian shield.

УДК 553.3:550.8(477.73)

РУДОНОСНІСТЬ НОВОВИСУНЬСЬКОЇ ДІЛЯНКИ

Юлія Крошко, канд. геол. наук,
старший науковий співробітник відділу літології
ykrsh.79@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-7601-7760>
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57224881975>

Мирон Ковальчук, д-р геол. наук, проф., зав. відділу літології
kms1964@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0001-9265-9707>
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56358899000>
Інститут геологічних наук НАН України,
вул. Олесья Гончара, 55б, Київ, Україна, 01601

Подано відомості про геологічну будову та рудоносність Нововисуньської ділянки, яка розташована в межах західної частини Західно-Інгулецької міжблокової зони поблизу села Нова Висунь Баштанського району Миколаївської області. Нововисуньська ділянка приурочена до однойменного масиву порід кристалічного фундаменту. Рудоносність ділянки представлена покладами ільменіту, апатиту, циркону і вермикуліту в різних петротипах порід кристалічного фундаменту, їх корах вивітрювання і глинистих відкладах нижнього-верхнього пліоцену морського генезису. На підставі даних виробничих геологічних звітів створено цільову базу даних (координати, опис і результати опробування свердловин на ільменіт, апатит, циркон), на основі якої були здійснені картографічні побудови. Досліджено структурні (рельєф підшоши й поверхні, товщину) та речовинні (латеральний і вертикальний розподіл вмістів ільменіту, апатиту, циркону) параметри рудоносних порід кристалічного фундаменту, кори вивітрювання та червоно-бурих глин нижнього-верхнього пліоцену. З'ясовано напрям і силу кореляційних зв'язків між мінералами та структурними параметрами рудовмісних порід.

Досліджено розподіл вмісту ільменіту, апатиту й циркону у вертикальному перетині свердловин, що розкрили кору вивітрювання кристалічних порід різних петротипів (горнблендитів, габро-монцонітів, піроксенітів, порфірових гранітів), і встановлено напрям і силу кореляційних зв'язків вмісту цих мінералів. Встановлено, що кореляційні зв'язки між структурними параметрами в породах кристалічного фундаменту, кори вивітрювання й червоно-бурих глин неогену прямі і здебільшого сильні, натомість між мінералами в досліджених породах наявні кореляційні зв'язки різного напрямку та сили. За результатами досліджень, з'ясовано, що головними мінералами, які становлять практичний інтерес, є ільменіт та апатит в монтморилоніт-гідрослюдистій зоні кори вивітрювання кристалічних порід фундаменту основного й ультраосновного складу. Результати досліджень указують, що Нововисуньська ділянка після дорозвідки може представляти інтерес як об'єкт другої черги експлуатації. Отримані результати можуть слугувати основою для оцінки рудоносного потенціалу подібних геологічних об'єктів з акцентом на рудоносність монтморилоніт-гідрослюдистої зони кори вивітрювання.

Ключові слова: Західно-Інгулецька міжблокова зона, Нововисуньська ділянка, рудоносність, кристалічні породи фундаменту, кора вивітрювання, глини неогену, ільменіт, апатит, циркон.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.06>

© Крошко Юлія, Ковальчук Мирон, 2024

Вступ. Титанові руди належать до стратегічної мінеральної сировини, яка відіграє важливу роль як в економіці, так і обороноздатності України [5]. Необхідність інтенсивного розвитку сировинної бази руд титану зумовлена загальносвітовими тенденціями підвищення попиту на титанову сировину та потребами внутрішнього ринку для різних галузей промисловості, зокрема оборонної, авіакосмічної, хімічної, харчової, паперової, чорної та кольорової металургії тощо. Україна входить до десятки провідних країн світу за обсягами розвіданих запасів руд титану та забезпечує понад 6 % їх світового видобутку [2]. В Україні створено потужну сировинну базу титану, зокрема розвідано й підготовлено до розвідки родовища титанових руд із запасами та ресурсами, які перевищують сумарні запаси титану всіх інших країн світу. Це корінні апатит-ільменітові родовища, родовища ільменіту в корі вивітрювання, розсіпні родовища [1]. Згідно зі звітом консалтингової компанії EY, в Україні виявлено 78 родовищ титану різного рівня вивченості, тоді як відповідно до інвестиційного атласу надрокористувача мінерально-сировинна база титану в Україні представлена 27 родовищами титану, серед яких одне унікальне, 13 великих і 10 середніх родовищ, і понад 30 рудопроявів різного ступеня вивченості [2, 7]. Наразі видобуток руд титану в Україні ведеться лише з розсіпних покладів, що становлять близько 10 % усіх розвіданих запасів. Незважаючи на бойові дії, українські титанові активи залишаються привабливим об'єктом для інвестування, а сам титан може бути одним з елементів фундаменту для повного відновлення України [7]. У зв'язку із цим науковцями відділу літології Інституту геологічних наук НАН України активно проводяться дослідження рудоносності титанових рудопроявів і родовищ у корах звітрювання та розсіпах із розробкою цифрових структурно-літологічних моделей об'єктів [3, 6]. Слід зазначити, що кори вивітрювання, як самостійні родовища титанових мінералів, достатньо добре розвідані виробничими геологічними організаціями та являють собою значний ресурс мінерально-сировинної бази титану. Серед титанових родовищ кір вивітрювання кристалічних порід основного-ультраосновного складу доцільно виокремити такі об'єкти, як Стремигородське, Торчинське, Кропивнянське, Давидківське, Валки-Гацківське, Межирічне, Лемненське, Бірзулівське та ін. [4]. Під час розробки розсіпних титанових родовищ до продуктивного пласта іноді зараховується верхня каолінітова зона кори звітрювання, яка містить титанові мінерали в промислових концентраціях [3, 6]. Інші зони кори звітрювання здебільшого не розробляються і як продуктивні не розглядаються. Разом із тим подекуди зона початкового гідролізу (каолініт-гідрослюдиста, монтморилоніт-гідрослюдиста) кори звітрювання кристалічних порід фундаменту основного й ультраосновного складу містить промислові вмісти титанових та інших промислово-цінних мінералів. До таких об'єктів належить Нововисуньська ділянка.

Мета досліджень – дослідити просторовий розподіл ільменіту, апатиту, циркону в кристалічних породах фундаменту, монтморилоніт-гідрослюдистій зоні їх кори звітрювання та червоно-бурих глинах неогену в межах Нововисуньської ділянки.

Методи досліджень. Методико-методологічною основою досліджень були напрацювання відділу літології Інституту геологічних наук НАН України зі структурно-літологічного моделювання золототомісних, монацитових, ільменітових, апатит-ільменітових і циркон-ільменітових рудопроявів і родовищ у корах звітрювання та розсіпах Українського щита та його схилів, оприлюднені на наукових конференціях різного рівня, у наукових статтях і колективних монографіях [3, 6]. Фактичним матеріалом для досліджень рудоносності Нововисуньської ділянки були виробничі звіти (Федюшин С. Є. Звіт про геологічну зйомку масштабу 1 : 50 000 планшетів М-36-138-Б, 139-А (південна частина), Б (західна частина), Л-36-6-Б, Г в 1965-1971 рр.; Єфіменко Є. М. Пошуки апатиту в межах Казанківської зони розломів. Кривий Ріг. 1987 р.; Змієвський Г. Є., Бутирін В. К., Лазуткін О. Г. Звіт про великомасштабне глибинне геологічне картування аркушів Л-36-6-Б, Г,

масштабу 1 : 50 000, виконаного геологічним загоном № 1 комплексної геологічної партії в 1979–1982 роках. Кривий Ріг. 1982 р.).

Для картографічного моделювання структури (гіпсометрії покрівлі й підшови рудоносних відкладів та їх товщини) і якісних показників (розподіл вмісту ільменіту за латераллю і у вертикальному перетині свердловин) рудоносних порід було створено цільову базу даних, яка містить координати свердловин, їх опис, результати опробування. Картографічні побудови здійснено з використанням ГІС-технологій у програмних забезпеченнях Golden Software Strater, Golden Software Surfer. Для побудови карт латерального розподілу ільменітоносності відкладів використовувався його середній вміст у свердловині. Кореляційні зв'язки досліджувалися в Microsoft Excell.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Нововисунський прояв ільменіту й апатиту, вермікуліту виявлено під час геологозйомочних робіт під керівництвом С. Є. Федюшина в 1971 р. На стадії геологознімальних робіт, які були здійснені під керівництвом С. Є. Федюшина (1971 р.) і Г. Є. Змієвського та ін. (1982 р.) Нововисунський масив, у межах якого розташована однойменна рудоносна ділянка, визначено як крупний останець порід конксько-верхівцевської серії, що зазнав двох етапів ультраметаморфізму. Апатитоносність та ільменітоносність Нововисунської ділянки була встановлена в різні роки під час проведення глибинного геологічного картування. Під час проведення крупномасштабного геолого-геологічного картування (Г. Є. Змієвський та ін., 1982 р.) на Нововисунській вермікулітвмісній (вміст вермікуліту в корі звітрювання – 8,1–12,1 %) ділянці, яка пов'язана з корою вивітрювання ультрабазитів, були встановлені промислові вмісти апатиту й ільменіту, але закономірностей розподілу апатиту на глибину в незмінених породах встановлено не було. Авторами звіту було зазначено, що в разі комплексної розробки родовища вермікуліт можна видобувати як одну зі складових корисної копалини. Згодом, у 1987 р. під час пошуку апатиту в межах Казанківської зони розламів під керівництвом С. М. Ефименко було підтверджено апатитоносність Нововисунської ділянки. За результатами цих робіт встановлено, що рудоносність ділянки пов'язана головню з мафітами й ультрамафітами та їх корама звітрювання. За результатами робіт встановлено три рудні тіла; уточнено їх контури; виокремлено два типи руд: апатит-ільменітовий та апатит-ільменіт-магнетитовий; підраховано для кожного рудного тіла прогнозні ресурси P_2O_5 та TiO_2 за категоріями P_1 , P_2 , P_3 .

Вклад основного матеріалу. Нововисунська ділянка розташована в Баштанському районі Миколаївської області за 1,2 км на південь від с. Нова Висунь. У структурно-тектонічному відношенні ділянка розташована в західній частині Західно-Інгулецької міжблокової зони.

У геологічній будові району робіт беруть участь метаморфізовані вулканогенно-осадкові відклади інгуло-інгулецької серії та інтрузивні й ультраметаморфічні утворення палеопротерозою, що перекриті породами осадового чохла кайнозою. У петрографічному відношенні переважають піроксеніти амфіболітизовані; горнblendити; габро; габро амфіболітизовані кварцові, габро-монцоніти. Усі породи пов'язані між собою поступовими переходами. Незначне локальне поширення мають гранітоїди (аплітоїдні граніти, діорити). Контакт гранітоїдних порід із базитами й ультрабазитами здебільшого чіткий, різкий, часто виповнений жилами аплітоїдних гранітів.

Особливістю геологічної будови Нововисунської ділянки є практично вертикальне штокопоподібне залягання інтрузивних тіл основних та ультраосновних порід і більш-менш рівномірний розподіл ільменіту й апатиту в породах.

Рудні мінерали представлені ільменітом (3–25 %) титаномagnetитом, magnetитом, піритом (по площинах тріщин). Акцесорні мінерали представлені апатитом, сфеном, цирконом та ін.

За мінеральним складом геологами-виробничниками було виокремлено два головні типи руд: апатит-магнетит-ільменітовий у габро та горблендитах; апатит-ільменітовий у піроксенітах з магнетитом і титано-магнетитом.

За даними Г. Є. Змієвського та ін., апатит-магнетит-ільменітові руди в габро та горблендитах є бідними й середньовкрапленими. Вміст апатиту становить 1–5 %, магнетиту – до 5 %. Вміст TiO_2 – 5,4–6,2 %, P_2O_5 – 1,93–2,3 % в габро; а в горблендитах вміст TiO_2 до 7,2 %, P_2O_5 – до 3,0 %. У вигляді постійної домішки присутній сфен, який утворився завдяки ільменіту. У незмінених породах вміст сфену становить 0,1–0,5 %, а поблизу гранітів і жил апліт-пегматоїдних гранітів – 3–4 %.

Апатит-ільменітові руди в піроксенітах є бідно-, середньовкрапленими зі вмістом TiO_2 6,6–9,4 % та P_2O_5 – 0,7–2,9 %. Вміст магнетиту, піротину і сфену – до 1,0 %, титано-магнетиту – до 0,1 %.

Ільменіт присутній у вигляді ідіоморфних товсто-таблитчастих, неправильних овальних, округлих зерен та їх агрегатів розміром 0,1–0,4 мм; включень в амфіболі, піроксені; іноді мінерал виповнює міжзерновий простір. У зернах амфіболу за тріщинами спайності часто наявні тонкоголчасті та дрібнозернисті агрегати ільменіту. Вторинні зміни ільменіту виражені в розвитку сфену. Ільменіт слабоексенізований. В ільменіті з горблендитів вміст TiO_2 становить 46,0 %, відношення FeO / Fe_2O_3 – 3,29.

Апатит присутній у вигляді окремих зерен, їх скупчень, а також у зростках з магнетитом та ільменітом. Геологами-виробничниками виокремлено дві його генерації: високотемпературний голчастої форми розміром до 0,48 мм і більш пізній коротко-призматичний із включеннями в центральній частині зерен рудних мінералів розміром до 1,0 мм. За показниками заломлення Г. Є. Змієвським зі співавторами мінерал діагностовано як фторапатит.

Використовуючи координати свердловин, їх опис і дані опробування, ми створили цільову базу даних, на основі якої було здійснено картографічні побудови: карти ізогіпс покрівлі, підшви, ізопакіт товщини порід і латерального розподілу в породах середнього вмісту ільменіту, апатиту, циркону; колонки розподілу вмісту мінералів у вертикальному перетині свердловин (рис. 1, 2). Це дало змогу дослідити структурні (характер рельєфу підшви, поверхні, товщину) і речовинні (літологічний склад порід, латеральний і вертикальний розподіл ільменіту, апатиту, циркону) параметри рудовмісних порід.

За даними буріння свердловин, кристалічні породи опробовані на глибину від 2,0 до 96,8 м. Середні вмісти мінералів у перетині свердловин коливаються в таких межах (кг/т): ільменіт – 2,0–58,9; апатит – 0,1–5,5; циркон – 0,006–0,39. Розподіл середнього вмісту мінералів у кристалічних породах за латераллю такий: ільменіту та циркону – подібний; апатиту та циркону – подібний на окремих ділянках; апатиту й ільменіту – не збігається (див. рис. 1, з, д, е).

Повсюдно на породах кристалічного фундаменту залягає кора звітрювання. Кора звітрювання кристалічних порід фундаменту має пластоподібну овальну форму, простягається в північно-східному напрямку, залягає горизонтально. Глибина залягання елювію в середньому 25,0 м від поверхні. Товщина елювію – 12,5–45,0 м (середня – 30,0 м). У вертикальному профілі кори звітрювання виокремлено такі зони (знизу вгору): дезінтеграції і вилуговування; початкового гідролізу (монтморилоніт-гідрослюдиста); кінцевого гідролізу й окиснення продуктів вивітрювання (каолінітова). Дві нижні зони поширені повсюдно. Каолінітова зона товщиною до 2,0 м, збереглася від розмиву лише на незначній за площею території. Найбільш високі вмісти корисних компонентів притаманні монтморилоніт-гідрослюдистій зоні. Рельєф підшви й покрівлі монтморилоніт-гідрослюдистої зони плавний, із локальними западинами та підвищеннями (рис. 2, а, б). Перепад висот відміток підшви – 40,7 м, покрівлі – 26 м. Товщина зони – 3,0–28,8 м (середня – 14,06 м). Рудоносність кори звітрювання повністю визначається рудоносністю кристалічних порід фундаменту. Максимальний вміст ільменіту в корі звітрювання становить 358,8 кг/м³. Середні вмісти мінералів у перетині свердловин коливаються в таких межах (кг/т):

ільменіт – 0,35–112,25; апатит – 0,06–36,35; циркон – 0,004–0,32. Максимальний вміст P_2O_5 у корі звітрювання – 3,23 %; TiO_2 – 15,5 %.

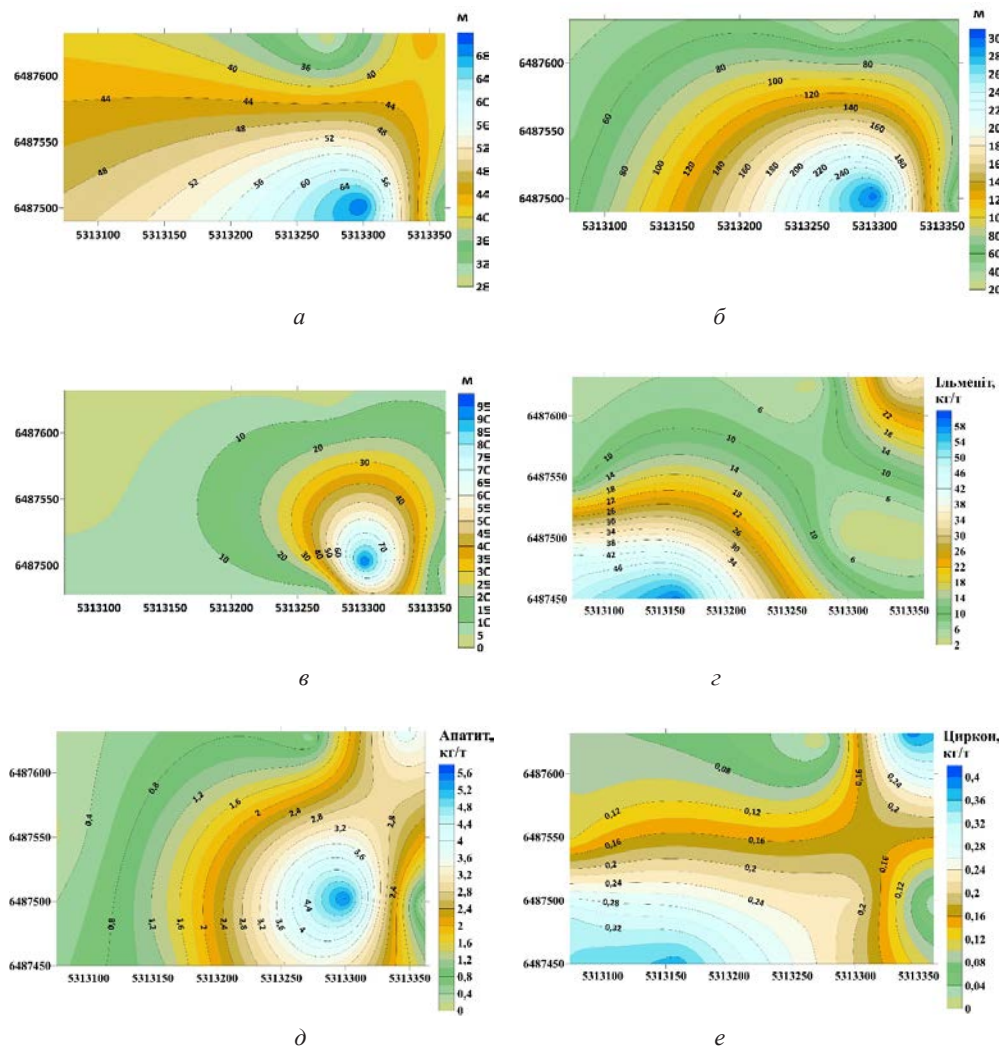


Рис. 1. Ізогіпси покрівлі (а), підшови (б), ізопахіти товщини (в) кристалічних порід фундаменту та латеральний розподіл у породах середнього вмісту ільменіту (г), апатиту (д) і циркону (е).

Ізогіпси підшови й ізопахіти товщини відкартовані за глибиною опробування порід кристалічного фундаменту

В ільменіті з елювію вміст TiO_2 – 46,6 %, відношення FeO / Fe_2O_3 – 3,24–3,86. Поряд з ільменітом і апатитом у корі звітрювання в значній кількості містяться магнетит і вермикуліт та в незначних кількостях – циркон, монацит, сфен та інші мінерали. Вміст вермикуліту – 8,1–12,1 %. Магнетит із важкої фракції досягає до 35,7 % (середній вміст – 10–15 %).

Ділянки підвищеного середнього вмісту ільменіту й апатиту в корі звітрювання між собою просторово збігаються і збігаються з ділянками підвищеної товщини елювію (див. рис. 2, в, г, д).

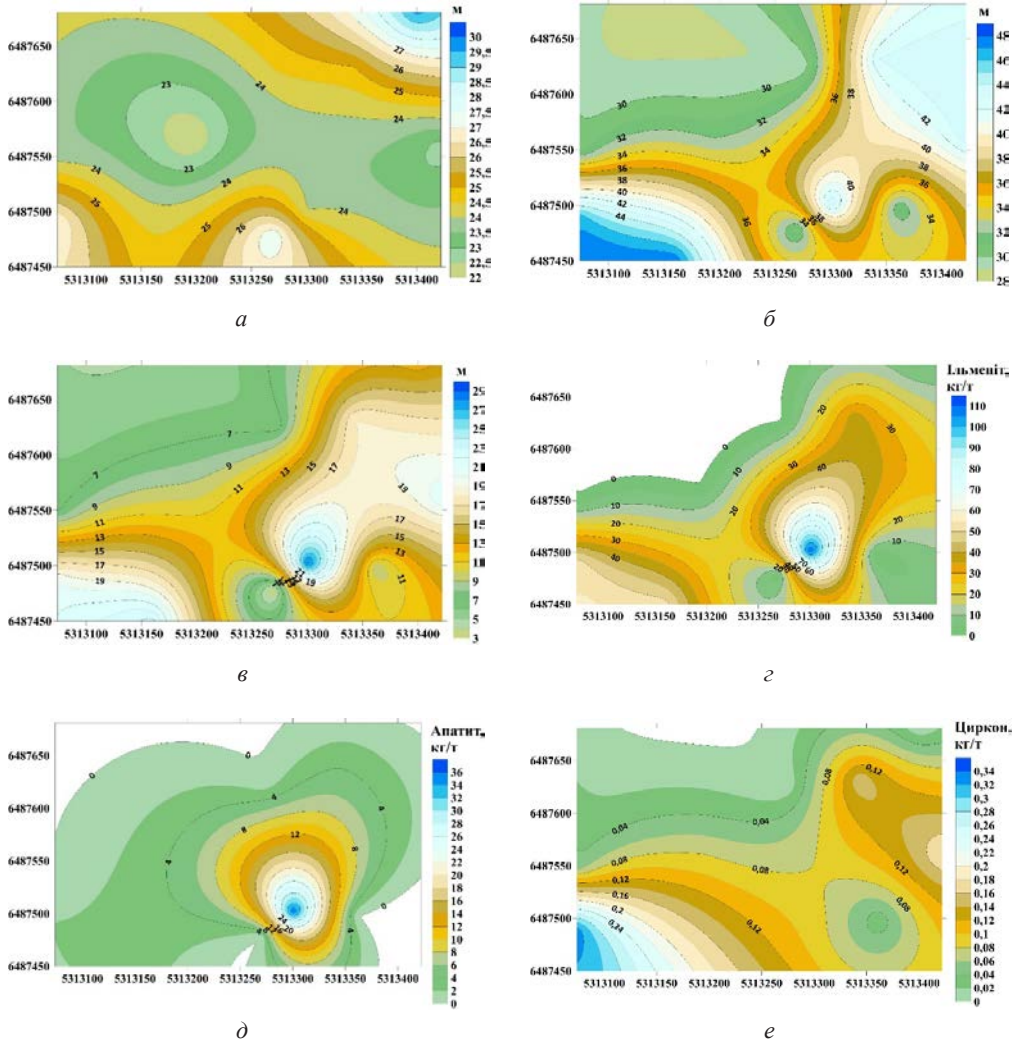


Рис. 2. Ізогіпси покрівлі (а), підосви (б), ізопахіти товщини (в) кори вивітрювання кристалічних порід фундаменту та латеральний розподіл в елюві середнього вмісту ільменіту (г), апатиту (д) і циркону (е)

Зважаючи на те, що породи кристалічного фундаменту представлені різними петротипами, нами досліджено розподіл ільменіту, апатиту, циркону у вертикальному перетині кори звітрювання різних петротипів порід фундаменту та напрям і силу кореляційних зв'язків між мінералами.

У вертикальному перетині кори звітрювання горнблендитів напрям і сила кореляційних зв'язків між вмістом мінералів такі: між вмістом ільменіту і вмістом циркону – прямий, сильний (+0,69); між вмістом ільменіту і вмістом апатиту – прямий середній (+0,69); між вмістом апатиту і вмістом циркону – прямий середній (+0,53). Мінерали утворюють здебільшого один рівень збагачення в середній частині монтморилоніт-гідрослюдистої зони (рис. 3, а)

У вертикальному перетині кори звітрювання порфірових гранітів напрям і сила кореляційних зв'язків між вмістом мінералів такі: між вмістом ільменіту і вмістом

циркону – обернений середній (-0,66); між вмістом ільменіту і вмістом апатиту – прямий сильний (+0,85); між вмістом апатиту і вмістом циркону – обернений сильний (-0,81). Ділянки підвищеного вмісту ільменіту й апатиту приурочені до нижньої частини кори звітрювання, натомість вміст циркону зростає вгору за розрізом елювію (див. рис. 3, б).

У вертикальному перетині кори звітрювання габро-монзонітів напрям і сила кореляційних зв'язків між вмістом мінералів такі: між вмістом ільменіту і вмістом циркону – прямий, середній (+0,51); між вмістом ільменіту і вмістом апатиту – прямий середній (+0,69); між вмістом апатиту і вмістом циркону – прямий сильний (+0,89). Ділянки підвищеного вмісту мінералів тяжіють до нижньої частини кори звітрювання (див. рис. 3, в).

У вертикальному перетині кори звітрювання піроксенітів напрям і сила кореляційних зв'язків між вмістом мінералів такі: між вмістом ільменіту і вмістом циркону – обернений дуже слабкий (-0,17); між вмістом ільменіту і вмістом апатиту – прямий помірний (+0,30); між вмістом апатиту і вмістом циркону – прямий помірний (+0,37). У вертикальному перетині елювію піроксенітів мінерали утворюють декілька невизначених рівнів збагачення з тенденцією до збільшення вмісту ільменіту й апатиту вгору за розрізом (див. рис. 3, г).

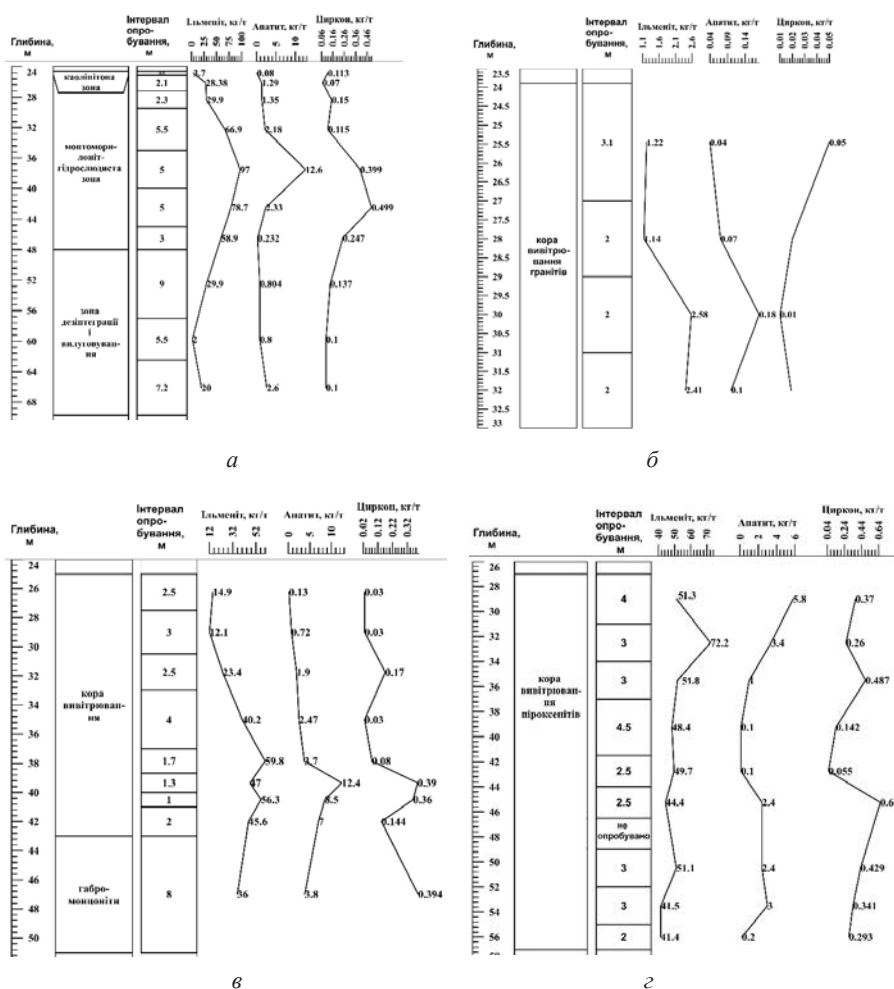


Рис. 3. Розподіл вмісту ільменіту, апатиту і циркону у вертикальному перетині кори звітрювання різних петротипів порід фундаменту: а – горнблендит, б – порфіровий граніт; в – габро-монзоніт; г – піроксеніт

Також нами досліджено напрям і силу кореляційних зв'язків між середнім вмістом мінералів в породах кристалічного фундаменту й корі звітрювання: між середнім вмістом ільменіту – прямий слабкий (+0,21); між середнім вмістом апатиту – прямий сильний (+0,85); між середнім вмістом циркону – прямий сильний (+0,81).

Як зазначалося, верхня каолінітова зона кори звітрювання була значною мірою або повністю розмита. На корі звітрювання з розмивом залягають червоно-бури глини нижньо-го-верхнього пліоцену, які утворилися за морських фаціальних умов.

Безпосереднє залягання глин на розмитій поверхні кори звітрювання спонукало нас до дослідження їх рудоносності. Рельєф поверхні й підшви відкладів плавний, із тенденцією до зниження в південно-східному напрямку (рис. 4, а, б). Перепад висот відміток підшви – 7,7 м, покрівлі – 4,0 м. Середня товщина червоно-бурих глин – 1,0–5,7 м (див. рис. 4, в).

Середні вмісти мінералів у перетині свердловин коливаються в таких межах (кг/т): ільменіт – 0,02–35,4; апатит – 0,02–1,0; циркон – 0,003–0,1.

Ділянки підвищеного середнього вмісту ільменіту апатиту в червоно-бурих глинах збігаються частково і просторово не збігаються з ділянками підвищеного середнього вмісту циркону (див. рис. 4, г, д, е). У червоно-бурих глинах неогену кореляційні зв'язки між середнім вмістом мінералів такі: між середнім вмістом ільменіту і середнім вмістом циркону – прямий помірний (+0,39); між середнім вмістом ільменіту і середнім вмістом апатиту – прямий сильний (+0,87); між середнім вмістом апатиту і середнім вмістом циркону – прямий помірний (+0,46).

Висновки

1. Рудоносність Нововисуньської ділянки представлена покладами ільменіту, апатиту, циркону й вермикуліту в різних петротипах порід кристалічного фундаменту, їх корах вивітрювання та глинистих відкладах нижнього-верхнього пліоцену морського генезису.

2. Досліджено структурні (рельєф підшви і поверхні, товщину) та речовинні (латеральний і вертикальний розподіл вмісту ільменіту, апатиту, циркону) параметри рудоносних порід кристалічного фундаменту, кори вивітрювання й червоно-бурих глин нижнього-верхнього пліоцену морського генезису, а також напрям і силу кореляційних зв'язків між мінералами та структурними параметрами рудовмісних порід.

3. Латеральний розподіл товщини кори звітрювання зумовлений рельєфом поверхні кристалічних порід фундаменту й розмивом верхньої зони елювію в процесі геологічного розвитку території.

4. Встановлено, що кореляційні зв'язки між структурними параметрами в породах кристалічного фундаменту, кори вивітрювання й червоно-бурих глин неогену прямі і здебільшого сильні. Між рельєфом покрівлі та товщиною елювію кореляційний зв'язок слабкий, а між покрівлею і товщиною неогенових глин – помірний.

5. Встановлено, що між мінералами в досліджених породах наявні кореляційні зв'язки різного напрямку та сили. У вертикальному перетині кори звітрювання різних петротипів порід фундаменту кореляційні зв'язки між мінералами такі: прямий помірний – між вмістом ільменіту й апатиту та вмістом апатиту і циркону в елювії піроксенітів; прямий середній – між вмістом апатиту і циркону та вмістом ільменіту й апатиту в елювії горнблендітів, а також між вмістом ільменіту і циркону, ільменіту й апатиту в елювії габро-монцонітів; прямий сильний – між вмістом ільменіту й апатиту в елювії порфірових гранітів, апатиту і циркону в елювії габро-монцонітів, між вмістом ільменіту і циркону в елювії горблендітів; обернений дуже слабкий – між вмістом ільменіту і циркону в елювії піроксенітів, обернений середній між вмістом ільменіту і циркону та обернений сильний – між вмістом апатиту і циркону в елювії порфірових гранітів.

6. Прямий слабкий кореляційний зв'язок наявний між вмістом ільменіту в кристалічних породах фундаменту і загалом в корі звітрювання; прямий помірний – між вмістом

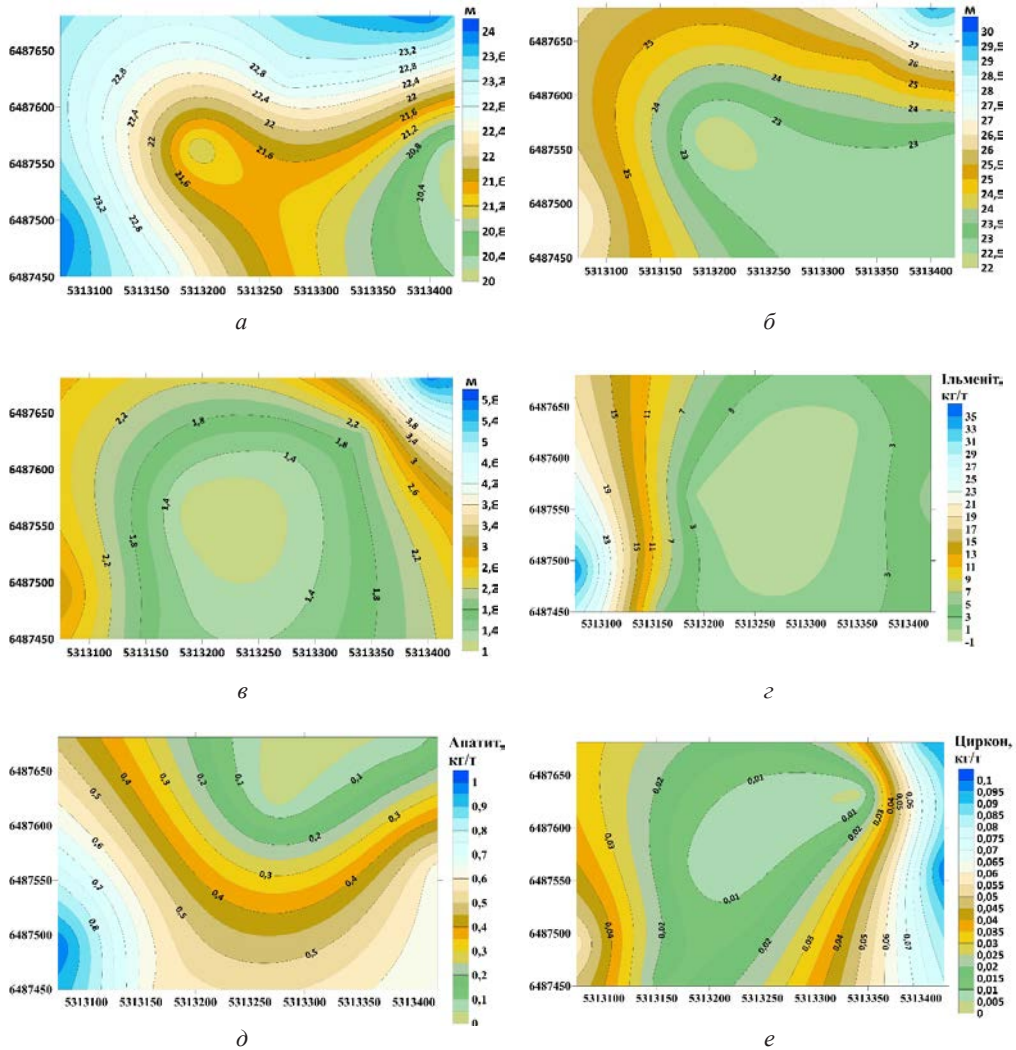


Рис. 4. Ізогіпси покрівлі (а), підшви (б), ізопахіти товщини (в) червоно-бурих глин нижнього-верхнього пліоцену та латеральний розподіл в них середнього вмісту ільменіту (г), апатиту (д) і циркону (е)

ільменіту і циркону в корі звітрювання та глинах неогену, а також між вмістом апатиту і циркону в глинах; прямий середній – між вмістом апатиту і циркону в кристалічних породах; прямий сильний – між вмістом ільменіту і циркону в кристалічних породах фундаменту, між вмістом ільменіту й апатиту в корі звітрювання та червоно-бурих глинах неогену, а також між вмістом апатиту в кристалічних породах і корі звітрювання.

7. Головними мінералами, які становлять практичний інтерес, є ільменіт і апатит (циркон через низький вміст практичного інтересу не викликає). Потрібно звернути увагу на вермикуліт, значні вмісти якого були встановлені геологами-виробничниками. Питання з'ясування просторового розподілу його вмісту в корі звітрювання потребує довивчення ділянки.

8. Практичний інтерес викликає елювіальний генетичний тип, пов'язаний із промисловим вмістом ільменіту й апатиту в монтморилоніт-гідрослюдистій зоні кори звітрювання основних і ультраосновних кристалічних порід – амфіболізованого габро, піроксенітів, горнблендитів, габро-монзонітів. Рудоносність кори звітрювання є віддзеркаленням рудоносності кристалічних порід фундаменту. Червоно-бурі глини нижнього-верхнього пліоцену через незначну товщину й низький вміст цінних мінералів не викликають практичного інтересу.

9. Незначні запаси ільменіту, апатиту і циркону та не дуже високий їх вміст у досліджених породах не дають змогу віднести Нововисуньську ділянку до розряду першочергових об'єктів для розробки. Ділянка потребує дорозвідки з переоцінкою запасів ільменіту, апатиту та вермикуліту (вміст якого в корі звітрювання досягає 12,1 %) за категоріями C_1 і C_2 .

10. Отримані результати слугуватимуть інформаційною основою для наукового супроводу дорозвідки Нововисуньської ділянки й оцінки рудоносності подібних об'єктів з акцентом на монтморилоніт-гідрослюдисту зону кори звітрювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гурський Д. С., Єсипчук К. Ю., Калінін В. І. та ін. (2005). Металічні і неметалічні корисні копалини України. Металічні корисні копалини. Київ – Львів : Центр Європи, 2005. Т. 1. 785 с.
2. Інвестиційний атлас надрокористувача (стратегічні та критичні мінерали). URL: <https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/ukr/investicijnij-atlas-nadrokoristuvacha-strategichni-ta-kritichni-minerali.pdf> (дата звернення 22.04.2024).
3. Крошко Ю. В., Ковальчук М. С. Поліхронно-полігенна парагенетично-просторова титанорудна система осадового чохла південно-західної частини Корсунь-Новомиргородського плутону. *Геохімія та рудоутворення*. 2023. Вип. 44. С. 63–88. <https://doi.org/10.15407/gof.2023.44.063>.
4. Лисенко О. А. Розсіпні родовища України. Стан освоєння та перспективи нарощування їхнього потенціалу. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. 2017. № 3. С. 74–90.
5. Рудько Г. І., Бала Г. Р. Критична мінеральна сировина та її перспективи в Україні. *Мінеральні ресурси України*. 2021. № 2. С. 3–14. <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14>.
6. Фігура Л. А., Ковальчук М. С. Геологічна будова та рудоносність Юрської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Мінералогічний журнал*. 2023. Вип. 45, № 4. С. 100–117. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100>.
7. Титан в Україні: військово-економічний контекст. URL: <https://inventure.com.ua/uk/analytics/articles/titan-v-ukrayini:-vijskovo-ekonomichnij-kontekst> (дата звернення 22.04.2024).

REFERENCES

1. Gurskyi, D.S., Esipchuk, K.E., & Kalinin, V.I. etc. (2005). Metalichni i nemetalichni korysni kopalyny Ukrainy. Metalichni korysni kopalyny [Metallic and non-metallic minerals of Ukraine. Metallic minerals]. Kyiv – Lviv: Center of Europe. Vol. 1. 785 p. [in Ukrainian].
2. Investytsiyniy atlas nadrokorystuvacha (strategichni ta krytychni mineraly) [Subsoil user investment atlas (strategic and critical minerals)]. Retrieved from: <https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/ukr/investicijnij-atlas-nadrokoristuvacha-strategichni-ta-kritichni-minerali.pdf> (accessed 24/04/2024) [in Ukrainian].
3. Kroshko, Y.V., & Kovalchuk, M.S. (2023). Polikhronno-polihenna parahenetychno-prostorova tytanorudna systema osadovoho chokhla pivdenno-zakhidnoi chastyny Korsun-Novomyrhorodskoho plutonu. Heokhimiia ta rudoutvorennia [Polychronic-polygenic paragenetic-spatial titanium-ore system of the sedimentary cover of the south-western part of the Korsun-Novomyrhorod pluton]. *Heokhimiia ta rudoutvorennia – Geochemistry and ore formation*. Vol. 44. P. 63–88. <https://doi.org/10.15407/gof.2023.44.063> [in Ukrainian].

4. Lysenko, O.A. (2017). Placer deposits of Ukraine [Rozsypni rodovyshcha Ukrainy]. *Stan osvoinnia ta perspektyvy naroshchuvannia yikhnoho potentsialu. Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI – The state of development and prospects for increasing their potential. Collection of scientific works of the Ukrainian State Geological and Exploration Institute.* № 3. P. 74–90 [in Ukrainian].
5. Rudko, G.I., & Bala, H.R. (2021). Krytychna mineralna syrovyna ta yii perspektyvy v Ukraini [ritical mineral raw materials and their prospects in Ukraine]. *Mineralni resursy Ukrainy – Mineral resources of Ukraine.* № 2. P. 3–14. <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14> [in Ukrainian].
6. Figura, L.A., & Kovalchuk, M.S. (2023). Heolohichna budova ta rudonosnist Yurskoi dilianky Mezhyrichnoho rodovyshcha tytanovykh rud [Geological structure and ore bearing of the Yurska area of the Mezhyrichny titanium ore deposit]. *Mineralohichnyi zhurnal – Mineralogical journal.* Vol. 45, № 4. P. 100–117. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100> [in Ukrainian].
7. Titan v Ukraini: viiskovo-ekonomichnyi kontekst [Titan in Ukraine: military and economic context]. Retrieved from: <https://inventure.com.ua/uk/analytics/articles/titan-v-ukrayini:-vijskovo-ekonomichnij-kontekst> (access date 04/22/2024) [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 02.05.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

ORE BEARING OF THE NOVOVYSUNSKA SITE

Yuliia Kroshko, Myron Kovalchuk

ykrosh.79@ukr.net, kms1964@ukr.net

*Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine,
55b, Olesia Honchara St., Kyiv, Ukraine, 01601*

Information on the geological structure and ore-bearing capacity of the Novovysunska site, which is located within the western part of the West-Ingulets interblock zone near the village of Nova Vysun, Bashtan district, Mykolaiv region, is provided. The Novovysunska site is confined to the massif of crystalline basement rocks of the same name. The ore-bearing of the area is represented by deposits of ilmenite, apatite, zircon and vermiculite in various petrotypes of crystalline basement rocks, their weathering crusts and clay deposits of the Lower-Upper Pliocene of marine genesis. On the basis of the geological reports, a target database was created (coordinates, description and results of testing wells for ilmenite, apatite, zircon) on the basis of which cartographic constructions were made. The structural (relief of the top and of the bottom surface, thickness) and material (lateral and vertical distribution of ilmenite, apatite, zircon) parameters of the ore-bearing rocks of the crystalline basement, weathered crust and red-brown clays of the Lower-Upper Pliocene were studied. The direction and strength of correlations between minerals and structural parameters of ore-bearing rocks have been clarified. The distribution of the content of ilmenite, apatite and zircon in the vertical section of wells that revealed the weathering crust of crystalline rocks of various petrotypes (hornblendites, gabro-monzonites, pyroxenites, porphyry granites) was studied, and the direction and strength of the correlations of the content of these minerals were determined. It was established that the correlations between the structural parameters in the rocks of the crystalline foundation, of the weathering crust and of the red-brown clays of the Neogene are direct and mostly strong, whereas there are correlations of different directions and strengths between the minerals in the studied rocks. As a result of the research, it was found that the main minerals of practical interest are ilmenite and apatite in the montmorillonite-hydromica zone of the weathering crust of the crystalline rocks of the foundation of the basic and ultrabasic composition. The research results indicate that the Novovysunska site, after additional geological exploration, may be of interest as an object of the second stage of exploitation. The obtained results can serve as a basis for evaluating the ore-bearing potential of similar geological objects with an emphasis on the ore-bearing potential of the montmorillonite-hydromica zone of the weathering crust.

Key words: Western Ingulets interblock zone, Novovysunska site, ore bearing, crystalline rocks of the foundation, weathering crust, Neogene clays, ilmenite, apatite, zircon.

УДК 551.32/46:552

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗІРЦІВ ПОРІД, ВІДІБРАНИХ З ЛАВРЕНТІЙСЬКОГО КОНУСА ВІНОСУ (ПІВНІЧНО-ЗАХІДНА ЧАСТИНА АТЛАНТИЧНОГО ОКЕАНУ)

¹*Наталія Білик, асистент кафедри мінералогії, петрографії і геохімії
імені професора Ореста Матковського
nataliya.bilyk@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-9684-195X>*

¹*Ірина Побережська, канд. геол.-мін. наук, доцент, зав. кафедри мінералогії,
петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського
<https://orcid.org/0000-0001-5020-8326>*

¹*Вероніка Білай, студентка
<https://orcid.org/0009-0002-4505-0119>
¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005*

²*Анжела Шевчук, старший викладач кафедри технічної механіки
та інженерної графіки
<http://orcid.org/0000-0002-1790-6736>
²Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013*

Лаврентійський конус – це депоцентр гляціальних відкладів плейстоцену. Він був сформований неогеновою флювіальною системою, а згодом «захоплений» льодовиковим потоком Лаврентійської затоки. Породи Лаврентійського конуса виносу мають округлі зглажені поверхні, що свідчить про їхню міграцію від корінних джерел на значну відстань. Серед цих порід визначено граніт (за результатами мікрозондового аналізу, містить польовий шпат, кварц, слюду, епідот, хлорит, кальцит, магнетит, титаніт, циркон), метаморфізований граніт (містить сидерофіліт, кварц, олігоклаз, хлорит, карбонат, рудний мінерал) і кварц-карбонатну породу (містить кальцит, доломіт, кварц, альбіт, лужний польовий шпат, мусковіт). Граніт зазнав метаморфізації за умов зеленосланцевої фації регіонального метаморфізму: за хлоритовим геотермометром – від 239 до 294 °С. Виявлено одне зерно рідкісного мінералу гальгенбергіту-(Ce) – водного карбонату (Ce) Ca(Ce,La,Nd)₂(CO₃)₄·H₂O.

Проаналізовано шляхи міграції Лаврентійського льодовика, який рухався на південний схід і був активний під час останнього, Віконсинського зледеніння. Зроблено висновок, що корінним джерелом досліджуваних порід із Лаврентійського конуса виносу був Аппалачський ороген.

Ключові слова: Лаврентійський конус виносу, граніт, польовий шпат, гляціальні відклади, Аппалачський ороген.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.07>

Вступ. Лаврентійський конус – це депоцентр гляціальних відкладів плейстоцену. Він є найбільшим глибоководним конусом на атлантичному узбережжі Канади [5]. Лаврентійська затока простягається на 1400 км за ширини 100–150 км. Це глибокий U-подібний

жолоб, що тягнеться від лиману Святого Лаврентія до шельфу між Новою Шотландією й Ньюфаундлендом. Початково він був сформований неогеновою флювіальною системою, а згодом був «захоплений» льодовиковим потоком Лаврентійської затоки, що рухався на південний схід і був активний під час останнього, Віконсинського зледеніння [4].



Рис. 1. Сертифікат з координатами місця відбирання взірців

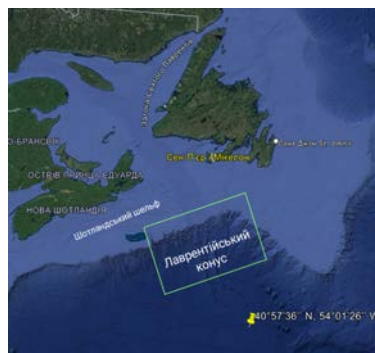


Рис. 2. Місце відбирання взірців порід

Шельфову частину переважно складають прогляціальні трансгресивні піски, гравій і гліціальні й післягліціальні мулові відклади. Прилегла до нього абісаль сформована стратифікованими прошарками піску й мулу, прогляціальними пісками та гравієм, погано відсортованими уламками, піщаним мулом. Ці відклади є результатом рухів льодовикових масивів [7].

Об'єктом досліджень були зразки порід, відібрані з глибини 4 865 м екіпажем судна приватного підприємства Subsea Environmental Services 14 червня 2019 р. Метою експедиції було відновлення підводних телекомунікаційних кабелів у північно-західній частині Атлантичного океану (на південний схід від Лаврентійського конуса), координати 40°57'36" N, 54°01'26" W (рис. 1, 2).

Мета досліджень – із застосуванням макро-, мікроскопічних і мікроаналітичних досліджень ідентифікувати три взірці порід, які відібрано з абісали північно-західної частини Атлантичного океану. Вивчення мінерального складу, петрографічних і геохімічних особливостей порід дасть змогу визначити їхнє походження та вірогідне корінне джерело.

Методи досліджень. Мінеральний склад і структурно-текстурні особливості порід ми вивчали в прозорих шліфах на мікроскопах фірми Olympus. Мікроаналітичні дослідження полірованих зразків виконано в лабораторії фізичного факультету ЛНУ імені Івана Франка за допомогою растрового (сканувального) електронного мікроскопа РЕММА-102-02 (Суми, Україна), обладнаного енергодисперсійним аналізатором EDAR, аналітик Р. Серкіз. Параметри проведення аналізу такі: прискорювальна напруга – 20 кВ, струм зонда – 1 нА, діаметр зонда – 0,1 мкм. Марка еталона, використаного для калібрування приладу, – НЭРМА. ГЕО1.25.10.74 ГТ; виробник – фірма Geotechnology (Україна). Для калібрування окремих елементів використано такі стандарти: Na – альбіт; Mg – периклаз; Al, Si, Ca – анортит; P – фтор-апатит; S – пірит; K – мікроклін; Ti – македоніт; Cr – есколаїт; Mn – манганіт; Fe – гематит; As – GaAs (синтетичний); Ba – барит; Sc, Co, Ni, Cu, Zr, Ag, Au – чисті елементи. Для опрацювання отриманих даних використано програмне забезпечення Magallanes 3.2.

Результати досліджень. Досліджувані взірці порід (рис. 3) різняться за забарвленням, текстурно-структурними особливостями та мінеральним складом [1].

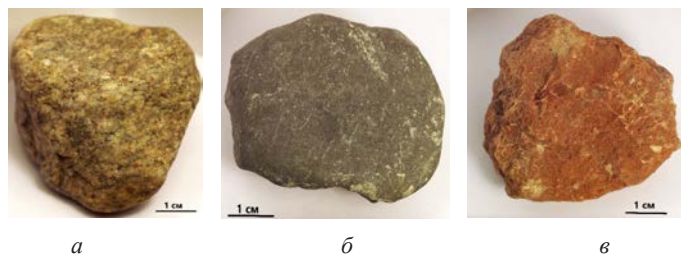


Рис. 3. Взірці досліджуваних порід

Взірець № 1 має сіро-білий колір, масивну текстуру і пронизаний темними прожилками (див. рис. 3, *a*). Під час мікроскопічних досліджень у породі виявлено такі мінерали: кварц, інтенсивно пелітизований лужний польовий шпат (рис. 4), серицитизований кислий плагіоклаз, хлоритизований біотит, рогова обманка, магнетит, епідот, циркон, титаніт, кальцит. Структура породи гіпдіоморфнозерниста. Кристали породоутворювальних фемічних мінералів і плагіоклазу мають найдосконаліші ідіоморфні обриси; калішпат і кварц частково ідіоморфні (гіпдіоморфні). Мікросондовим аналізом у взірці визначено польовий шпат, кварц, слюду, епідот, хлорит, кальцит; рудні мінерали представлені магнетитом, акцесорні – титанітом і цирконом.

Польові шпати представлені плагіоклазом і калієвим польовим шпатом (рис. 5). За даними мікроаналітичних досліджень (табл. 1), на трикутній діаграмі (рис. 6) фігуративні точки плагіоклазу потрапляють у поле олігоклазу. Олігоклаз формує зерна розміром близько 1 мм, а калішпат утворює виділення неправильної форми розміром близько 0,2–0,4 мм у плагіоклазі (див. рис. 5).

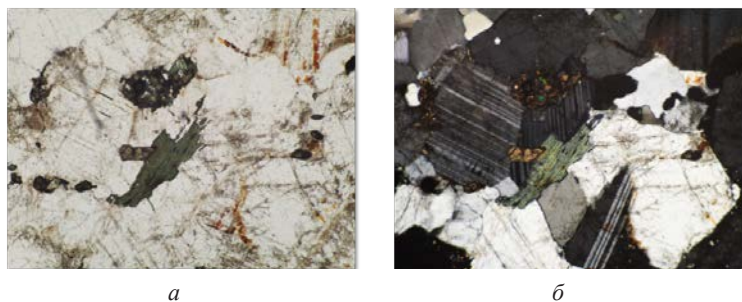
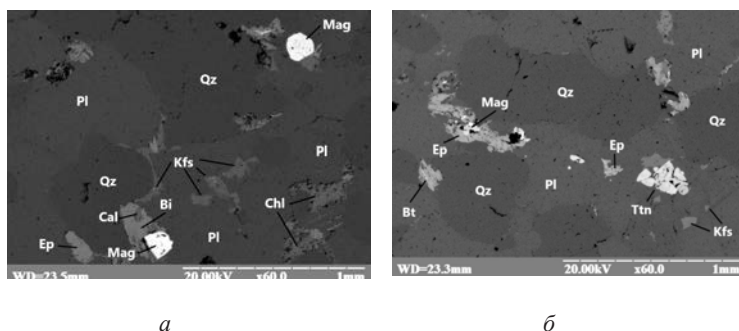
Рис. 4. Граніт під мікроскопом, $\times 60$: *a* – без аналізатора; *б* – з аналізатором

Рис. 5. BSE-зображення взірця № 1. Мінерали: плагіоклаз – Pl, калішпат – Kfs, кварц – Qtz, магнетит – Mag, кальцит – Cal, хлорит – Chl, біотит – Bt, епідот – Ep, титаніт – Ttn

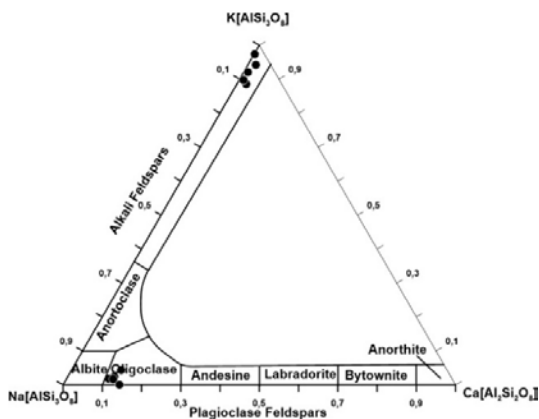


Рис. 6. Хімічний склад польових шпатів у трикомпонентній системі Na–K–Ca

Таблиця 1

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти польових шпатів

Компо- ненти	Номер проби									
	1	5	9	19	21	4	6	13	16	18
SiO ₂	63,85	64,53	64,59	64,52	64,73	61,06	62,00	62,28	62,23	62,27
TiO ₂	0	0,11	0,02	0,34	0,00	0,38	0,60	0,00	0,02	0,31
Al ₂ O ₃	21,39	20,75	21,15	21,42	21,29	17,83	18,70	18,85	18,37	17,86
FeO	0,22	0,04	0,05	0,00	0,00	0,36	0,29	0,57	0,09	0,00
MnO	0	0,26	0,01	0,00	0,14	0,03	0,13	0,00	0,00	0,15
MgO	0,75	0,86	0,80	0,98	0,99	0,87	0,87	0,99	0,98	1,13
CaO	2,52	2,38	2,62	2,58	2,98	0,55	0,24	0,04	0,24	0,45
Na ₂ O	10,00	10,73	10,45	9,42	9,85	1,12	0,80	0,28	1,15	0,45
K ₂ O	0,42	0,35	0,31	0,75	0,00	16,91	16,30	16,97	16,93	17,38
Сума	99,14	100	100	100	100	99,10	99,90	100	100	100
Формульні коефіцієнти										
Al	1,13	1,09	1,11	1,13	1,12	1,01	1,04	1,05	1,02	1,00
Si	2,83	2,85	2,84	2,84	2,84	2,89	2,89	2,90	2,91	2,91
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0	0,00	0,00
Сума	3,97	3,94	3,96	3,97	3,96	3,91	3,95	3,95	3,93	3,91
Мінали										
Na	0,87	0,93	0,90	0,81	0,85	0,10	0,07	0,03	0,11	0,04
K	0,02	0,02	0,02	0,04	0,00	1,04	0,98	1,02	1,02	1,05
Ca	0,12	0,11	0,13	0,12	0,14	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02
Сума	1,02	1,06	1,05	0,98	0,99	1,17	1,07	1,05	1,14	1,11
Мінали										
Ab	0,86	0,87	0,86	0,83	0,86	0,09	0,07	0,02	0,09	0,04
An	0,12	0,11	0,12	0,13	0,14	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02
Or	0,02	0,02	0,02	0,04	0,00	0,89	0,92	0,97	0,90	0,94

Кристалохімічна формула плагіоклазів (за мінальним складом) – $Ab_{0,83-0,87}An_{0,11-0,14}$ $Or_{0,00-0,04}$, а лужних польових шпатів – $Or_{0,89-0,97}Ab_{0,02-0,09}An_{0,00-0,02}$.

Слюда утворює в породі пластинчасті виділення (див. рис. 5) розміром близько 0,2 мм. Хімічний склад слюди, за результатами мікроаналітичних досліджень, такий, мас. %: SiO_2 – 32,64–35,04; TiO_2 – 1,02–1,09; Al_2O_3 – 15,54–16,81; FeO – 22,91–24,82; MnO – 0,47–0,49; MgO – 9,98–10,63; CaO – 0,00–0,16; Na_2O – 1,00–1,02; K_2O – 7,56–9,67. На кваліфікаційній діаграмі Ф. Явуза для слюд [9] досліджуваний мінерал потрапляє в поле магнезально-залізистої слюди – сидерофіліту (рис. 7).

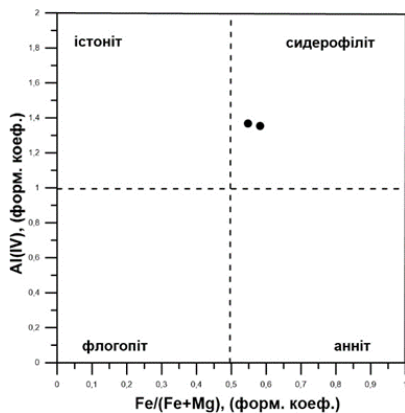
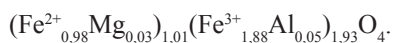


Рис. 7. Класифікаційна діаграма Ф. Явуза для слюд [9]

Епідот формує зерна видовженої форми розміром до 0,3 мм. Його хімічний склад, за результатами мікрозондового аналізу, такий, мас. %: SiO_2 – 35,59–36,42; Al_2O_3 – 20,84–21,25; Fe_2O_3 – 11,7–12,86; MnO – 0–0,64; MgO – 1,04–1,18; CaO – 24,19–24,79; Na_2O – 0,82–0,92. Залізистість епідоту F коливається від 0,26 до 0,28.

Хлорит наявний у вигляді зерен неправильної форми, частково пластинчастих, розміром 0,3–0,4 мм. Хімічний склад хлориту, за даними мікроаналітичних досліджень, такий, мас. %: SiO_2 – 28,51; TiO_2 – 0,59; Al_2O_3 – 18,6; FeO – 22,29; MnO – 0,09; MgO – 16,66; CaO – 0,15; Na_2O – 0,91. Отже, мінерал належить до магнезальних хлоритів, а саме – до клінохлору [10].

Рудні мінерали представлені магнетитом, який формує ізометричні виділення розміром 0,2–0,3 мм. Кристалохімічна формула магнетиту, за результатами мікроаналітичних досліджень, така:



Серед акцесорних мінералів визначено циркон (поодинокі зерна розміром близько 0,1 мм) і титаніт (зерна видовженої форми розміром 0,1 мм).

Отже, за результатами макро- та мікроаналітичних досліджень виявилось, що порода у взірці № 1 – це граніт, який зазнав незначних вторинних змін.

Взірець № 2 – це прихованокристалічний агрегат темно-сірого кольору, з масивною текстурою (див. рис. 3, б), складений серицитом, кварцом, кислим плагіоклазом, хлоритом, карбонатом і рудним мінералом (рис. 8 і 9, а). Виявлено одне зерно гальгенбергіту-(Ce) (galgenbergite-(Ce)) (рис. 9, б). Значне поширення в породі серициту, хлориту й карбонату дає змогу зробити висновок, що порода первинно гранітного складу зазнала метаморфізації за термодинамічних умов зеленосланцевої фації регіонального метаморфізму.

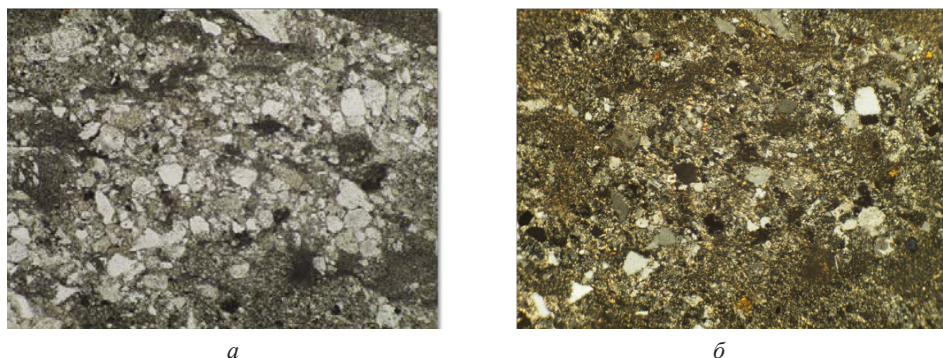


Рис. 8. Шліф взірця № 2, $\times 60$: *a* – без аналізатора; *б* – з аналізатором

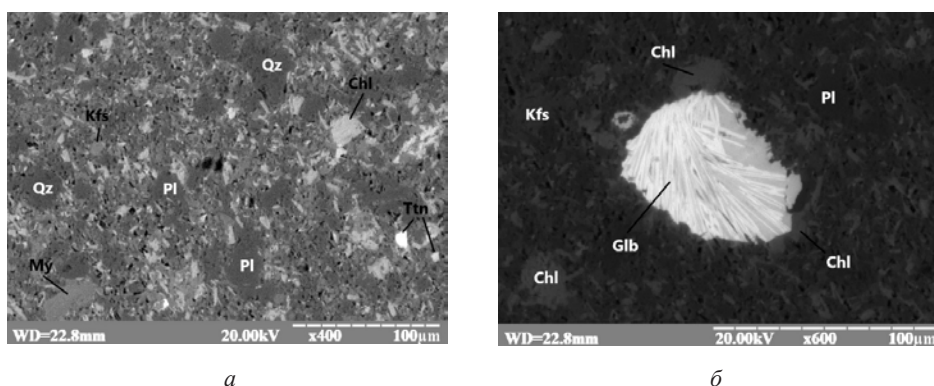


Рис. 9. BSE-зображення метаморфізованого граніту. Мінерали: кварц – Qz, плагіоклаз – Pl, калішпат – Kfs, хлорит – Chl, гальгенбергіт-(Ce) – Glb (*б*)

Польові шпати формують зерна розміром близько 10–20 мкм (див. рис. 9). За результатами мікрозондового аналізу (табл. 2), фігуративні точки плагіоклазів на трикутній діаграмі польових шпатів потрапляють у поле альбіту (рис. 10).

Таблиця 2

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти польових шпатів

Компоненти	Номер проби				
	4	6	10	13	14
SiO ₂	62,43	67,24	67,60	62,25	65,81
TiO ₂	0,00	0,04	0,00	0,60	0,00
Al ₂ O ₃	18,60	20,24	19,00	17,47	20,56
FeO	0,78	0,19	1,12	1,55	0,48
MnO	0,00	0,02	0,08	0,00	0,00
MgO	1,20	1,13	1,06	1,09	1,14
CaO	0,00	0,00	0,04	0,15	1,55
Na ₂ O	1,47	10,87	10,80	0,96	9,93

Продовження таблиці 2

Компоненти	Номер проби				
	4	6	10	13	14
K ₂ O	15,51	0,26	0,28	15,94	0,54
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульні коефіцієнти					
Al	1,02	1,04	0,99	0,98	1,08
Si	2,91	2,94	2,96	2,91	2,89
Ti	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Сума	3,93	3,99	3,95	3,91	3,96
Na	0,13	0,92	0,93	0,09	0,86
K	0,92	0,01	0,02	0,96	0,03
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07
Сума	1,06	0,94	0,95	1,06	0,96

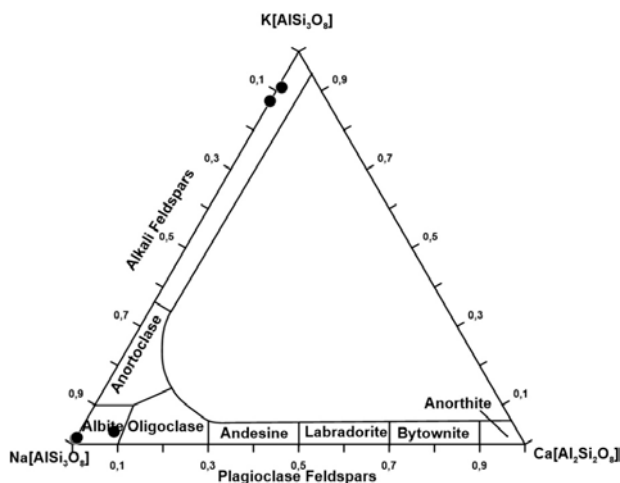
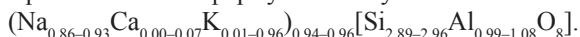
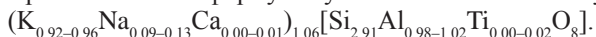


Рис. 10. Хімічний склад досліджених польових шпатів у трикомпонентній системі Na-K-Ca

Кристалохімічна формула альбіту така:



Кристалохімічна формула лужного польового шпату така:



Хлорит у породі наявний у вигляді пластинчастих виділень і формує облямівки навколо гальгенбергіту-(Се) (див. рис. 9). За результатами мікрозондового аналізу (табл. 3), фігуративні точки досліджуваного мінералу потрапляють на трикутній діаграмі хлоритів на межу між Mg-хлоритами (клінохлор) та Fe-хлоритами (шамозит) (рис. 11).

За хлоритовим геотермометром, за даними різних дослідників (Cathelineau & Nieva, 1985; Kranidiotis & Maclean, 1987; Inoue et al., 2009), температура мінералоутворення змінювалась від 239 до 294 °C.

Таблиця 3

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти хлориту

Компоненти	Номер проби			
	3	5	9	12
SiO ₂	30,16	29,00	27,46	27,29
TiO ₂	0	0,43	0,16	0,38
Al ₂ O ₃	20,14	19,4	18,82	20,00
FeO	29,79	29,06	30,16	29,47
MnO	0	0,50	0,72	1,15
MgO	9,72	8,36	9,68	8,73
Na ₂ O	0	0,90	1,33	1,14
K ₂ O	0	1,96	0,30	0,58
Сума	89,81	89,62	88,63	88,74
Формульні коефіцієнти				
Si	3,10	3,05	2,93	2,90
Al	0,90	0,91	1,06	1,07
Ti	0,00	0,03	0,01	0,03
Сума	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,57	1,52	1,34	1,47
Mg	1,51	1,33	1,56	1,40
Mn	0,00	0,05	0,07	0,10
Fe ²⁺	2,59	2,59	2,73	2,66
Сума	5,67	5,48	5,69	5,63

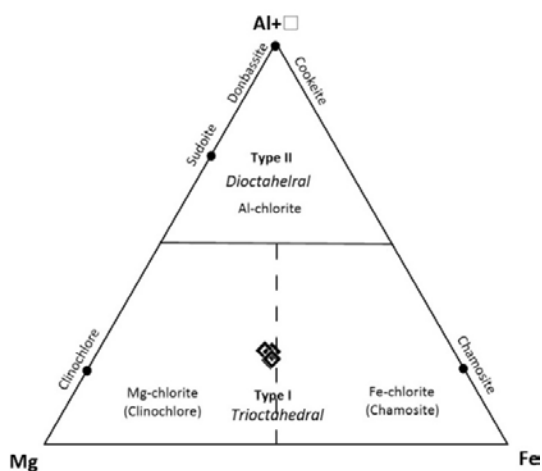


Рис. 11. Діаграма складу породоутворювальних хлоритів у трикомпонентній системі Mg–Al+□–Fe, де □ – вакансії в октаедричній позиції (Al³⁺, Fe³⁺) [10]

Хімічний склад мусковіту, представленого в породі пластинчастими виділеннями розміром близько 300 мкм, за результатами мікрозондового аналізу такий, мас. %: SiO_2 – 50,37; TiO_2 – 0,53; Al_2O_3 – 26,37; FeO – 4,31; MnO – 0,19; MgO – 4,61; CaO – 0,05; Na_2O – 0,79; K_2O – 11,31. Кристалохімічна формула мусковіту така:



Поодинокі зерна титаніту розміром близько 10 мкм мають такий хімічний склад (за даними мікрозондового аналізу), мас. %: SiO_2 – 29,99; TiO_2 – 32,51; Al_2O_3 – 6,48; FeO – 1,28; MnO – 0,08; MgO – 0,82; CaO – 28,20; Na_2O – 0,45; K_2O – 0,19. Кристалохімічна формула титаніту така:



У зрізці № 2 виявлено рідкісний мінерал гальгенбергіт-(Ce). Це водний карбонат-(Ce) з формулою $\text{Ca}(\text{Ce},\text{La},\text{Nd})_2(\text{CO}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Уперше його визначили [3] у невеликих тріщинах в альбіт-хлоритовому сланці в залізничному тунелі Гальгенберг між Леобеном і Сент-Міхалом у Штирії, Австрія. Досліджуваний мінерал формує голчасті до розеткоподібних утворення (див. рис. 9, б) з довжина голок – від 20 до 50 мкм. Хімічний склад, за результатами мікроаналітичного дослідження, такий, мас. %: SiO_2 – 1,59; FeO – 1,74; CaO – 4,67; La_2O_3 – 15,12; Ce_2O_3 – 24,23; Pr_2O_3 – 2,68; Nd_2O_3 – 9,89. Кристалохімічна формула гальгенбергіту-(Ce) має такий вигляд:



Отже, за результатами макро- та мікроаналітичних досліджень зрізці № 2 – це метаморфізований граніт. Порода зазнала метаморфізації за термодинамічних умов зеленосланцевої фації регіонального метаморфізму, що підтверджують результати обчислення температури мінералоутворювального середовища за хлоритовим геотермометром: від 239 до 294 °C.

Взрізць № 3 (див. рис. 3, в) має бурий до цегляного колір і кавернозну текстуру. Порода складена карбонатом, уламковим кварцом, слюдистим мінералом і плагіоклазом (рис. 12). Також у шліфі виявлено літоїд – уламок гірської породи, вірогідно, метаморфічного генезису.

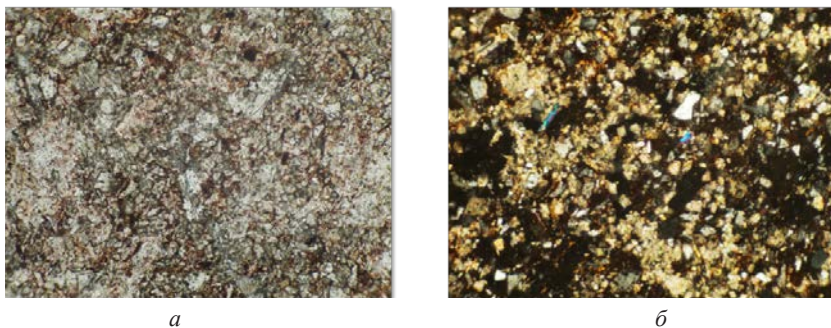


Рис. 12. Шліф взрізці № 3, $\times 60$: а – без аналізатора; б – з аналізатором

Мікроаналітичні дослідження засвідчили, що серед мінералів кількісно переважають карбонати (55–60 % породи). Вони представлені кальцитом і доломітом (рис. 13, табл. 4). Доломіт формує щільні масивні виділення з вкрапленнями кальциту й інших мінералів і має таку кристалохімічну формулу: $\text{Ca}_{1,02}(\text{Mg}_{0,80-0,93}\text{Mn}_{0,03-0,07}\text{Fe}^{2+}_{0,00-0,04})_{0,91-0,97}[\text{CO}_3]_2$. Кальцит представлений поодинокими зернами розміром близько 0,01 мм або розвинутий по системі тріщин. Його кристалохімічна формула $(\text{Ca}_{0,92}\text{Mn}_{0,03}\text{Mg}_{0,02})_{0,97}[\text{CO}_3]_2$.

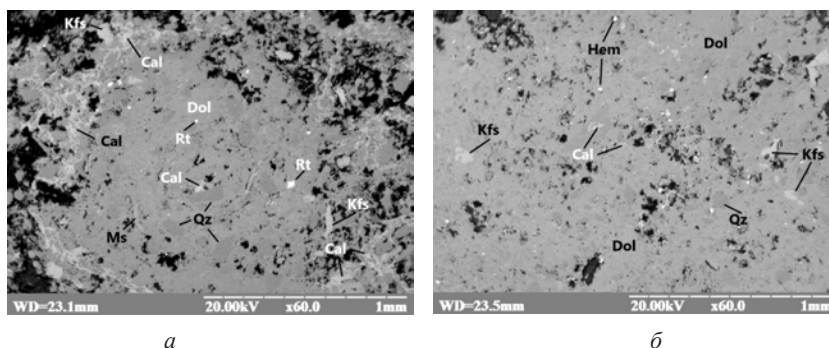


Рис. 13. BSE-зображення взірця № 3. Мінерали: калішпат – Kfs, кварц – Qz, кальцит – Cal, доломіт – Dol, гематит – Hem, рутил –Rt, мусковіт – Ms

Таблиця 4

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти карбонатів

Компоненти	Номер проби				
	4	6	7	11	16
SiO ₂	2,14	0,84	0,84	2,07	3,00
TiO ₂	0	0	0,20	0	0
Al ₂ O ₃	0,95	0,86	1,03	1,81	1,77
FeO	0,19	0,34	0	1,49	1,04
MnO	1,61	2,33	2,32	2,44	2,36
MgO	20,00	0,90	19,65	17,02	18,12
CaO	30,41	53,66	31,02	30,01	30,30
Na ₂ O	0	0,11	0,55	0,58	0,69
K ₂ O	0,15	0	0,09	0,16	0,23
Сума	55,45	59,06	55,7	55,58	57,51
Формульні коефіцієнти					
Mg	0,93	0,02	0,91	0,80	0,83
Mn	0,04	0,03	0,06	0,07	0,06
Fe	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03
Сума	0,97	0,05	0,97	0,91	0,92
Ca	1,02	0,92	1,03	1,02	1,00

Варіації хімічного складу досліджених карбонатів проілюстровано на трикомпонентній системі MgO–CaO–FeO (рис. 14).

Польові шпати у вигляді поодиноких зерен розміром близько 0,1 мм представлені, за результатами мікрозондового аналізу (табл. 5), лужними польовими шпатами і плагіоклазами. На трикутній діаграмі хімічного складу польових шпатів Na–K–Ca досліджені плагіоклази потрапляють у поле альбіту (рис. 15).

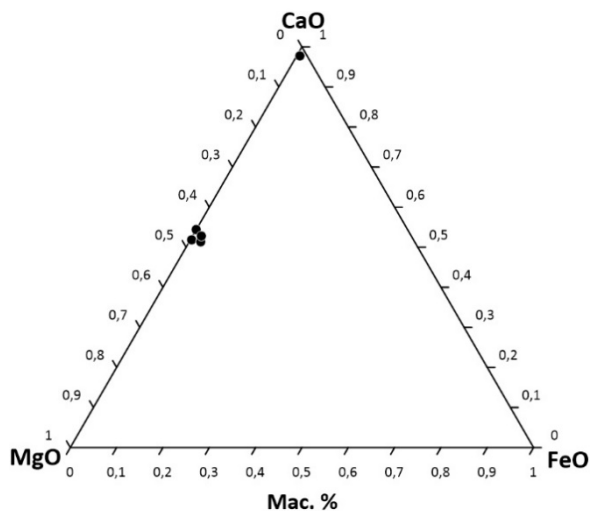


Рис. 14. Досліджувані карбонати на трикутній діаграмі MgO–CaO–FeO

Таблиця 5

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти польових шпатів

Компоненти	Номер проби						
	1	2	9	10	12	13	15
SiO ₂	61,90	63,42	60,95	61,48	67,21	62,05	63,29
TiO ₂	0,25	0,16	0,58	0,25	0,05	0,02	0,11
Al ₂ O ₃	18,30	22,09	17,96	18,35	19,16	18,12	22,64
FeO	0,00	0,13	0,28	0,07	0,32	0,27	0,24
MnO	0,00	0,21	0,37	0,31	0,07	0,00	0,00
MgO	1,27	0,81	1,44	1,01	1,30	0,96	0,60
CaO	0,28	0,67	0,40	0,65	0,21	0,36	0,00
Na ₂ O	1,30	12,45	1,36	0,96	11,58	0,98	13,11
K ₂ O	16,69	0,06	16,67	16,89	0,09	17,25	0,00
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульні коефіцієнти							
Na	0,12	1,08	0,13	0,09	1,00	0,09	1,14
K	1,01	0,00	1,01	1,02	0,01	1,04	0,00
Ca	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,00
Сума	1,14	1,12	1,16	1,15	1,01	1,15	1,14
Al	1,02	1,17	1,01	1,03	1,00	1,01	1,19
Si	2,89	2,80	2,86	2,88	2,94	2,91	2,79
Ti	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Сума	3,92	3,97	3,89	3,92	3,94	3,92	3,99

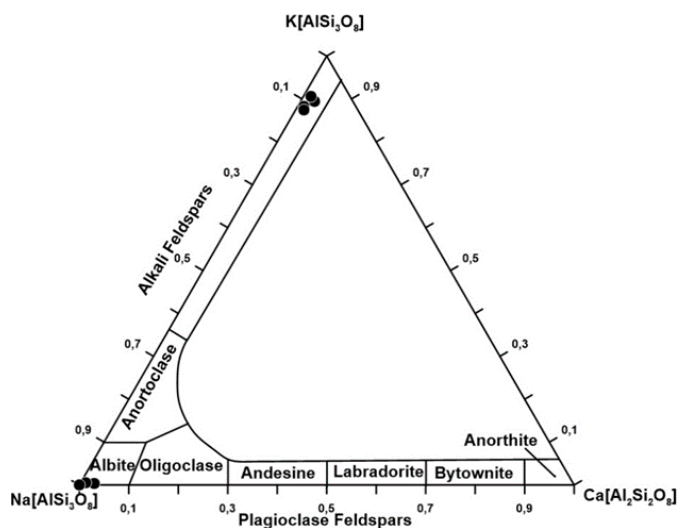


Рис. 15. Хімічний склад польових шпатів на трикомпонентній діаграмі Na–K–Ca

Мусковіт у породі утворює лускуваті до пластинчастих виділення завдовжки до 0,3 мм (див. рис. 13, а, 16). Його хімічний склад, за результатами мікроаналітичних досліджень, такий, мас. %: SiO₂ – 41,00–43,92; TiO₂ – 1,45; Al₂O₃ – 31,03–32,94; FeO – 1,35–2,07; MnO – 0,15; MgO – 2,15–2,30; CaO – 0,63–2,45; Na₂O – 1,51–1,70; K₂O – 9,83–11,16. Кристалохімічна формула мінералу така:

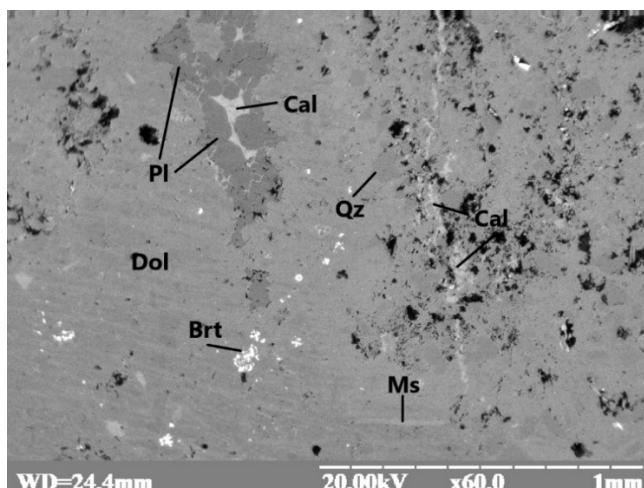
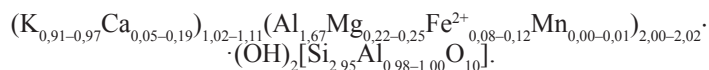


Рис. 16. BSE-зображення взірця № 3. Мінерали: доломіт – Dol, кальцит – Cal, мусковіт – Ms, кварц – Qz, плагіоклаз – Pl, барит – Brt

Рутил у вигляді поодиноких зерен розміром близько 0,01 мм має такий хімічний склад, мас. %: SiO_2 – 1,44; TiO_2 – 90,85; Al_2O_3 – 1,03; FeO – 0,17; MnO – 0,20; MgO – 2,32; CaO – 3,89. Його кристалохімічна формула така: $(\text{Ti}_{0,92}\text{Mg}_{0,05}\text{Al}_{0,02})_{0,99}\text{O}_2$.

Бурий колір взірця № 3 зумовлений, вірогідно, наявністю гематиту, який формує зерна неправильної форми розміром близько 0,01 мм. Хімічний склад гематиту, за результатами мікрозондового аналізу, такий, мас. %: SiO_2 – 7,68; TiO_2 – 7,26; Al_2O_3 – 1,53; Fe_2O_3 – 81,76–86,56; MnO – 0,15; MgO – 0,83–3,10; CaO – 0,25–5,06; Na_2O – 0,65; K_2O – 0,03–0,10. Відповідно, мінерал має таку кристалохімічну формулу: $(\text{Fe}^{3+}_{1,74-1,83}\text{Ti}_{0,05-0,08}\text{Al}_{0,03}\text{Mg}_{0,01-0,02})_{1,83-1,93}\text{O}_3$.

Отже, за результатами мікроскопічних та мікроаналітичних досліджень зроблено висновок, що взірець № 3 представлений кварц-карбонатною породою.

Обговорення результатів. Наші дослідження засвідчили, що серед вивчених взірців є такі породи, як граніт (взірець № 1), метаморфізований граніт (взірець № 2) і кварц-карбонатна порода (взірець № 3). Для всіх взірців характерна обкатана форма, що свідчить про їхнє транспортування від якихось корінних джерел.

Як доведено у праці [2], у формуванні затоки Фанді, Лаврентійського каналу та конуса виносу під час абляції Лаврентійського льодовикового щита й утворення місцевих льододілів важливу роль відігравали льодовикові потоки (рис. 17). На рис. 18 наведено моделі пересування льодовика з Лорантидів, Аппалачів та півострова Гаспе (Нова Шотландія, острів Принца Едуарда і східний Нью-Брансвік). Вирішальним напрямком є південний схід: Нью-Брансвік і півострів Гаспе, де, як видно на карті, переважають льодовики Аппалачів, на півночі мають винятково аппалачське походження [6], також частково наявний льодовиковий потік із Лорантидів.



Рис. 17. Карта-схема розташування та рельєф прилеглої території [6]

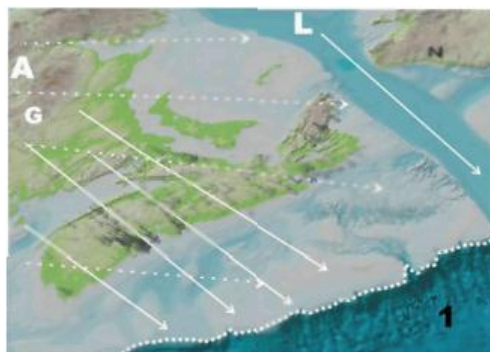


Рис. 18. Моделі пересування льодовика з Лорантидів (L), Аппалачів (A) та півострова Гаспе G [2]

Регіон Аппалачі – це палеозойський гірський пояс, або ороген. Це означає, що його породи зазнали впливу орогенезу, комбінованих ефектів складчастості, розломів, метаморфізму та плутонізму. Палеозойська складчастість і розломи кількох генерацій простягаються на північний схід [2, 6, 8]. Регіональні метаморфічні породи складають суцільні пояси у внутрішніх частинах орогена, а гранітні батоліти поширені на всій його довжині (рис. 19).

Отже, Лаврентійський льодовик, активний під час останнього (Віконсинського) зледеніння, рухався на південний схід. Аналіз шляхів його міграції та порівняння речовинного складу порід Аппалачського орогена з взірцями порід, відібраними з Лаврентійського конуса виносу, дали підстави припустити, що корінним джерелом досліджуваних нами порід був саме Аппалачський ороген.

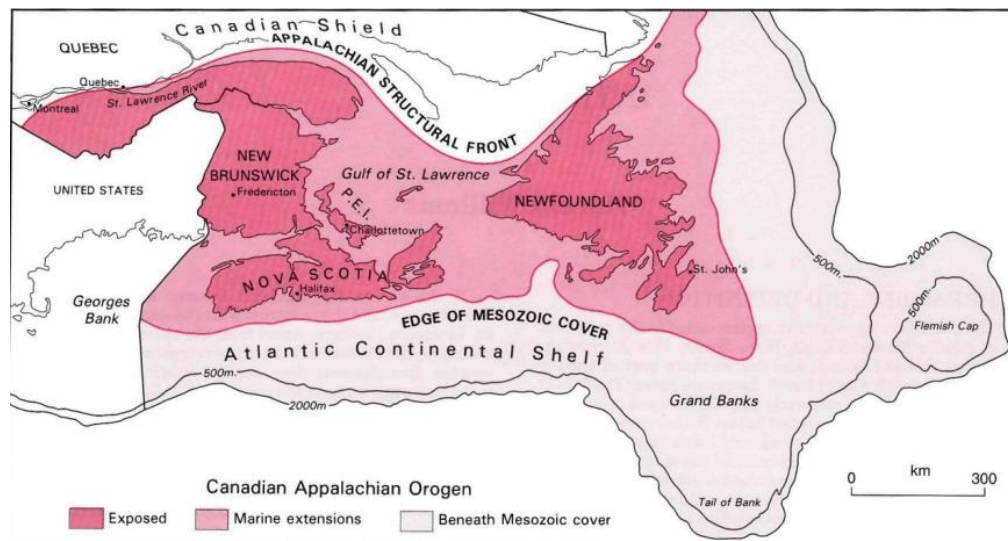


Рис. 19. Схематична карта регіону Канадських Аппалачів [8]

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білик Н.Т., Білай В.П., Побережська І.В., Войтович С.П. Дослідження взірця породи з дна північно-західної частини Атлантичного океану (40°57'36" N, 54°01'26" W, 4865 м). *Світ наукових досліджень*. Випуск 25: матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції. м. Тернопіль, Україна, м. Ополь, Польща, 14–15 грудня 2023 р. 362 с. С. 321–325. <http://www.economy-confer.com.ua/full-article/5154/>.
2. Finkl Ch.W., Fairbridge Rh.W. *Encyclopedia of Sciences Series*. <https://www.springer.com/series/5898/editors>.
3. Jambor J.L., Roberts A.C. New Mineral Names. *American Mineralogist*. 2004. Volume 89, p. 1826–1834.
4. Leng W., Dobeneck T., Just J., Aline G., Guillaume St-Onge, David J.W. Piper. Compositional changes in deglacial red mud event beds off the Laurentian Channel reveals source mixing, grain-size partitioning and ice retreat. 2019. P. 1–2.
5. Mosher D.C., Piper D.J.W. Multibeam seafloor imagery of the Laurentian Fan and the 1929 Grand Banks landslide area. Geological Survey of Canada, Open File 5638, 2007. Poster.
6. Olejczyk P., Gray J. T. The relative influence of Laurentide and local ice sheets during the last glacial maximum in the eastern Chic-Chocs Range, northern Gaspé Peninsula, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2007. 44 (11), 1603–1625.
7. Philibert G., Todd B.J., Campbell D.C., King E.L., Normandeau A., Hayward S.E., Patton E.R., Campbell L. Updated surficial geology compilation of the Scotian Shelf bioregion, offshore Nova Scotia and New Brunswick, Canada; Geological Survey of Canada. 2022.
8. Willams H. (edited). *Geology of the Appalachian-Caledonian orogen in Canada and Greenland*. *Geology of Canada*, 1995. no. 6. 101 p. <https://cboxgeopark.org/wp-content/uploads/2019/02/GEOLOGY-OF-THE-APPALACHIAN-OROGEN-June-2015.pdf>.
9. Yavuz F., Öztaş T. BIOTERM – a program for valuating and plotting microprobe analyse softbitite from barren and mineralized magmatic suites. *Computers & Geosciences*. 1997. Vol. 23. N 8. P. 897–907.
10. Zane A., Weiss Z. *Rend. Lincei. Sci. Fis. Nat.*, 1988. Iss. 9, pp. 51–56. <https://doi.org/10.1007/BF02904455>.

REFERENCES

1. Bilyk N.T., Bilai V.P., Poberezhska I.V., & Voitovych S.P. Doslidzhennia vzirtsia porody z dna pivnichno-zakhidnoi chastyny Atlantychnoho okeanu (40°57'36" N, 54°01'26" W, 4865 m) [Study of a rock sample from the bottom of the northwestern part of the Atlantic Ocean (40°57'36" N, 54°01'26" W, 4865 m)]. *Svit naukovykh doslidzhen*. Vypusk 25: materialy Mizhnarodnoi multydystrylinarnoi naukovoï internet-konferentsii. m. Ternopil, Ukraina, m. Opole, Polshcha, 14–15 hrudnia 2023 r.). 362 p. P. 321–325. <http://www.economy-confer.com.ua/full-article/5154/> [in Ukrainian].
2. Finkl, Ch.W., & Fairbridge, Rh.W. (editors) *Encyclopedia of Sciences Series*. <https://www.springer.com/series/5898/editors> [in English].
3. Jambor, J.L., & Roberts, A.C. (2004). New Mineral Names. *American Mineralogist*, Volume 89, p. 1826–1834 [in English].
4. Leng, W., Dobeneck, T., Just, J., Aline, G., Guillaume St-Onge, & David J.W. Piper. (2019). Compositional changes in deglacial red mud event beds off the Laurentian Channel reveals source mixing, grain-size partitioning and ice retreat. P. 1–2 [in English].
5. Mosher, D.C., & Piper, D.J.W. (2007). Multibeam seafloor imagery of the Laurentian Fan and the 1929 Grand Banks landslide area. Geological Survey of Canada, Open File 5638, Poster. [in English].
6. Olejczyk, P., & Gray, J.T. (2007). The relative influence of Laurentide and local ice sheets during the last glacial maximum in the eastern Chic-Chocs Range, northern Gaspé Peninsula, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 44 (11), 1603–1625 [in English].
7. Philibert, G., Todd, B.J., Campbell, D.C., King, E.L., Normandeau, A., Hayward, S.E., Patton, E.R., & Campbell, L. (2022). Updated surficial geology compilation of the Scotian Shelf bioregion, offshore Nova Scotia and New Brunswick, Canada; Geological Survey of Canada [in English].
8. Willams, H.(edited) (1995). Geology of the Appalachian-Caledonian orogen in Canada and Greenland. *Geology of Canada*, no. 6. 101 p. Retrieved from: <https://caboxgeopark.org/wp-content/uploads/2019/02/GEOLOGY-OF-THE-APPALACHIAN-OROGEN-June-2015.pdf> [in English].
9. Yavuz, F., & Öztaş, T. (1997). BIOTERM – a program for valuating and plotting microprobe analyse softbiotite from barren and mineralized magmatic suites. *Computers & Geosciences*. Vol. 23. N 8. P. 897–907 [in English].
10. Zane, A., & Weiss, Z. (1998). *Rend. Lincei. Sci. Fis. Nat.*, Iss. 9, pp. 51–56. <https://doi.org/10.1007/BF02904455> [in English].

Стаття надійшла до редакції 02.05.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

CHARACTERISTICS OF ROCK SAMPLES SELECTED FROM THE LAURENTIAN CONE (NORTHWESTERN PART OF THE ATLANTIC OCEAN)

Nataliia Bilyk¹, Iryna Poberezhska¹, Veronika Bilai¹, Anzhela Shevchuk²
nataliya.bilyk@lnu.edu.ua

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

²Lviv Polytechnic National University,
12, Bandery St., Lviv, Ukraine, 79013

The Lawrence Cone is a depository of Pleistocene glacial sediments. It was formed by the Neogene fluvial system and later was “captured” by the glacial flow of the Lawrence Gulf, which moved in a southeast direction and was active during the last (Visconsin) glaciation. The rocks of the Laurentian outcrop cone have rounded, smoothed surfaces, which indicates their migration from the original sediments over considerable distances. According to the results of our research, these are the following rocks: granite, metamorphosed granite, and quartz-carbonate rock.

Mineral composition (according to microprobe analysis) of granite: feldspar, quartz, mica, epidote, chlorite, carbonate (calcite); ore minerals – magnetite; accessories – titanite, zircon. Mineral composition of metamorphosed granite: mica (siderophyllite), quartz, acidic plagioclase (oligoclase), chlorite, carbonate and ore mineral. The granite was metamorphosed in the thermodynamic conditions of the greenschist facies of regional metamorphism, which confirm the results of calculating the temperature of the mineral-forming environment using a chlorite thermometer: from 239 to 294 °C. One grain of the rare mineral halgenbergite-(Ce) was discovered. It is an aqueous carbonate-(Ce) $\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd})_2(\text{CO}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, which forms acicular to rosette-like formations. Quartz-carbonate rock is composed of carbonates (calcite, dolomite), quartz, feldspars (albite, alkali feldspar), muscovite. The migration paths of the Lawrence Glacier, which moved in a southeast direction and was active during the last (Wisconsin) glaciation, were analyzed. Having compared the material composition of the rocks taken from the Laurentian Cone of Outcrop with the rocks that form the Appalachian Orogen, we came to the conclusion that the latter can be considered the original source of the rocks we studied.

Key words: Laurentian drift cone, granite, feldspar, glacial deposits, Appalachian orogen.

УДК 550.4:552.53+553.2(510)

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОЛІГАЛІТУ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ БАСЕЙНУ КАЙДАМ, КНР

¹**Анатолій Галамай**, канд. геол. наук, ст. наук. сп.,
зав. відділу геохімії осадових товщ нафтогазоносних провінцій
galamaytolik@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-4864-6401>

²**Юрій Садовий**, головний геолог
ysadovyi@gmail.com
²Державна установа «Державний науково-дослідний
і проектний інститут основної хімії»,
вул. Мирносицька, 25, Харків, Україна, 61002

³**Fanwei Meng**, Prof Dr, Head of the Paleontology and Stratigraphy Group School
of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology (CUMT)
Visiting Professor, Qinghai Salt Lake Research Institute, Chinese Academy of Sciences
fwmeng@isl.ac.cn

³Nanhu Campus, China University of Mining and Technology,
No. 1, Daxue Road, Xuzhou, Jiangsu Province, China

¹**Дарія Сидор**, канд. геол. наук
dariasydor@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-5704-3748>

¹Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3а, Львів, Україна, 79060

Поклади полігаліту в Кунтей-Плайя в басейні Кайдам у Китаї відомі вже багато років. Однак механізм утворення цих відкладів дотепер є нез'ясованим. У цьому дослідженні обрано типовий розріз цих відкладів у північно-західній частині басейну для комплексного аналізу полігалітових покладів, що включає седиментологічні, мінералогічні і термобарогеохімічні дослідження.

Встановлено наступне: 1. Температура придонних розсолів під час формування відкладів нижньої частини досліджуваного розрізу коливалась від 30,8 до 80,2°C. Очевидно, з температурним режимом придонних розсолів під час осадконакопичення пов'язані особливості седиментогенезу, зокрема, перетворення гіпсу → полігаліт; 2. Згідно термобарогеохімічних даних, на стадії седиментогенезу змішування прісних вод, збагачених на $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, із концентрованими сульфатними розсолами басейну викликало осадження гіпсу (висолювання гіпсу), який під дією щільної придонної ропи переходив у полігаліт. Такий механізм формування полігаліту був основним на досліджуваній території, що підтверджується закономірним збільшенням процентної частки уламкових компонентів при одночасному зростанні процентної частки полігаліту і гіпсу, та навпаки – її (уламкових компонентів) зменшення, при зростанні процентної частки галіту і зменшенні процентної частки полігаліту і гіпсу у розрізі відкладів; 3. Морфологія полігалітових утворень вказує на те, що цей мінерал утворювався також на дні басейну седиментації при розвантаженні порових і міжкристалічних розсолів хемогенно-теригенних осадів, що ущільнювалися; 4. Релікти калійно-магнієвих мінералів у досліджуваних зразках та підвищений вміст магнію у розсолах вторинних включень у галіті не виключають можливості виникнення частини полігаліту внаслідок заміщення сільвину і карналіту при надходженні кальцію з розчинами із розташованих поруч нафтових покладів.

Ключові слова: полігаліт, флюїдні включення, галіт, температура гомогенізації.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.08>

© Галамай Анатолій, Садовий Юрій, Meng Fanwei, Сидор Дарія, 2024

Вступ. Полігаліт відомий у багатьох галогенних формаціях світу, де є одним із калійвмісних мінералів. Використання його в якості безхлорного (K-Mg-Ca-SO₄) добрива Polysulphate™ <https://polysulphate.com/mu-ru/polysulphate-science/>, та винайдені способи отримання комплексного мінерального добрива з цього мінералу <https://patents.google.com/patent/RU2276123C2/>, привертають все більшу увагу виробників добрив до полігалітових покладів.

Постановка проблеми у роботі полягає у вдосконаленні теорії полігалітової мінералізації для забезпечення теоретичної основи фундаментальних і прикладних досліджень полігаліту.

Аналіз попередніх досліджень. Через різноманітні можливі шляхи їхнього виникнення в залежності від фізико-хімічної характеристики середовища, особливості формування полігаліту до сьогодні дискутуються. В інтенсивно дислокованих соляних покладах полігаліт, порівняно з іншими калійно-магнієвими соляними мінералами, має вищі значення фізико-механічних характеристик і значно нижчу розчинність, що є передумовою для збереженості полігалітових утворень у процесі інтенсивних деформацій, яких зазнали галогенні формації [7]. У зоні гіпергенезу увесь калійно-магнієвий полімінеральний пласт за певних умов може перетворитися у полігаліт. Припущення, що утворення полігаліту пов'язане із заміщенням мінералів соленосних відкладів (гіпсу, ангідриту, сингеніту, сильвіну, карналіту, каїніту, глазериту та ін.) на постседиментацій стадії соленосного покладу є превалюючим у науковій літературі [7; 14–16; 19; 23; 28; 31]. Також припускається, що полігаліт може виникати в результаті взаємодії глибинних хлор-кальцієвих розсолів і розсолів збагачених калієм та магнієм на різних стадіях формування відкладів, зокрема під час седиментогенезу [14; 27; 29]. Аналіз форм полігалітових виділень в різних типах калійних порід Прикарпаття свідчить про те, що питання його утворення є значно складнішим, ніж це впливає із теоретичних припущень [8]. Особливе прикладне значення у цьому контексті мають роботи [4; 17]. Гострі дискусії щодо формування полігаліту соляних відкладів стосуються механізму полігалітизації, а також походження та хімічного складу розчинів під час цього процесу. Розв'язання означених питань має важливе значення для пояснення еволюції морських солеродних басейнів та континентальних соляних озер у складних басейнових системах.

Досліджувана нами Кунтей-Плайя розташована в північній частині басейну Кайдам у Китаї та відома своїми великомасштабними сучасними озерними відкладами полігаліту з геологічними запасами приблизно 200 мільйонів тон [20]. Дотепер механізм утворення полігаліту цього басейну не вивчений. **Метою роботи** було встановлення еволюції розсолів басейну та механізму відкладення полігаліту Кунтей-Плайя. Задля цього проведено комплексне дослідження петрографії і мінералогії осадових порід та термобарогеохімічне вивчення флюїдних включень у галіті Кунтей-Плайя.

Геологічна ситуація. Басейн Кайдам, розташований на півночі Цинхай-Тибетського плато на висоті 3000 м н.р.м. і займає площу 120 000 км². Він приурочений до тектонічних поясів гір Цілянь, Куньлунь і Алтин, які контролювали еволюцію басейну. Басейн Кайдам утворився в результаті багатоступеневої зсувної діяльності, що супроводжувалася значним підняттям поясу Алтинського розлому починаючи з кайнозою [21; 33]. Встановлено принаймні три періоди активізації тектонічного режиму (~30 млн. років, ~8 млн. років і ~2,6 млн. років) протягом кайнозою, які вплинули на розвиток басейну [26]. Відслонення кайнозойських товщ відомі уздовж північного і західного країв басейну. Знизу догори ці товщі складаються з семи формацій: Лулехе (E₁₋₂), Нижній Ганчайгоу (E₃), Верхній Ганчайгоу (N₁), Нижній Юшашань (N₂¹), Верхній Юшашань (N₂²), Шизігоу (N₂³) і Цігецюань формації (Q₁₋₂) [30].

Кунтей-Плайя займає площу 1680 км² у північно-західній частині басейну Кайдам (рис. 1). Вона характеризується надзвичайно сухим кліматом із середньою кількістю опадів лише 15,7 мм на рік, тоді як середня швидкість випаровування досягає 3095,9 мм на рік [35]. Окрім однієї сезонної річки (р. Циншуй) тут немає інших поверхневих вод, що робить її замкненим басейном, оточеним тектонічними поясами Еболян на заході, Хулушань на півдні та Ленху на сході [30]. Плайя була відокремлена від стародавнього пан-озера в басейні Кайдам і перетворена в ізольований суббасейн під час тектонічних рухів в пізньому пліоцені [34]. Протягом раннього та середнього плейстоцену осадове середовище басейну відповідало умовам солоного озера і солоно-напівсоленого озера, що чергувалися. Середовище солоного озера характеризувалося відкладенням галіту, тоді як відкладення гіпсу було характерним для солоно-напівсоленого водного середовища. Під час пізнього плейстоцену він був зачеплений неотектонічними рухами; західна частина басейну Кайдам продовжувала підніматися, а Кунтей-Плайя вже була ізольованою. У цей час глибина озера Кунтей була меншою, ніж під час раннього та середнього плейстоцену і осадове середовище змінилося з солоно-напівсоленого на середовище солоного озера. Починаючи з пізнього пліоцену та четвертинного періоду, підняття гір Куньлунь і Алтин-Таг спричинило розвиток кількох сателітних басейнів, і ці басейни зрештою перетворилися на плайї з кліматичним висиханням [10]. Галогенез відбувався переважно у проміжку від 0,97 млн. до 0,03 млн. років з випадінням галіту і гіпсу як основних мінералів та мірабіліту і полігаліту, як другорядних [11; 30].

Полігаліт в основному поширений у плейстоценовому шарі на західній стороні басейну, і його відкладення, ймовірно, відбулося протягом середнього та пізнього етапу середнього плейстоцену [32]. Глибина залягання лінзовидних полігалітових відкладів становить близько 6–65 м, потужність рудного пласта не перевищує 18,1 м. Максимальна потужність окремого полігалітового шару в рудному пласті становить 12 м, а мінімальна – 0,3 м. Результати хімічного аналізу показали, що середній вміст K₂SO₄ становить 3,95% [23].

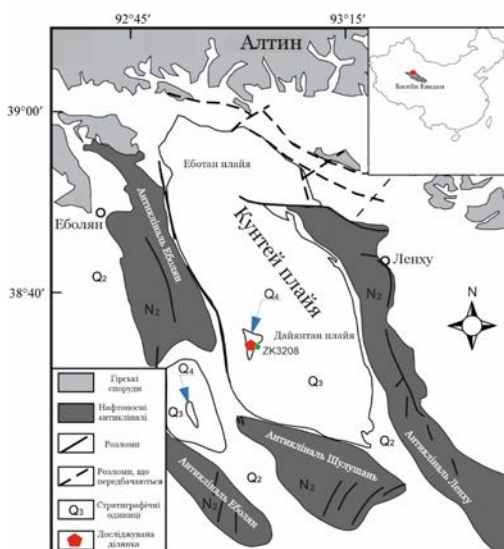


Рис. 1. Розміщення Кунтей-Плайя і ділянки досліджень у басейні Кайдам

Методи і матеріал дослідження. Досліджено ділянку уступового відслонення високою 5,7 м поблизу свердловини ZK3208 у Кунтей-Плаїя, де соленосні відклади містили полігаліт (див. рис. 1). Згідно із літологічною особливістю розрізу, відібрано сімнадцять зразків (BD-01 – BD-17) (рис. 2). Для забезпечення репрезентативності зразків перед відбором проб видаляли вивітрилі породи поверхні відслонення до досягнення корінної незміненої породи.

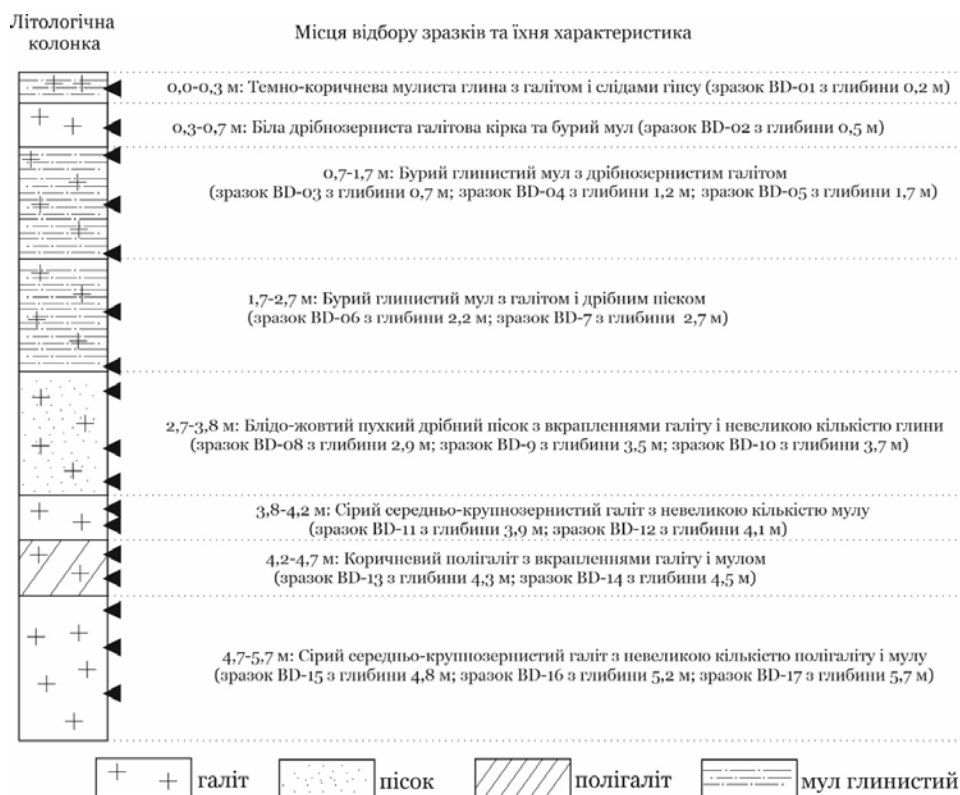


Рис. 2. Літологічний розріз досліджуваної ділянки з місцями відбору зразків

Мінералогічні дослідження склалися з трьох основних частин. Спочатку кожні 100 г репрезентативного зразка подрібнювали до 60 меш, а 3–5 г зважували і подрібнювали до 200 меш. Потім зразки сканували за допомогою рентгенівської дифракції (XRD) (X'Pert Pro) з робочими умовами 30 мА та 40 кВ. Три зразки (BD-10, BD-13 і BD-14) з високою часткою полігаліту були відібрані для аналізу мікроморфології та хімічних компонентів на скануючому електронному мікроскопі з енергодисперсійним спектрометром (SEM-EDS) (серія JSM-5610LV/INCA, максимальна роздільна здатність HV3,5 нм, мінімальна роздільна здатність LV5,0 нм, збільшення: 35–30 мільйонів разів). Ці експерименти проводилися в Аналітичному центрі Солт-Лейк при Цинхайському Інституті соляних озер Академії наук Китаю.

Для вимірювання температури гомогенізації включень у галіті використовували метод охолоджуючої нукліації [1; 3; 24]. Спочатку з обраного кристалу галіту за допомогою леза бритви по площині спайності відокремлювали зріз товщиною близько 1 мм. Потім

проводилися детальні петрографічні спостереження на кожному сегменті з визначенням генетичного типу включень. Всі зразки були охолоджені до -18°C . При появі бульбашок розчиненого газу, температуру гомогенізації вимірювали на термометричний установці з термокамерою конструкції В. А. Калюжного [2].

Ультрамикрохімічний аналіз розчинів включень виконувався за модернізовану методику ультрамикроаналізу (метод скляних капілярів), що докладно описана у роботах [5; 12].

Отримані результати. Згідно проведених літологічних досліджень, відклади у верхній секції (від 2,70 м до поверхні) в основному складаються з темно-коричневого мулу або дрібного піску з галітом. Нижня секція поділяється на чотири частини (див. рис. 2): 1 – шар галіту, що містить сіру глину, з великими кристалами галіту із розміром граней 0,3–1,5 см; 2 – солевмісний піщаний шар від білого до сірого кольору, в якому уламкової складової більше, ніж в інших шарах. Тут також відмічається локальні білі смуги, що містять полігаліт; 3 – коричнево-сіро-біла кам'яна сіль + полігаліт потужністю 50 см, з горизонтальним шаром, збагаченим полігалітом. Розподіл полігаліту у цій частині мінливий, у білій матриці його вміст вищий, ніж у сіро-жовтій; 4 – шар, що складений середньо- і крупнозернистими кристалами галіту сірого або сіро-білого кольору із полігалітом у сірому мулі.

Дані мікроскопії і результати рентгенографії (XRD) показали, що соляні мінерали в основному складаються з дрібно- та крупнозернистого галіту, сірого масивного полігаліту та гіпсу (табл. 1). Крім того, у верхній частині розрізу виявлено силвін та сингеніт. Галіт присутній у кожному з шарів, його вміст у мінеральному складі порід коливається від 9 до 98%. Полігаліт, який має дрібнозернисту структуру із розмірами зерен від 0,01 до 0,05 мм, поряд із галітом, також є одним з основних соляних мінералів у більшості шарів. Тип його монокристалів листоподібний, голчастий та волокнистий. Відсоток полігаліту у мінеральному складі породи в більшості шарів не перевищує 20–30% і лише в окремих сягає понад 50%.

Таблиця 1

Мінеральний склад досліджуваних зразків (%)

Зразок	Глибина, м	Галіт	Полігаліт	Гіпс	Доломіт	Кальцит	Мусковіт	Уламкові		
								Кварц	Альбіт	Шамозит
BD-01	0,2	43	11	2	–	1	38	6	–	–
BD-02	0,5	26	–	8	2	1	30	9	11	12
BD-03	0,7	63	–	–	–	–	2	–	5	–
BD-04	1,2	58	13	12	–	–	–	16	–	–
BD-05	1,7	19	10	9	2	2	23	18	13	4
BD-06	2,2	10	14	10	1	2	20	23	15	4
BD-07	2,7	9	–	12	3	4	30	6	23	13
BD-08	2,9	19	19	–	2	–	7	36	17	1
BD-09	3,5	32	31	–	–	–	6	22	8	–
BD-10	3,7	29	31	–	5	–	–	27	9	–
BD-11	3,9	85	11	–	–	–	–	4	–	–
BD-12	4,1	65	16	–	–	–	2	7	7	3
BD-13	4,3	35	43	–	–	–	5	15	–	2
BD-14	4,5	18	54	–	–	–	5	20	–	3
BD-15	4,8	52	22	–	–	–	–	12	15	–
BD-16	5,2	98	–	–	–	–	–	2	–	–
BD-17	5,7	98	–	–	1	–	–	1	–	–

Гіпс виявлений лише у верхній частині (0–2,7 м) розрізу і не виявлений у нижній його частині (2,7–5,7 м). Крім того, у мінералогічному складі зразків встановлено кварц, альбіт, шамозит і мусковіт.

За допомогою SEM встановлено жовновий полігаліт, оточений середньо-крупнозернистими кристалами галіту та глинистими мінералами. Мінеральні спектри з EDS зразків BD-13 та BD-14 показують, що окрім полігаліту, який був точкою сканування, тут наявні також калійні мінерали, такі як сильвін (KCl) і карналіт (KMgCl₃·H₂O).

Згідно термометричних досліджень, температура гомогенізації включень у галіті коливається в межах 22,9–80,2°C, а середнє значення у різних зразках становить від 27,4 до 71,8°C (табл. 2).

Таблиця 2

Температура гомогенізації первинних флюїдних включень у галіті

Зразок	Кількість досліджених включень	Розмір включень, мкм	Фазовий стан при 25°C	Діапазон температур гомогенізації, °C	Середня температура гомогенізації, °C
BD-12	5	12–20	Рідкі	22,9–30,8	27,4
BD-13	5	12–30	–/–	43,1–58,8	54,9
BD-14	3	11–14	–/–	44,1–57,8	52,3
BD-16	2	20	–/–	47,1–53,1	50,1
BD-17	11	10–24	–/–	54,9–80,2	71,8

Згідно ультрамікрохімічного аналізу, розсоли включень у галіті відносяться до Na-K-Mg-Cl-SO₄ типу з вмістом кальцію менше за 0,5 г/л. У первинних включеннях вміст калію, магнію і сульфату коливається в межах відповідно (в г/л): 29,7–39,0; 56,1–71,8; 47,4–80,6; у вторинних включеннях – 2,0–33,1; 46,3–119,2; 30,2–86,6 (табл. 3).

Таблиця 3

Хімічний склад розчинів включень у галіті

Зразок	Тип включень	Вміст, г/л (у дужках кількість аналізів)		
		K ⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
BD-11-1	Первинні	39,0 (4)	71,8 (2)	80,6 (2)
BD-11-2	–/–	29,7 (2)	65,4 (3)	47,4 (2)
BD-16-1	–/–	31,8 (2)	57,0 (4)	47,6 (2)
BD-17-1	–/–	35,0 (3)	56,1 (2)	53,8 (3)
BD-11-1	Вторинні	32,3 (2)	46,3 (1)	39,8 (2)
BD-11-2	–/–	33,1 (2)	77,8 (2)	86,6 (4)
BD-16-1	–/–	2,0 (2)	119,2 (1)	38,3 (2)
BD-17-1	–/–	14,3 (1)	97,3 (1)	30,2 (3)

Інтерпретація результатів і дискусія. Первинні включення у галіті Кунтей-Плайя однофазові рідкі. Такі включення характерні для галіту сучасних соляних озер і для галіту багатьох древніх соляних товщ, які не прогрівались на постседиментаційному етапі вище за 50–60°C [5; 9]. Дослідження особливостей утворення газової фази у рідких включеннях при охолодженні галіту свідчать про наступне: у рідких включеннях з висококонцентрованими (стадії садки калійних солей) розсолами і низькоконцентрованими (стадії садки галіту) з високим вмістом MgCl₂, отримати газову фазу шляхом охолодження галіту проблематично [1].

Отже, відмічається залежність наявності у природніх «високотемпературних» кристалах галіту чи виникнення (у разі охолодження мінералу) газового пухирця у флюїдних включеннях від густини та хімічного складу розчинів. Зважаючи на відсутність газової фази у включеннях галіту Кунтей-Плайя за високотемпературної кристалізації, очевидно, фазовий склад включень передусім контролювався зазначеними факторами. При інтерпретації результатів гомогенізації газиво-рідких і первісно однофазових рідких (із отриманою газовою фазою шляхом охолодження мінералу) включень у галіті слід враховувати експериментальні дані по дослідженню включень у штучно вирощених і природніх кристалах галіту. Згідно з цими даними максимальна визначена у зразку температура відповідає істинному значенню [9; 24]. Отже, у придонних шарах досліджуваного басейну (утворення відкладів інтервалу 4,3–5,7 м) впродовж соленагромадження температура коливалась від 30,8 до 80,2°C. Екстремальний високотемпературний режим кристалізації на дні солеродного басейну міг досягатися завдяки виникненню вертикальної термохалінної структури у седиментаційному басейні, що складається переважно з трьох шарів: 1. Верхнього малопотужного прісного або слабо-мінералізованого – міксолімніу (утворювався за рахунок припливу поверхневих/грунтових прісних вод, атмосферних опадів); 2. Середнього – хемокліну; 3. Придонного – монімолімніону [13]. Світлова енергія сонця в хемокліні перетворювалася на теплову та витрачалася на нагрівання монімолімніону, максимальна придонна температура в сучасних озерах сягає 70°C, а в давніх басейнах встановлено температуру 73,5°C [13]. У природі існує обмежена кількість гелеотермальних озер, через цілу низку умов, що мають збігтися. В залежності від фізико-хімічних умов водних шарів озера він може існувати як цілорічно, так і в обмеженому часовому проміжку – декілька днів або місяців. Раніше проведені дослідження температури гомогенізації включень у галіті з ділянки, розташованої в 10 км на південний схід (розріз від денної поверхні до глибини 75,3 м), показали, що формування полігаліту також відбувалось у басейні і за значно нижчої температури, що становила 17,1–35,5°C [18]. Температура сучасних озерних розсолів басейну Кайдам коливається в межах 17,9–38,2°C [37]. Проте, на підтвердження отриманих нами температурних значень формування полігаліту під час седиментогенезу, свідчать дослідження ізотопів Mg^{2+} полігаліту та астраханіту басейну, на основі яких раніше було зроблено припущення, що на цій території періодично (0,39 млн. років тому, 0,36 млн. років тому та 0,12 млн. років тому) міг існувати теплий сухий клімат із температурою розсолу до ~70°C [22].

Згідно даних ультрамікрохімічних досліджень розчинів включень у галіті, розсоли басейну характеризувалися високою концентрацією іонів стадії садки калійно-магнієвих солей (див. табл. 3). Незвично високий вміст калію, що не є характерним для басейнів континентального типу, обумовлений надходженням продуктів руйнування і вивітрювання порід (переважно засолених третинних відкладів), що складають гірське обрамлення западини [36].

Компактне розташування точок хімічного складу розсолів первинних включень на трикутній діаграмі (рис. 3) свідчить про стабільність джерела солей у басейні, а значне коливання концентрації седиментаційних розсолів за невеликий проміжок часу (формування різних кристалів одного шару – зразок BD-11) (див. табл. 3) – про періодичне надходження у басейн прісних вод, збагачених на $Ca(HCO_3)_2$. Змішування прісних вод із концентрованими сульфатними розсолами басейну викликало осадження кальцію у вигляді гіпсу (висолювання гіпсу), який під дією щільної придонної ропи переходив у полігаліт (K_2O – 15,62; CaO – 18,6; MgO – 6,69; SO_3 – 53,11; H_2O – 5,98). Цей процес відзеркалений у відповідній зміні хімічного складу розсолів первинних включень у галіті. Таким чином надходження $Ca(HCO_3)_2$ з прісними водами – головне джерело кальцію у басейні.

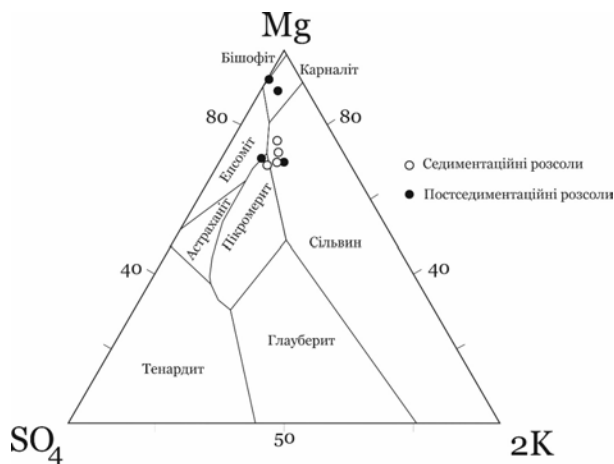


Рис. 3. Розташування точок хімічного складу флюїдних включень на метастабільній фазовій діаграмі системи K-Na-Mg-SO₄-Cl [25]

Дані ультрамікрохімічного аналізу розсолів вторинних флюїдних включень у галіті вказують на певні зміни хімічного складу постседиментаційних розсолів порівняно із складом седиментаційних. Розташування точок хімічного складу цих включень на трикутній діаграмі свідчить як про спорідненість постседиментаційних розсолів із седиментаційними, так і про процеси десульфатизації, катіонного обміну, адсорбції, та інші, що проходили у похованому покладі.

Морфологія полігаліту у вигляді жовнових утворень та обезсульфачування розсолів на постседиментаційній стадії також можуть свідчити про надходження кальцію на дно басейну при розвантаженні порових і міжкристальних розсолів хомогенно-теригенних осадів, що ущільнювалися, як це відбувалось у давніх солеродних басейнах, та спостерігається у сучасних [6]. Утворення полігаліту відбувалося за температури 30,8–80,2°C (нижня частина розрізу) із сульфатної ропи з середньою концентрацією калію і магнію відповідно 33,9 г/л і 62,6 г/л. Експериментальні дослідження показують, що за концентрації калію нижче 30 г/л, а магнію нижче 40 г/л, у сульфатній ропі йде зародження гіпсу, який у подальшому перетворюється у жовновий ангідрит [6].

Хоча нами не встановлено Na-K-Mg-Ca-Cl розсолів у вторинних флюїдних включеннях у галіті, проте релікти калійно-магнієвих мінералів у досліджуваних зразках та підвищений вміст магнію у розсолах вторинних включень (див. табл. 3) не виключають можливості виникнення частини полігаліту за схемою:



Джерелом кальцію могли виступати хлоркальцієві розсоли з низьким вмістом калію з розташованих поруч нафтових покладів [36].

Збільшення процентної частки уламкових компонентів при одночасному зростанні процентної частки полігаліту і гіпсу, та навпаки – її (уламкових компонентів) зменшення, при зростанні процентної частки галіту і зменшенні процентної частки полігаліту і гіпсу у розрізі відкладів (рис. 4) підтверджує вищенаведені факти, що основний механізм утворення полігаліту на досліджуваній території був наступний: надходження у басейн прісних вод → висолювання гіпсу → перехід гіпсу у полігаліт.

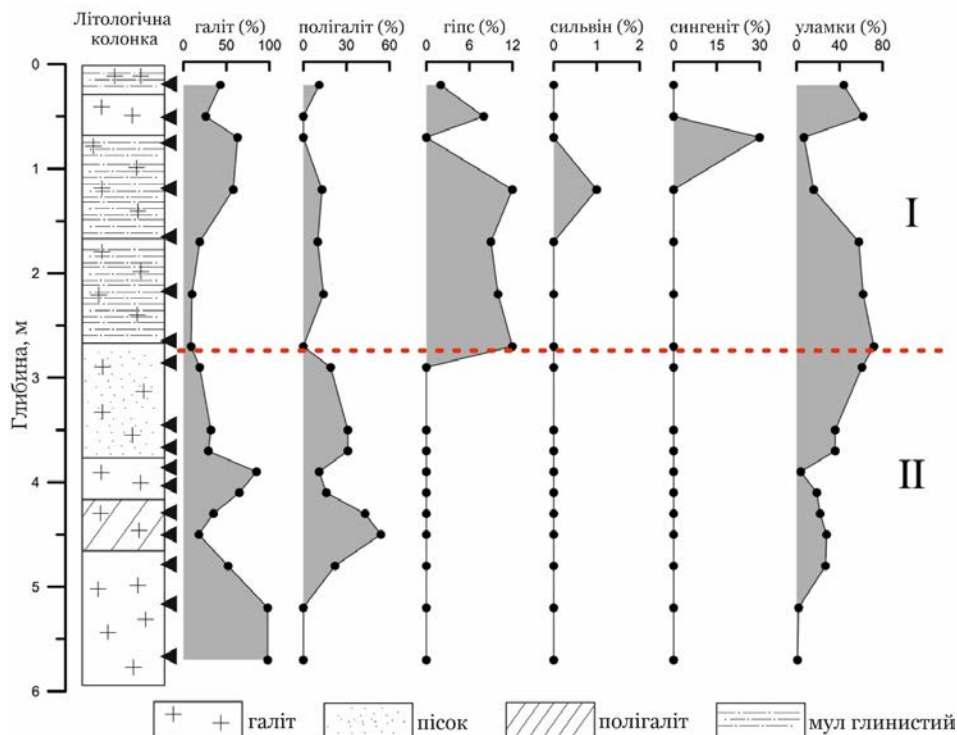


Рис. 4. Зміни частки компонентів порід у розрізі відкладів. Частина розрізу:
I – верхня частина; II – нижня частина

Відсутність гіпсу у нижній частині розрізу (від 2,7 до 5,7 м) та його наявність у верхній частині (до глибини 2,7 м) потребує подальшого дослідження. Найвірогідніше, це може бути пов'язане з особливостями температурного режиму придонних розсолів під час седиментогенезу. Принаймні, згідно термометричних досліджень, флюїдні включення у зразках BD-13 і BD-14 мають найвищу температуру гомогенізації, а у мінеральному складі цих зразків найвищий відсотковий вміст полігаліту.

Висновки. Застосування комплексного аналізу, що включає седиментологічні, мінералогічні і термобарогеохімічні дослідження, дозволило встановити фізико-хімічні умови формування полігаліту у північно-західній частині континентального басейну Кайдам. З аналізу отриманих результатів були зроблені наступні висновки:

1. Температура придонних розсолів під час формування відкладів нижньої частини досліджуваного розрізу коливалась від 30,8 до 80,2°C. З огляду на встановлену високу концентрацію розсолів стадії осадження калійних солей, та періодичний доплив у басейн прісних континентальних вод, слід передбачати стратифікацію водної товщі з утворенням термоэффекту. Очевидно, з температурним режимом придонних розсолів під час осадконагромадження пов'язані особливості седиментогенезу, зокрема перетворення гіпс→полігаліт, що потребує подальшого вивчення.

2. Періодичне надходження у басейн з Na-K-Mg-Cl-SO₄ типом розсолів прісних вод, збагачених на Ca(HCO₃)₂ відзеркалений у відповідній зміні хімічного складу розсолів первинних включень у галіті. Змішування прісних вод із концентрованими сульфатними розсолами

басейну викликало осадження кальцію у вигляді гіпсу (висолювання гіпсу), який під дією щільної придонної ропи переходив у полігаліт. Зазначений механізм формування полігаліту був основним на досліджуваній території. Збільшення процентної частки уламкових компонентів, при одночасному зростанні частки полігаліту і гіпсу, та навпаки – її зменшення, при зростанні частки галіту і зменшенні частки полігаліту і гіпсу, підтверджує цей висновок.

3. Морфологія окремих полігалітових утворень і обезсульфачування розсолів на пост-седиментаційній стадії можуть свідчити про надходження кальцію на дно басейну при розвантаженні порових і міжкристалічних розсолів хомогенно-теригенних осадів.

4. Релікти калійно-магнієвих мінералів у досліджуваних зразках та підвищений вміст магнію у розсолах вторинних флюїдних включень, свідчать про можливість виникнення частини полігаліту внаслідок заміщення сильвіну і карналіту у похованому покладі при надходженні кальцію з розчинами розташованих поруч нафтових покладів.

Встановлені особливості фізико-хімічних умов формування полігаліту Кунтей-Плайя вдосконалюють теорію полігалітової мінералізації та забезпечують теоретичну основу для фундаментальних і прикладних досліджень полігаліту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Галамай А., Сидор Д., Любчак О. Особливості появи газової фази в однофазових рідких включеннях у галіті (для визначення температури його кристалізації). *Мінералогія: сьогодні і майбуття. Матеріали VIII наукових читань імені академіка Євгена Лазаренка*. Львів-Чинадієве, 2014. С. 34–36.
2. Галамай А. Р., Зінчук І. М., Сидор Д. В. Модернізація апаратурного устаткування термометричного методу, особливості його використання для вивчення умов формування родовищ солей. *Геологічна будова та корисні копалини України: Збірник тез Всеукраїнської наукової конференції*. Київ, 2022. С. 157–159.
3. Галамай А. Р., Зінчук І. М., Сидор Д. В. Термометричні дослідження флюїдних включень у баденському галіті карпатського регіону у контексті встановлення глибини солеродного басейну. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 2023. 1–2 (189–190). С. 54–65.
4. Корінь С. С., Мосора Т. М. Визначення структурної позиції і кореляції шарів Калуш-Голінського родовища за допомогою маркуючої пачки полігалітових порід. *Осадкові породи і руди*, 1978. С. 172–177.
5. Петриченко О. Й. Методи дослідження включень у мінералах галогенних порід. *Київ: Наук. Думка*, 1973. 91 с.
6. Петриченко О. Й. Фізико-хімічні умови осадконагромадження у древніх солеродних басейнах. *Київ: Наук. Думка*, 1988. 128 с.
7. Садовий Ю. В., Садовий Ю. Ю. Полігаліт галогенних формацій Передкарпаття: форми знаходження, генезис та розшукове значення. *Мінералогічний збірник*, 2012. 62 (2). С. 216–227.
8. Садовий Ю. В., Садовий Ю. Ю. Полігаліт в міоценових галогенних формаціях Передкарпатського прогину. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*, 2021. 5. С. 111–117.
9. Acros D., Ayora C. The use of fluid inclusions in halite as environmental thermometer: an experimental study. *XIV ECROFI*, 1997. P. 10–11.
10. Chen K., Bowler J. M. Late Pleistocene Evolution of Salt Lakes in the Qaidam Basin, Qinghai Province, China. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 1986. 54. P. 87–104.
11. Han F., Huang Q., Wang K., Wang H., Yuan L. Study of Geochemical Evolution and Palaeoclimatic Fluctuation of Kuntayi Salt lake in the Qaidam Basin, Qinghai. *Oceanologia et Limnol. Sin.*, 1995. 26 (5). P. 502–508.

12. Galamay A. R., Bukowski K., Sydor D. V., Fanwei M. The Ultramicrochemical Analyses (UMCA) of Fluid Inclusions in Halite and Experimental Research to Improve the Accuracy of Measurement. *Minerals*, 2020. 10 (9). 12 pages. <https://doi.org/10.3390/min10090823>
13. Galamay A. R., Karakaya M. Ç., Bukowski K., Karakaya N., Jaremchuk S. V. Geochemistry of Brine and Paleoclimate Reconstruction during Sedimentation of Messinian Salt in the Tuz Gölü Basin (Türkiye): Insights from the Study of Fluid Inclusions. *Minerals*, 2023. 13 (2). 22 pages. <https://doi.org/10.3390/min13020171>
14. García-Veigas J., Cendón D. I., Rosell L., Ortí F., Torres Ruiz J., Martín J. M. Salt Deposition and Brine Evolution in the Granada Basin (Late Tortonian, SE Spain). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2013. 369. P. 452–465.
15. Harville D. G., Fritz S. J. Modes of Diagenesis Responsible for Observed Succession of Potash Evaporites in the Salado Formation, Delaware Basin, New Mexico. *J. Sediment. Petrol.*, 1986. 56 (5). P. 648–656.
16. Holt N. M., García-Veigas J., Lowenstein T. K., Giles P. S., Williams-Stroud S. The Major-Ion Composition of Carboniferous Seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2014. 134. P. 317–334.
17. Hryniv S. P. Polyhalite in Miocene potash deposits of the Carpathian Foredeep, Ukraine. *Acta Mineralogica-Petrografica*, XLI, Szeged, 2000. P. 54.
18. Jun L., Wenxia L., Weiliang M., Qiliang T., Yongshou L., Xiaolong Y., Qingyu H., Yongsheng D., Xiyang Z. Reconstruction of Polyhalite Ore-Formed Temperature from Late Middle Pleistocene Brine Temperature Research in Kuntayi Playa, Western China. *Geofluids*, 2022. 13. Article ID 6255886. <https://doi.org/10.1155/2022/6255886>
19. Li Y., Han W. An Experimental Study on the Formation Conditions of Polyhalite in Triassic System in Sichuan Basin. *Geoscience*, 1987. 1 (3–4). P. 400–411.
20. Li C., Li B., Li Z. Census Report of the Potash deposit in Kuntayi, Lenghu Town, Qinghai Province. *Delingha: The Qinghai Qindam comprehensive geological survey unit*, 1990. (in Chinese).
21. Li H., Yang J., Xu Z., Sun Z., Tapponnier P., Van Der Woerd J. The Constraint of the Altyn Tagh Fault System to the Growth and Rise of the Northern Tibetan Plateau. *Earth Sci. Front.*, 2006. 13 (4). P. 59–79.
22. Li M. H., Fang X. M., Galy A., Wang H. L., Song X. S., Wang X. X. Hydrated sulfate minerals (bloedite and polyhalite): formation and paleoenvironmental implications. *Carbonates and Evaporites*, 2020. 35 (4). P. 1–12.
23. Liu C., Ma L., Jiao P., Sun X., Chen Y. Chemical Sedimentary Sequence of Lop Nur Salt lake in Xinjiang and its Controlling Factors. *Mineral. Deposits*, 2010. 29 (4). P. 625–630.
24. Lowenstein T. K., Li J., Brown C. B. Paleotemperatures From Fluid Inclusions in Halite: Method Verification and a 100,000 Year Paleotemperature Record, Death Valley, CA. *Chem. Geol.*, 1998. 150. P. 223–245.
25. Meng F.-W., Ni P., Yuan X.-L., Zhou C.-M., Yang C.-H., Li Y.-P. Choosing the Best Ancient Analogue for Projected Future Temperatures: A Case Using Data from Fluid Inclusions of Middle-Late Eocene Halites. *J. Asian Earth Sci.*, 2013. 67–68. P. 46–50.
26. Pan J., Li H., Sun Z., Liu D., Wu C., Yu C. Tectonic Response in the Qaidam basin Induced by Cenozoic Activities of the Altyn Tagh Fault. *Acta Petrol.*, 2015. 31 (12). P. 3701–3712.
27. Perthuisot J.-P. Recent Polyhalite from Sebkhah El Melah (Tunisia). *Nat. Phys. Sci.*, 1971. 232. P. 186–187.
28. Niu X., Jiao P., Cao Y., Zhao Y., Liu B. The Origin of Polyhalite and its Indicating Significance for the Potash Formation in the Bieletan Area of the Qarhan Salt lake, Qinghai. *Acta Geol. Sin.*, 2015. 89 (11). P. 2087–2095.
29. Wang S., Zheng M. Discovery of Triassic Polyhalite in Changshou Area of East Sichuan Basin and its Genetic Study. *Mineral. Deposits*, 2014. 33 (5). P. 1045–1056.

30. Wang M., Yang Z., Liu C., Xie Z., Jiao P., Li C. Potash Deposits and Their Exploitation Prospects of saline Lakes of the north Qaidam Basin. *Beijing: Geological Publishing House*, 1997. (in Chinese).
31. Wei H. On Syngeneses, Diagenesis, Anadiagenesis and Supergene Alteration of Triassic gypsum Salt in Quxian, Sichuan. *Acta Sedimentol. Sin.*, 1987. 5 (4). P. 56–65.
32. Wei X., Shao C., Wang M., Zhao D., Cai K., Jiang J. Material Constituents, Depositional Features and Formation Conditions of Potassium-Rich Salt Lakes in Western Qaidam Basin. *Beijing: Geological Publishing House*, 1993. (in Chinese).
33. Yin A., Rumelhart P. E., Butler R., Cowgill E., Harrison T. M., Foster D. A. Tectonic History of the Altyn Tagh Fault System in Northern Tibet Inferred from Cenozoic Sedimentation. *Geol. Soc. America Bull.*, 2002. 114 (10). P. 1257–1295.
34. Zhang P. Salt Lakes in Qaidam Basin. *Beijing: Science Press*, 1987. (in Chinese).
35. Zhang Y., Xuan Z. Economic Evaluation of Potassium and Magnesium Solid deposit in Kuntanyi and Mahai Salt Lake of Qinghai Province. *J. Salt Lake Sci.*, 1996. 4 (1). P. 36–45.
36. Zhang X., Fan Q., Li Q., Du Y., Qin Z., Wei H., Shan F. The Source, Distribution, and Sedimentary Pattern of K-Rich Brines in the Qaidam Basin, Western China. *Minerals*, 2019. 9. 655.
37. Zhao Y. J., Liu C. L., Zhang H., Li Z. Q., Ding T., Wang M. Q. The controls of paleotemperature on potassium salt precipitation in ancient salt lakes. *Acta Petrologica Sinica*, 2015. 31 (9). P. 2751–2756.

REFERENCES

1. Galamay, A., Sydor, D., & Liubchak, O. (2014). Osoblyvosti poiavy hazovoi fazy v odnofazovykh ridkykh vkluchenniakh u haliti (dlia vyznachennia temperatury yoho krystalizatsii) [Peculiarities of the appearance of the gas phase in single-phase liquid inclusions in halite (to determine its crystallization temperature)]. *Mineralogy: present and future. Materials of the 8th academic lectures named after academician Yevhen Lazarenko*, Lviv-Chinadieve, 34–36 [in Ukrainian].
2. Galamay, A.R., Zinchuk, I.M., & Sydor, D.V. (2022). Modernizatsiia aparaturnoho ustatkuvannia termometrychnoho metodu, osoblyvosti yoho vykorystannia dlia vvychnennia umov formuvannia rodovyshch solei [Modernization of thermometric method equipment, features of its use for studying the conditions of salt deposits formation]. *Geological structure and minerals of Ukraine: Collection of theses of the All-Ukrainian scientific conference*. Kyiv, 157–159 [in Ukrainian].
3. Galamay, A.R., Zinchuk, I.M., & Sydor, D.V. (2023). Termometrychni doslidzhennia fliuidnykh vkluchen u badenskomu haliti karpatskoho rehionu u konteksti vstanovlennia hlybyny solerodnogo baseinu [Thermometrical studies of fluid inclusions in the baden halite of the Carpathian region in the context of determining the depth of the Salt Basin]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 1–2 (189–190), 54–65 [in Ukrainian].
4. Korin, S.S., & Mosora, T.M. (1978). Vyznachennia strukturnoi pozytsii i koreliatsii shariv Kalush-Holynskoho rodovyshcha za dopomohoiu markuiuchoi pachky polihalitovykh porid [Determination of the structural position and correlation of the layers of the Kalush-Holinsky deposit using a marking pack of polyhalite rocks]. *Sedimentary rocks and ores*, 172–177 [in Ukrainian].
5. Petrychenko, O.Y. (1973). Metody doslidzhennia vkluchen u mineralakh halohennykh porid [Methods of research of inclusions in minerals of salt rocks]. *Kyiv: Nauk. Dumka*, 91 [in Ukrainian].
6. Petrychenko, O.Y. (1988). Fyzyko-khimichni umovy osadkonahromadzhennia u drevnykh solerodnykh baseinakh [Physico-chemical conditions of ancient salt-bearing basins sedimentation], *Kyiv: Nauk. Dumka*, 128. [in Ukrainian].

7. Sadovyi, Yu.V., & Sadovyi, Yu.Yu. (2012). Polihalit halohennykh formatsii Peredkarpattia: formy znakhodzhennia, henezys ta rozshukove znachennia [Polyhalite of Pre-carpathians halogen formations: modes of occurrence, genesis and search value]. *Mineralogical collection*, 62 (2), 216–227 [in Ukrainian].
8. Sadovyi, Yu.V., & Sadovyi, Yu.Yu. (2021). Polihalit v miotsenovykh halohennykh formatsiakh Peredkarpatskoho prohynu [Polyhalite in Miocene halogenic formations of Carpathian foredeep]. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 5, 111–117 [in Ukrainian].
9. Acros, D., & Ayora, C. (1997). The use of fluid inclusions in halite as environmental thermometer: an experimental study. *XIV ECROFI*, P. 10–11 [in English].
10. Chen, K., & Bowler, J.M. (1986). Late Pleistocene Evolution of Salt Lakes in the Qaidam Basin, Qinghai Province, China. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 54. P. 87–104 [in English].
11. Han, F., Huang, Q., Wang, K., Wang, H., & Yuan, L. (1995). Study of Geochemical Evolution and Palaeoclimatic Fluctuation of Kunteyi Salt lake in the Qaidam Basin, Qinghai. *Oceanologia et Limnol. Sin.*, 26 (5). P. 502–508 [in English].
12. Galamay, A.R., Bukowski, K., Sydor, D.V., & Fanwei, M. (2020). The Ultramicrochemical Analyses (UMCA) of Fluid Inclusions in Halite and Experimental Research to Improve the Accuracy of Measurement. *Minerals*, 10 (9). 823. 12 pages. <https://doi.org/10.3390/min10090823> [in English].
13. Galamay, A.R., Karakaya, M.Ç., Bukowski, K., Karakaya, N., & Jaremchuk, S.V. (2023). Geochemistry of Brine and Paleoclimate Reconstruction during Sedimentation of Messinian Salt in the Tuz Gölü Basin (Türkiye): Insights from the Study of Fluid Inclusions. *Minerals*, 13 (2). 171. 22 pages. <https://doi.org/10.3390/min13020171> [in English].
14. García-Veigas, J., Cendón, D.I., Rosell, L., Ortí, F., Torres Ruiz, J., & Martín, J.M. (2013). Salt Deposition and Brine Evolution in the Granada Basin (Late Tortonian, SE Spain). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 369. P. 452–465 [in English].
15. Harville, D.G., & Fritz, S.J. (1986). Modes of Diagenesis Responsible for Observed Succession of Potash Evaporites in the Salado Formation, Delaware Basin, New Mexico. *J. Sediment. Petrol.*, 56 (5). P. 648–656 [in English].
16. Holt, N.M., García-Veigas, J., Lowenstein, T.K., Giles, P.S., & Williams-Stroud, S. (2014). The Major-Ion Composition of Carboniferous Seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 134. P. 317–334 [in English].
17. Hryniv, S.P. (2000). Polyhalite in Miocene potash deposits of the Carpathian Foredeep, Ukraine. *Acta Mineralogica-Petrografica*, XLI, Szeged. P. 54 [in English].
18. Jun, L., Wenxia, L., Weiliang, M., Qiliang, T., Yongshou, L., Xiaolong, Y., Qingyu, H., Yongsheng, D., & Xiying, Z. (2022). Reconstruction of Polyhalite Ore-Formed Temperature from Late Middle Pleistocene Brine Temperature Research in Kunteyi Playa, Western China. *Geofluids*, Article ID 6255886. 13 pages <https://doi.org/10.1155/2022/6255886> [in English].
19. Li, Y., & Han, W. (1987). An Experimental Study on the Formation Conditions of Polyhalite in Triassic System in Sichuan Basin. *Geoscience*, 1 (3–4). P. 400–411 [in English].
20. Li, C., Li, B., & Li, Z. (1990). Census Report of the Potash deposit in Kunteyi, Lenghu Town, Qinghai Province. *Delingha: The Qinghai Qaidam comprehensive geological survey unit* [in Chinese].
21. Li, H., Yang, J., Xu, Z., Sun, Z., Tapponnier, P., & Van Der Woerd, J. (2006). The Constraint of the Altyn Tagh Fault System to the Growth and Rise of the Northern Tibetan Plateau. *Earth Sci. Front.*, 13 (4). P. 59–79 [in English].
22. Li, M. H., Fang, X. M., Galy, A., Wang, H. L., Song, X. S., & Wang, X. X. (2020). Hydrated sulfate minerals (bloedite and polyhalite): formation and paleoenvironmental implications. *Carbonates and Evaporites*, 35 (4). P. 1–12 [in English].

23. Liu, C., Ma, L., Jiao, P., Sun, X., & Chen, Y. (2010). Chemical Sedimentary Sequence of Lop Nur Salt lake in Xinjiang and its Controlling Factors. *Mineral. Deposits*, 29 (4). P. 625–630 [in English].
24. Lowenstein, T.K., Li, J., & Brown, C.B. (1998). Paleotemperatures From Fluid Inclusions in Halite: Method Verification and a 100,000 Year Paleotemperature Record, Death Valley, CA. *Chem. Geol.*, 150. P. 223–245 [in English].
25. Meng, F.-W., Ni, P., Yuan, X.-L., Zhou, C.-M., Yang, C.-H., & Li, Y.-P. (2013). Choosing the Best Ancient Analogue for Projected Future Temperatures: A Case Using Data from Fluid Inclusions of Middle-Late Eocene Halites. *J. Asian Earth Sci.*, 67–68. P. 46–50 [in English].
26. Pan, J., Li, H., Sun, Z., Liu, D., Wu, C., & Yu, C. (2015). Tectonic Response in the Qaidam basin Induced by Cenozoic Activities of the Altyn Tagh Fault. *Acta Petrol.*, 31 (12). P. 3701–3712 [in English].
27. Perthuisot, J.-P. (1971). Recent Polyhalite from Sebkhia El Melah (Tunisia). *Nat. Phys. Sci.*, 232. P. 186–187 [in English].
28. Niu, X., Jiao, P., Cao, Y., Zhao, Y., & Liu, B. (2015). The Origin of Polyhalite and its Indicating Significance for the Potash Formation in the Bieletan Area of the Qarhan Salt lake, Qinghai. *Acta Geol. Sin.*, 89 (11). P. 2087–2095 [in English].
29. Wang, S., & Zheng, M. (2014). Discovery of Triassic Polyhalite in Changshou Area of East Sichuan Basin and its Genetic Study. *Mineral. Deposits*, 33 (5). P. 1045–1056 [in English].
30. Wang, M., Yang, Z., Liu, C., Xie, Z., Jiao, P., & Li, C. (1997). Potash Deposits and Their Exploitation Prospects of saline Lakes of the north Qaidam Basin. *Beijing: Geological Publishing House* [in Chinese].
31. Wei, H. (1987). On Syngeneses, Diagenesis, Anadiagenesis and Supergene Alteration of Triassic gypsum Salt in Quxian, Sichuan. *Acat Sedimentol. Sin.*, 5 (4). P. 56–65 [in English].
32. Wei, X., Shao, C., Wang, M., Zhao, D., Cai, K., & Jiang, J. (1993). Material Constituents, Depositional Features and Formation Conditions of Potassium-Rich Salt Lakes in Western Qaidam Basin. *Beijing: Geological Publishing House* [in Chinese].
33. Yin, A., Rumelhart, P. E., Butler, R., Cowgill, E., Harrison, T. M., & Foster, D. A. (2002). Tectonic History of the Altyn Tagh Fault System in Northern Tibet Inferred from Cenozoic Sedimentation. *Geol. Soc. America Bull.*, 114 (10). P. 1257–1295 [in English].
34. Zhang, P. (1987). Salt Lakes in Qaidam Basin. *Beijing: Science Press* [in Chinese].
35. Zhang, Y., & Xuan, Z. (1996). Economic Evaluation of Potassium and Magnesium Solid deposit in Kunteyi and Mahai Salt Lake of Qinghai Province. *J. Salt Lake Sci.*, 4 (1). P. 36–45 [in English].
36. Zhang, X., Fan, Q., Li, Q., Du, Y., Qin, Z., Wei, H., & Shan, F. (2019). The Source, Distribution, and Sedimentary Pattern of K-Rich Brines in the Qaidam Basin, Western China. *Minerals*, 9. 655. 17 pages [in English].
37. Zhao, Y. J., Liu, C. L., Zhang, H., Li, Z. Q., Ding, T., & Wang, M. Q. (2015). The controls of paleotemperature on potassium salt precipitation in ancient salt lakes. *Acta Petrologica Sinica*, 31 (9). P. 2751–2756 [in English].

Стаття надійшла до редакції 02.05.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

PHYSICAL AND CHEMICAL CONDITIONS OF THE FORMATION OF POLYHALITE IN THE NORTHWESTERN PART OF THE QAIDAM BASIN, CHINA

Anatoliy Galamay¹, Yurii Sadovyi², Fanwei Meng³, Dariia Sydor¹
galamaytolik@ukr.net, ysadovyi@gmail.com, fwmeng@isl.ac.cn, dariiasydor@gmail.com

¹*Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals, NAS of Ukraine, 3A, Naukova St., Lviv, Ukraine, 79060*

²*State Institution State Scientific Research and Design Institute of Basic Chemistry (NIOCHIM),*

25, Myronosytska St., Kharkiv, Ukraine, 61002

³*Nanhu Campus, China University of Mining and Technology, No. 1, Daxue Road, Xuzhou, Jiangsu Province, China*

Polyhalite deposits at Kuntei Playa in the Qaidam Basin in China have been known for many years. However, the mechanism of formation of these deposits is still unclear. In this study, a typical section of these deposits in the northwestern part of the basin is selected for a comprehensive analysis of polyhalitic deposits, which includes sedimentological, mineralogical and thermobarogeochemical studies.

The following was established: 1. The temperature of bottom brines during the formation of deposits in the lower part of the studied section ranged from 30.8 to 80.2°C. Obviously, the features of sedimentogenesis, in particular, the transformation of gypsum→polyhalite, are associated with the temperature regime of bottom brines during sediment accumulation; 2. According to thermobarogeochemical data, the gypsum deposition (gypsum salting out) was the cause of mixing of fresh waters enriched in Ca(HCO₃)₂ with concentrated sulfate brines of the basin at the stage of sedimentogenesis, which, under the action of dense bottom brine, turned into polyhalite. This mechanism of polyhalite formation was the main one in the studied area. This is confirmed by a natural increase in the percentage of clastic components with a simultaneous increase in the percentage of polyhalite and gypsum, and vice versa a decrease in clastic components with an increase in the percentage of halite and a decrease in the percentage of polyhalite and gypsum in the sediment section; 3. The morphology of polyhalite formations indicates that this mineral was also formed at the bottom of the sedimentation basin during the unloading of pore and intercrystalline brines of chemogenic-terrigenous sediments that were compacted; 4. Relics of potassium-magnesium minerals in the studied samples and the increased magnesium content in the brines of secondary inclusions in halite do not exclude the possibility of the occurrence of part of polyhalite due to the replacement of sylvine and carnalite during the influx of calcium with solutions from nearby oil deposits.

Key words: polyhalite, fluid inclusions, halite, homogenization temperature.

УДК 55:001.89:378(477)

ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ КОНКУРС-ЗАХИСТ СТУДЕНТСЬКИХ НАУКОВИХ РОБІТ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 103 «НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ» (ГЕОЛОГІЯ)

Олександр Костюк, канд. геол. наук, доцент, доцент кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського
oleksandr.kostyuk@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-2218-1757>

Ірина Побережська, канд. геол.-мін. наук, доцент, зав. кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського
<https://orcid.org/0000-0001-5020-8326>

Анастасія Павленко, студентка 3-го курсу геологічного факультету
<https://orcid.org/0009-0005-8038-2540>
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

Всеукраїнський конкурс-захист студентських наукових робіт проводять з 2017 р. з метою виявлення й підтримки обдарованої студентської молоді, створення умов для її творчого зростання, підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації. Подібні студентські наукові змагання відбуваються в різних країнах світу. Студенти геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка неодноразово посідали в цьому конкурсі призові місця. У 2024 р. кафедра мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського геологічного факультету ініціювала проведення Всеукраїнського конкурсу-захисту студентських наукових робіт зі спеціальності 103 «Науки про Землю» (Геологія). Згодом в університеті було затверджено галузеву конкурсну й апеляційні комісії. Галузева конкурсна комісія рекомендувала на підсумкову конференцію 11 робіт, тематика яких пов'язана з різноманітними науковими проблемами геохімії, мінералогії, петрографії, нафтогазової геології, гідрогеології та геотектоніки. Доповіді оцінювали в онлайн-режимі за допомогою інструментів системи керування навчанням Google. Використовували такі критерії: чіткість, логічність і послідовність викладення матеріалу; критичний аналіз досліджуваної проблеми; відображення методики дослідження; відображення самостійності дослідження; представлення результатів дослідження; обґрунтування й доказовість висновків; культура мовлення. Бали, що їх учасники конкурсу отримали за результатами рецензування робіт, усереднювали з балами, отриманими під час захисту на підсумковій конференції.

Перше місце посіла студентка IV курсу освітнього рівня «бакалавр» геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка В. Бондарчук за роботу «Ультраосновні породи Західно-Лашівської ділянки силікатних кобальт-нікелевих руд» (науковий керівник – доц. І. Побережська), друге місце – студентка II курсу освітнього рівня «магістр» КНУ імені Тараса Шевченка Д. Чертова за роботу «Петрографія інтрузивних утворень затоки Жирар (півострів Київ, берег Греяма Західної Антарктики)» (науковий керівник – проф. О. Митрохин), третє місце – студент IV курсу освітнього рівня «бакалавр» КНУ імені Тараса Шевченка М. Петренко за роботу «Динаміка розвитку зсувних процесів у межах Кросненської структурно-фаціальній зони» (науковий керівник – асист. К. Гадяцька).

Ключові слова: Всеукраїнський конкурс-захист студентських наукових робіт, геологія, наукова діяльність, підсумкова конференція, рецензія, Львівський національний університет імені Івана Франка, Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.09>

У 2017 р. Міністерство освіти і науки України затвердило «Положення про Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей»¹. Його мета – виявлення й підтримка обдарованої студентської молоді, створення умов для її творчого зростання, підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації.

Сучасний Всеукраїнський конкурс-захист студентських наукових робіт (далі – Конкурс) – це наукове дійство, яке закликає талановиту молодь до розвитку здібностей, самоосвіти, скеровує до пізнання істин, захованих у геологічних об'єктах. Участь молодих учених у підсумковій науковій конференції засвідчує рівень їхньої теоретичної та практичної підготовки, уміння зіставляти, порівнювати, узагальнювати й аналізувати результати наукових досліджень. Мета Конкурсу² – підготовка фахівців нової генерації європейського рівня, формування в них знань і умінь дослідницької діяльності, для яких установлення на професійну майстерність є пріоритетною стратегією їх життєдіяльності. Основні завдання Конкурсу такі: 1) виявлення й розвиток обдарованих студентів, сприяння реалізації їхніх здібностей; 2) стимулювання творчого самовдосконалення студентської молоді; 3) популяризація досягнень науки, техніки й інноваційних технологій; 4) залучення провідних учених, наукових і науково-педагогічних працівників до творчої роботи з обдарованою молоддю.

Протягом 2014–2021 рр. другий тур конкурсу студентських наукових робіт напряму «Геологічні науки» відбувався у Кривому Розі, у 2021–2022 рр. – на базі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». У 2023 р. через воєнні умови проведення другого туру конкурсу визнали неможливим «з міркувань забезпечення безпеки учасників освітнього процесу», а проведення його в дистанційній формі – «неприйнятним через високі ризики академічної недобросовісності». Міністерство освіти і науки України рекомендувало в 2022/2023 навчальному році обмежитися проведенням конкурсу в один тур у закладах вищої освіти.

Студенти геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка брали активну участь у багатьох конкурсах, і досить успішно. Зокрема, у березні 2015 р. другий тур Конкурсу проводили на базі Криворізького національного університету, і студент Р. Карелов посів друге місце за наукову роботу «Мінерали цезію в рідкіснометалевих пегматитах родовища Жовта Річка (Кіровоградська обл.)», виконану під керівництвом доц. Л. Скакуна. У березні 2016 р. студентка Ю. Остапчук посіла перше місце за наукову роботу «Мінеральний склад та умови формування натічних утворень сульфатів цинку у шахті II Мужівського родовища», а 2017 р. – третє місце за роботу «Археомінералогічні дослідження металургійних шлаків черняхівської культури» (науковий керівник – доц. Л. Скакун). У березні 2018 р. третє місце на другому турі Конкурсу посів студент третього курсу Р. Мінькевич.

Зазначимо, що цьогогоріч подібні студентські наукові змагання проводять у різних країнах світу. Зокрема, у Франції на базі Національного музею історії природи в Парижі з 29 липня по 2 серпня 2024 р. відбуватиметься науковий студентський конкурс з геологічних наук (Olympiades nationales de géosciences), гасло якого – «Геологія моєї вулиці» (La géologie de ma rue). Товариство дослідників-геофізиків (SEG) спільно з Геологічною асоціацією Америки (GSA) проводить у США регіональні наукові командні змагання серед студентів закладів вищої освіти (18 квітня–18 червня 2024 р.). Гірничий університет Колорадо з 9 по 15 квітня 2024 р. провів конкурс наукових студентських робіт з Geophysics Challenge Bowl. Міжнародну олімпіаду з наук про Землю (International Earth Science Olympiad) організовують 8–16 серпня Пекінський університет і Університет Китайської

¹ <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0620-17#n15>

² <https://imzo.gov.ua/osvita/vyscha-osvita/vseukrayinskiy-konkurs-studentskih-naukovih-robit-z-prirodnih-ta-tehnichnih-ta-gumanitarnih-nauk/>

академії наук. Усі ці конкурси відрізняються від українських: вони починаються з того, що за кілька місяців до проведення національного заходу на адресу сайту конкурсу учасники надсилають тези і презентації своїх робіт у формі постера. Згодом відбувається обговорення представлених робіт у соцмережах, за результатом якого відбирають певні наукові праці й публікують тези доповідей. Завершальним етапом є конференція, після якої журі визначає переможців конкурсу.

У 2024 р., відповідно до роз'яснення, наведеного в листі ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» № 21/08-1948 від 06.11.2023, кафедра мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського ЛНУ імені Івана Франка ініціювала проведення Всеукраїнського конкурсу-захисту студентських наукових робіт зі спеціальності 103 «Науки про Землю» (Геологія). Згодом, згідно з наказом ректора університету № 139 від 02.02.2024, було затверджено галузеву конкурсну й апеляційні комісії.

Всеукраїнський конкурс-захист студентських наукових робіт зі спеціальності 103 «Науки про Землю» (Геологія) у 2024 р. проводили у два тури. У першому турі, який відбувся 15 лютого 2024 р., взяли участь дев'ять студентів геологічного факультету. Результати конкурсу такі:

перше місце – О. Білобородов і М. Бабій (ГЛГ-31) за роботу «Водень у газі з ґрунтового шару – індикатор потоків природного водню в надрах Передкарпаття» (науковий керівник – доц. Л. Скакун);

друге місце – В. Білай (ГЛГ-31) за роботу «Мінералого-петрографічна характеристика порід з північно-західної частини Атлантичного океану (40°57'36" N 54°01'26" W, 4865 м)» (асист. Н. Білик);

третє місце – В. Бондарчук (ГЛГ-41) за роботу «Ультраосновні породи Західно-Латвійської ділянки силікатних кобальт-нікелевих руд» (доц. І. Побережська);

четверте місце – А. Павленко (ГЛГ-31) за роботу «Карбонатні манганові руди Нікопольського манганорудного басейну та проблеми переробки шлаків» (доц. І. Побережська) та Н. Кіндрат і К. Алфер'єв (ГЛГ-21) за роботу «Загадка палеодіктіона» (науковий керівник – асист. М. Богданова).



Проректор ЛНУ імені Івана Франка, академік НАН України Роман Гладишевський та засновниця ТОВ «Геологічна інвестиційна група», голова Ради роботодавців геологічного факультету Ірина Супрун нагороджують грамотами грошовими преміями переможців першого туру Конкурсу – студентів групи ГЛГ-31 Максима Бабія та Олександра Білобородова

Для участі в другому турі конкурсна комісія відібрала три наукові роботи, і почалася підготовка до проведення другого туру. В онлайн-режимі було проведено низку організаційних зустрічей, а всю інформацію щодо надходження робіт на конкурс, їхнього оцінювання, рейтингування, нормативної бази тощо висвітлювали на офіційному інтернет-сайті. Конкурсні роботи разом із супровідними документами надходили в секретаріат Конкурсу до 7 березня, а до 14 березня відбувалося рецензування робіт. На цьому перший етап другого туру завершився.

Другий етап Конкурсу – це захист наукових робіт у форматі науково-практичної конференції в онлайн-режимі. На підсумкову конференцію галузева конкурсна комісія рекомендувала 11 робіт, тематика яких пов'язана з різноманітними проблемами геохімії, мінералогії, петрографії, нафтогазової геології, гідрогеології та геотектоніки.

Зокрема, робота «Дослідження характеристик та якості ґрунтових підземних вод» присвячена підземним водам із криниць с. Високе Чортківського р-ну Тернопільської обл.

Робота «Нафтогазогенераційний потенціал візейських нетрадиційних колекторів Південної прибортової зони ДДЗ та перспективи його освоєння» пов'язана з визначенням умов осадонагромадження візейських відкладів Дніпровсько-Донецької западини, сприятливих для акумуляції та збереження органічної речовини, і з'ясуванням їхнього генераційного потенціалу, для чого використано метод аналогії з найуспішнішими світовими проектами розробки сланцевих та ущільнених порід.

У роботі «Динаміка розвитку зсувних процесів в межах Кросненської структурно-фаціальної зони» описано динаміку розвитку зсувних процесів у межах Кросненської структурно-фаціальної зони на підставі даних дистанційного зондування Землі та просторового аналізу.

У роботі «Петрографія інтрузивних утворень затоки Жирар (півострів Київ, Берг Гре-яма Західної Антарктики)» наведено петрографічний опис інтрузивних утворень Західної Антарктики, виконано порівняння їх з подібними породами регіону.

Конкурсна робота «Мінералогічне обґрунтування отримання аглоконцентрату з гематитових кварцитів» присвячена дослідженням мінерального складу, структури й текстури гематитових кварцитів, їхньої збагачуваності (проведення експериментів) з метою отримання кінцевого товарного продукту (аглоконцентрату) з якістю понад 57 мас. % загального вмісту заліза.

У роботі «Мінералого-петрографічні особливості альбітитів Новокостянтинівського родовища» наведено результати вивчення мінералогічного складу, структурно-текстурних ознак, рудоносності порід Новокостянтинівського уранового родовища (Кіровоградська обл.), а також внутрішньої будови натрієвих метасоматитів рудного покладу III-10.

Робота «Водень у ґрунтовому газі – індикатор потоків природного водню в надрах Передкарпаття» стосується проблем розроблення й удосконалення методики оцінювання аномальних концентрацій водню в природному газі та визначення геохімічного фону з урахуванням тиску в системі, вологості ґрунту й активності в ньому біоти. Наведено результати опрацювання геологічної інформації для формування бази геолого-геохімічних даних як основи для побудови 3D-моделі водневої системи Більче-Волицької зони та Волино-Подільської плити.

У роботі «Ультрасновні породи Західно-Лашівської ділянки силікатних кобальт-нікелевих руд» наведено результати досліджень мінерального складу та структурно-текстурних особливостей порід, відібраних із керн свердловин, що їх пробурили під час геологорозвідувальних робіт у межах Західно-Лашівської ділянки Побузького рудного району.

Конкурсна робота «Карбонатні марганцеві руди Східної ділянки Нікопольського марганцерудного басейну та проблеми переробки шлаків» присвячена вивченню мінералого-петрографічних особливостей карбонатних руд мангану і шлаків для з'ясування

доцільності повторної переробки шлаків; запропоновано галузі повторного використання шлаку манганової руди.

У роботі «Екскурсійна діяльність у геологічному музеї Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка» проаналізовано освітньо-екскурсійну діяльність музею.

Робота «Технологія польових досліджень ґрунту земель, що постраждали від військової агресії РФ» стосується проблем рекультиваци ґрунтів, які постраждали внаслідок воєнних дій.

За результатами рейтингування перше місце посіла робота «Ультрасовні породи Західно-Лашівської ділянки силікатних кобальт-нікелевих руд», друге – «Динаміка розвитку зсувних процесів в межах Кросненської структурно-фаціальної зони», а третє – «Петрографія інтрузивних утворень затоки Жирар (півострів Київ, Берг Греяма Західної Антарктики)».



Роман Гладішевський та Ірина Супрун вітають з перемогою в Конкурсі студентку IV курсу освітнього рівня «бакалавр» Валентину Бондарчук

4 квітня 2024 р. на підсумковій конференції заслухано доповіді авторів конкурсних робіт. Доповіді оцінювали в онлайн-режимі за допомогою інструментів системи керування навчанням Google. Оцінювання відбувалося за такими критеріями: чіткість, логічність і послідовність викладення матеріалу; критичний аналіз досліджуваної проблеми; відображення методики дослідження; відображення самостійності дослідження; представлення результатів дослідження; обґрунтування й доказовість висновків; культура мовлення. Бали, що їх учасники Конкурсу отримали за результатами рецензування робіт, усереднювали з балами, отриманими під час захисту на підсумковій конференції. Перше місце посіла студентка IV курсу освітнього рівня «бакалавр» геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка В. Бондарчук за роботу «Ультрасовні породи Західно-Лашівської ділянки силікатних кобальт-нікелевих руд» (науковий керівник – доц. І. Побережська). Друге місце присуджено студентці II курсу освітнього рівня «магістр» Київського національного університету імені Тараса Шевченка Д. Чертовій за роботу «Петрографія інтрузивних утворень затоки Жирар (півострів Київ, берг Греяма Західної Антарктики)» (науковий керівник – проф. О. Митрохин). Третє місце посів студент IV курсу освітнього рівня «бакалавр» Київського національного університету імені

Тараса Шевченка М. Петренко за роботу «Динаміка розвитку зсувних процесів в межах Кросненської структурно-фаціальної зони» (науковий керівник – асист. К. Гадяцька).

Про підсумки проведення Конкурсу йдеться в наказі ректора ЛНУ імені Івана Франка № 507 від 10.04.2024. Детальнішу інформацію про Конкурс можна відшукати на сайті <https://geology.lnu.edu.ua/vseukrainskyy-konkurs-zakhyst-studentskykh-naukovykh-robot>.

З огляду на нові реалії, у яких нині проводять другий тур, виникають деякі питання до «Положень...» про Конкурс. Зокрема, незрозуміло, як рецензент під час другого туру може оцінити рівень впровадження наукових досліджень, описаних у роботі, якщо в нього немає інформації про автора. Ми вважаємо за доцільне створення групи незалежних рецензентів робіт, які б за результатами жеребкування могли проводити свою роботу й розробляти чіткі критерії оцінювання доповіді, що її представляють учасники Конкурсу.

Стаття надійшла до редакції 21.05.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

ALL-UKRAINIAN STUDENT RESEARCH COMPETITION IN THE SPECIALTY 103 “EARTH SCIENCES” (GEOLOGY)

Oleksandr Kostiuk, Iryna Poberezhska, Anastasiia Pavlenko

oleksandr.kostyuk@lnu.edu.ua

Ivan Franko National University of Lviv,

4, Hrushevskoho St., Lviv, Ukraine, 79005

The All-Ukrainian Student Research Competition has been held since 2017 with the aim of identifying and supporting gifted student youth, creating conditions for their creative growth, and training highly qualified scientific personnel. Similar student scientific competitions take place in different countries of the world. Students of the Faculty of Geology of the Ivan Franko National University of Lviv have repeatedly won prizes in this competition. In 2024, the Professor Orest Matkovskiy Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry of the Faculty of Geology initiated the holding of the All-Ukrainian Student Research Competition in the specialty 103 “Earth Sciences” (Geology). Therefore, the University has approved the branch competition and appeal commissions. The branch competition commission recommended 11 papers for the final conference, the topics of which are related to various scientific problems of geochemistry, mineralogy, petrography, oil and gas geology, hydrogeology and geotectonics. Papers were graded online using Google Learning Management System tools. The following criteria were used: clarity, logic, and sequence of presentation of the material; critical analysis of the researched problem; display of research methodology; reflection of research independence; presentation of research results; justification and evidence of conclusions; speech culture. The points received by the Competition participants based on the results of the review of the works were averaged with the points received during the defence at the final conference.

Student of the 4th year of the Bachelor’s degree V. Bondarchuk (Ivan Franko National University of Lviv) won the first place for the work “Ultrabasic rocks of the Zakhidno-Lashchivska area of silicate cobalt-nickel ores”, scientific supervisor – Associate Professor I. Poberezhska. Student of 2nd year of the Master’s degree D. Chertova (Taras Shevchenko National University of Kyiv) won the second place for the work “Petrography of intrusive formations of the Zhirar Bay (Kyiv Peninsula, Graham Coast of the West Antarctica)”, scientific supervisor – Professor O. Mytrokhin. Student of the 4th year of the Bachelor’s degree M. Petrenko (Taras Shevchenko National University of Kyiv) won the third place for the work “Dynamics of the development of landslide processes within the Krosno structural-facies zone”, scientific supervisor – assistant K. Hadiatska.

Key words: All-Ukrainian Student Research Competition, geology, scientific activities, final conference, review, Ivan Franko National University of Lviv, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

ХРОНІКА

УДК 551:338.48

ШОСТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ГЕОТУРИЗМ: ПРАКТИКА І ДОСВІД»

¹**Альбертина Бучинська**, завідувачка Мінералогічного музею
імені Євгена Лазаренка
geoattractions@gmail.com

²**Юрій Зінко**, старший викладач кафедри туризму
zinkoyuriy@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5546-6308>

²**Оксана Шевчук**, фахівець навчальної лабораторії
«Навчальна туристична агенція» кафедри туризму
oks.shevchuk@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1010-5493>

¹**Катерина Бурбан**, завідувачка лабораторії фізичних досліджень
мінералів і гірських порід та літології
kateryna.burban@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0002-9961-5680>

Львівський національний університет імені Івана Франка,
¹геологічний факультет, вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
²географічний факультет, вул. П. Дорошенка, 41, Львів, Україна, 79000

Шоста міжнародна науково-практична конференція «Геотуризм: практика і досвід» відбулася 25–28 квітня 2024 р. у Львівському національному університеті імені Івана Франка. Її проводять що два роки як продовження реалізації міжнародного проєкту «Гео-Карпати: створення геотуристичного шляху». Організатори конференції – геологічний і географічний факультети ЛНУ імені Івана Франка разом із геотуристичною спільнотою «Геоатракції» (Geoattractions). Серед учасників були представники закладів вищої освіти, наукових установ, музеїв, виробничих і туристичних організацій України, Іспанії, Литви, Польщі, Таджикистану. До конференції видано збірник матеріалів, який містить 69 статей, присвячених різним аспектам геотуризму. Після конференції відбулися дві одноденні геотуристичні екскурсії територією України та дводенна екскурсія по геосайтах Польщі.

Ключові слова: геотуризм, конференція, геологічна спадщина, геосайт, геотуристична екскурсія, ЛНУ імені Івана Франка.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.10>

Геологічний туризм (геотуризм) як новий напрям туристичних мандрівок започатковано 1995 р. у Великій Британії, і вже до 2001–2002 рр. він отримав широкий міжнародний розголос. Геотуризм ґрунтується на принципах збереження атракційних геологічних місць, їхньої рівноваженої підтримки й екологічного способу подорожування. Його трактують як форму туризму, що зберігає та розширює пізнавальні, культурні й естетичні переваги певної території.

За сучасних умов в Україні геотуризм у можливих для нього регіонах може сприяти наповненню бюджету країни, створенню нових робочих місць, особливо для молоді; також це своєрідний заспокійливий засіб, завдяки якому людина може відволіктися від нагальних проблем або відпочити. А для дітей і підлітків це хороша можливість ознайомитися з низкою наука професійна технічна школа і Львівський національний університет імені Івана Франка. Проект був спрямований на розвиток туристичної привабливості та зростання конкурентоздатності прикордонного регіону через створення спільного геотуристичного шляху й умов для розвитку туристичної інфраструктури. Опрацьовано концепцію і облаштовано транскордонний геотуристичний шлях протяжністю понад 700 км через гірські масиви Кросненського й Перемишльського підрегіонів Польщі та Львівщину й Івано-Франківщину. Серед вибраних об'єктів геоспадщини (причому як популярних, так і відомих тільки фахівцям-геологам) були геологічні відслонення з документальною етапів геологічного розвитку й катастрофічних процесів минулих років, унікальні скельні й долинні форми рельєфу, сліди прояву та давні розробки нафти й газу, місця важливих палеонтологічних знахідок тощо. Уздовж геотуристичного шляху розмістили 28 інформаційних таблиць з описом найважливіших геотуристичних атракцій. Також розроблено путівник і геотуристичні карти шляху, проведено підготовку провідників.

У квітні 2014 р. у рамках реалізації описаного проекту було проведено Першу міжнародну науково-практичну конференцію «Геотуризм: практика і досвід». Через велике зацікавлення з боку як фахівців, так і пересічних любителів природи прийнято рішення зробити конференцію періодичною і організувати її що два роки. І приємно, що, незважаючи на важку ситуацію в Україні, нам удалося дотримуватися запланованого графіка.

Тож 25–28 квітня 2024 р. було проведено вже Шосту міжнародну науково-практичну конференцію «Геотуризм: практика і досвід». Її вкотре організували співробітники геологічного й географічного факультетів ЛНУ імені Івана Франка разом із геотуристичною спільнотою Geoattractions, яку було створено після завершення проекту «GeoКарпати». Конференція відбулася у важкий для України час. Повномасштабне російське вторгнення цілком змінило країну і людей. Однак, як і в нелегкий пандемічний період, так і нині наша традиційна конференція з геотуризму засвідчила стійкий інтерес до проблематики туристичного й рекреаційного використання геологічних ресурсів і геоспадщини. Актуальність конференції підтверджена значною кількістю учасників – 138 осіб! Масовості також сприяв зручний формат проведення заходу – можливість як очної, так і заочної участі.

Серед учасників конференції були представники закладів вищої освіти (ЛНУ імені Івана Франка, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Харківський національний університет імені Василя Каразіна, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Криворізький національний університет, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, Криворізький державний педагогічний університет, Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського та ін.), а також інститутів і музеїв НАН України (Інститут геологічних наук, Інститут географії, Інститут геології і геохімії горючих копалин, Інститут геохімії навколишнього середовища, Інститут екології Карпат, Національний науково-природничий музей, Державний природознавчий музей). Щораз більшу популярність геотуризму засвідчує участь у конференції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, ВСІП «Фаховий коледж геологорозвідувальних технологій

Київського національного університету імені Тараса Шевченка», ВСП «Тернопільський фаховий коледж ТНТУ ім. І. Пулюя» та Ужгородського ліцею імені Дойко Габора. Значну кількість доповідей представили практики музейної і пошукової справи та природоохоронної діяльності – працівники академічних та університетських природничих музеїв, ДУ «Музей коштovanого і декоративного каміння», КЗ ЛОР АДІКЗ «Нагуєвичі», Державного гемологічного центру України, ТОВ «КВАРЦ», ТОВ «Науково-виробниче технічне підприємство ГЕОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ», національного природного парку «Північне Поділля». За доброю традицією цікаві доповіді запропонували представники спільноти Geoattractions та Спільноти українських геокешерів. Зарубіжні гості презентували досвід розвитку геотуризму в Польщі, Іспанії, Литві й Таджикистані.

Урочисте відкриття конференції та пленарне засідання відбулися 25 квітня в Головній читальній залі Наукової бібліотеки ЛНУ імені Івана Франка (фото 1). З привітаннями до учасників звернулися декан геологічного факультету С. Ціхонь (фото 2) і заступник декана географічного факультету Є. Тиханович. Після цього було заслухано такі дві доповіді: *Ю. Зінько* (ЛНУ імені Івана Франка) «Снуючі та потенційні геотуристичні шляхи і продукти на заході України»; *О. Ремезова, О. Сіренко* (Інститут геологічних наук НАН України, м. Київ) «Геотуризм у контексті післявоєнного відновлення країни: досвід України та Хорватії».

Надалі конференція продовжила свою роботу у форматі секційних засідань на геологічному факультеті (фото 3).



Фото 1. Учасники пленарного засідання конференції у Головній читальній залі Наукової бібліотеки Львівського університету



Фото 2. Вітальне слово декана геологічного факультету С. Ціхоня



Фото 3. Учасники конференції перед початком секційного засідання

Тематика презентованих матеріалів надзвичайно різноманітна. Серед теоретичних і методичних розробок були розуміння геотуризму та його завдання, актуальні проблеми геотуризму в Україні, інформаційний супровід геотуристичних досліджень, інновації в пізнавальних аспектах геомандрівок. Особливу увагу приділено відновленню геотуризму в повоєнний період та оцінці ризику основних атракцій геологічних мандрівок – геосайтів. На прикладі Польщі розглянуто проблематику привабливості об'єктів геоспащини для туристів.

Очікувано найбільш репрезентованою виявилася секція геотуристичних об'єктів і шляхів. Тут представлені детальні дослідження відомих геотуристичних атракцій (Урицькі Скелі й гора Лева у Львові) і заповідних територій (ПЗ «Горгани», НПП «Північне Поділля», РЛП «Знесіння»). Цікавими були результати обстежень привабливих для туристів геосайтів в Українських Карпатах, на Поділлі й Волині, у Придніпров'ї, на Слобожанщині, а також геотуристичні пропозиції стосовно гірничодобувних підприємств. Обґрунтовано нові геотуристичні шляхи у природничо-цінних регіонах і територіальних громадах. Окремі повідомлення стосувалися геотуристичної привабливості фортець і цвинтарів.

У секції охорони геоспащини, музеїв і геопарків обговорювали такі проблеми, як літодинамічні й біодеструктивні характеристики відомих скельних комплексів Українських Карпат, тематичні колекції музеїв, збереження та музеєфікація геосайтів, небезпечні геолого-геоморфологічні процеси в межах туристичних дестинацій та ін.

Ще одна важлива секція цьогорічної геотуристичної конференції пов'язана з освітнім забезпеченням розвитку геотуризму. Під час засідання розглянуто питання освітньо-професійної програми з геотуризму та роль геотуризму в підготовці фахівців-геологів; доповідачі навели освітні можливості певних регіонів, навчальних геологічних полігонів і геотуристичних дидактичних маршрутів.

До конференції видано збірник конференційних матеріалів, у якому опубліковано 69 статей. Матеріали конференції можуть бути цікаві як для фахівців, так і для широкого загалу.

Після засідань відбулися геотуристичні екскурсії, у яких могли взяти участь учасники конференції та всі зацікавлені. Зокрема, 27 квітня було проведено дві одноденні геомандрівки. Першу – «Стежками Равського Розточчя» – провела доцент кафедри мінералогії, петрографії та геохімії імені професора Ореста Матковського У. Борняк. Вузке горbeste пасмо Розточчя простягається в Україні від Львова до Рави-Руської й державного кордону і далі – територією Польщі до Томашова і Красника. Учасники мали змогу ознайомитись із центральною частиною Розточчя: відвідали м. Рава-Руська, с. Потелич, найвищу точку Равського Розточчя – гору Вовковиця, де є знахідки скам'янілих дерев, урочище Заглина з відвалами шахт бурого вугілля, джерелами та глауконітовими пісковиками (фото 4).

Другу одноденну екскурсію – «Скельна сага Карпат» – провела старший науковий співробітник Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України І. Бучинська. Екскурсанти мали унікальний шанс перенестися на 65 млн років назад і довідатися про утворення Карпат. Дослідили Княжі та Урицькі скелі, водоспад Сопіт, відвідали історико-культурний заповідник «Тустань» – залишки давньоруського оборонного комплексу на скелях, які одночасно є цікавою пам'яткою геології Карпат (фото 5).

Дводенна екскурсія польською частиною геотуристичного шляху «Гео-Карпати» відбулася 27–28 квітня під керівництвом співробітниць Мінералогічного музею імені Євгена Лазаренка А. Бучинської та О. Цільмак. Її учасники відвідали скелі Леский камінь та палац в Леско, Музей-скансен нафтового та газового промислу імені Ігнасія Лукасевича у Бубрці, Центр спадщини скла у Кросно, замок Кам'янець на скелях в с. Оджиконь, ГЕС і водосховище в Соліні (фото 6).

Усі конференційні геотуристичні екскурсії відбувалися в дружній дослідницькій атмосфері. Учасники мали змогу відвідати нові цікаві геосайти, а також поділитися досвідом організації геотурів і вирішення питань охорони геоспадщини.



а



б

Фото 4. Геотуристична екскурсія «Стежками Равського Розточчя»: а – с. Потелич; б – відвали буровугільних шахт в урочищі Заглина

*a**б*

Фото 5. На геотуристичній екскурсії «Скельна сага Карпат»:
a – Княжі скелі; *б* – Урицькі скелі



Фото 6. Екскурсія польською частиною геотуристичного шляху «Гео-Карпати»:
 а – Музей-скансен нафтової та газової промисловості імені Ігнація Лукасевича в Бурбці;
 б – замок Кам'янець на скелях в с. Оджиконь

Оргкомітет Шостої міжнародної конференції «Геотуризм: практика і досвід» щиро вдячний усім учасникам за те, що навіть у такий нелегкий для України час вони продовжують працювати і просувати ідею збереження й використання геоспадщини для туристичних і освітніх цілей. Видається, що нині якраз такий час, коли треба генерувати ідеї і створювати різноманітні проекти, які можна буде реалізувати після війни, і в такий спосіб підтримати розвиток внутрішнього туризму й економіку окремих регіонів України.

Стаття надійшла до редакції 12.06.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

SIXTH INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE “GEOTOURISM: PRACTICE AND EXPERIENCE”

Albertyna Buchynska¹, Yurii Zinko², Oksana Shevchuk², Kateryna Burban¹

geoattractions@gmail.com, zinkoyuriy@gmail.com,

oks.shevchuk@gmail.com, kateryna.burban@lnu.edu.ua

Ivan Franko National University of Lviv,

¹Faculty of Geology, 4, Hrushevskoho St., Lviv, Ukraine, 79005

²Faculty of Geography, 41, Doroshenka St., Lviv, Ukraine, 79000

The Sixth International Scientific and Practical Conference “Geotourism: Practice and Experience” was held on April 25–28, 2024 at the Ivan Franko National University of Lviv. It is held every two years as a continuation of the implementation of the international project “Geo-Carpathians: Creation of a Geotourist Path”. The organizers of the Conference are the Faculty of Geology and the Faculty of Geography of the Ivan Franko National University of Lviv together with the geotourism community “Geoattractions”. Among the participants were representatives of higher education institutions, scientific institutions, museums, industrial and tourist organizations of Ukraine, Spain, Lithuania, Poland, and Tajikistan. A collection of materials containing 69 articles devoted to various aspects of geotourism was published before the Conference. There were two one-day geotourist excursions on the territory of Ukraine and a two-day excursion on the geosites of Poland after the Conference.

Key words: geotourism, conference, geological heritage, geosite, geotourist excursion, Ivan Franko National University of Lviv.

ВТРАТИ НАУКИ

ПАМ'ЯТІ СЕРГІЯ МИКОЛАЙОВИЧА БЕКЕШІ

Ірина Побережська, Євгенія Сливко, Олег Гайовський

Четвертого січня 2024 р. не стало Сергія Миколайовича Бекеші – відомого українського мінералога-алмазника, доцента кафедри мінералогії, петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського Львівського національного університету імені Івана Франка. Учень професора Бартошинського, Сергій Бекеша всю свою активну наукову діяльність присвятив вивченню неймовірних витворів природи – алмазів і пов'язаних із ними мінералів.

Сергій народився 28 липня 1953 р. у Львові. У 1979 р. закінчив геологічний факультет Львівського державного університету імені Івана Франка, 1986 р. – аспірантуру кафедри мінералогії під керівництвом професора З. Бартошинського й уже 1987 р. успішно захистив кандидатську дисертацію, присвячену зв'язку кристаломорфології природних алмазів з їхніми фізичними особливостями. У дисертації вперше на прикладі якутських алмазів виконано типізацію спектрів фотолюмінесценції і спектрів збудження фотолюмінесценції. Доведено, що різноманіття забарвлення й відтінків природних алмазів можна об'єктивно оцінити (поряд зі спектрами поглинання) за допомогою колориметричних параметрів. Уперше вивчено склад газових домішок в алмазах. Показано, що найпоширенішими газовими домішками в якутських алмазах є азот, водень і вода (не елементи!), які поряд з іншими леткими компонентами відображають хімізм середовища алмазоутворення, первинний флюїд.



Сергій Бекеша серед співробітників кафедри мінералогії, 1985.
Зліва направо: Н. Лащова, С. Бекеша, В. Макаров, Л. Ланчак,
О. Матковський, М. Хотєєнкова

Упродовж 1979–1983 рр. С. Бекеша працював на посаді інженера, 1987–1994 – молодшого наукового співробітника НДЧ Львівського університету; у 1994–1996 рр. – начальник польової аналітичної лабораторії і головний мінералог АТ «Еклогіт» у Красноярську.

Повернувшись до України, Сергій Миколайович протягом 1997–2000 рр. працював старшим і провідним співробітником НДЧ та доцентом кафедри мінералогії Львівського університету, у 1997 р. йому присвоєно вчене звання доцента; 2001–2002 – старший науковий співробітник Дослідницького центру Міністерства освіти України, 2003–2005 – старший науковий співробітник Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України (м. Львів). Упродовж 2005–2009 рр. С. Бекеша працював провідним мінералогом гірничорудного товариства «Катока» в Анголі (на однойменній кімберлітовій трубці) – займався сортуванням алмазів. У липні 2009 р. Сергій Миколайович повернувся в рідні пенати – на кафедру мінералогії ЛНУ імені Івана Франка, де обійняв посаду асистента, а з лютого 2011 р. – доцента.



С. Бекеша працює на сортуванні алмазів, видобутих із кімберлітів трубки «Катока» (Ангола), 2003

Доцент Бекеша викладав такі навчальні дисципліни, як кристалографія, шліховий аналіз, мінералого-геохімічні методи пошуків, теоретичні основи фізики мінералів, гемологія, коштовне каміння, науково-дослідний практикум. Особливо подобалися студентам лекції Сергія Миколайовича про коштовне каміння (він розробив цей новий для кафедри навчальний курс). Сергій Бекеша – співавтор таких науково-методичних праць: *Бекеша С. М., Сливко Є. М., Білик Н. Т.* Цикл лекцій з курсу «Методи мінералогічних досліджень» (для студентів напряму підготовки 6.040103 – геологія). Ч. 1, 2. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2013; *Бекеша С. М., Білик Н. Т.* Діагностика мінералів шліхів : навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2015; *Білик Н. Т., Скакун Л. З., Бекеша С. М., Побережська І. В.* Діагностика мінералів за основними макроскопічними ознаками : навч.-метод. посібник до лаб. занять і самост. роботи для студентів спеціальності 103 – Науки про Землю та інших природних спеціальностей. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2022.



Сергій Бекеша (перший праворуч) серед учасників презентації книги «Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка (1945–2005)», 2 квітня 2009 р.

Наукові інтереси Сергія Миколайовича пов'язані з дослідженням різноманітних властивостей алмазу та його мінералів-супутників із кімберлітів, лампроїтів, флюїдизатно-експлозивних утворень та інших гірських порід різних регіонів України й інших країн. Учений займався проблемами алмазоносності Кіровоградського і Приазовського мегаблоків Українського щита, вивчав мінералогічні й петрохімічні особливості кімберлітів Зеленогайської структури, Щорсівської та Лелеківської дайок, з трубок «Ново-Ласпинська», «Южна», «Надія», «Петрівська», а також лампроїтів трубки «Мрія». Він досліджував кристаломорфологію пікроільменіту, хромдіопсиду, піропу, хромшпінелідів, алмазів України, Анголи й інших країн, мінералогію шаруватих силікатів групи смектитів, які є у складі кір звітрювання, сформованих по кімберлітових породах. Усі ці питання розглянуто в близько 130 наукових працях, серед яких наведемо праці останнього десятиліття: «Рудогенез флюїдизатно-експлозивного типу на південно-західній окраїні Східноєвропейської платформи» (2015; співавт. Г. Яценко, О. Гайовський, І. Яценко); «Флюїдизатно-експлозивний рудогенез і мінерагенія окраїни Східноєвропейської платформи в межах України» (2015; співавт. Г. Яценко, О. Гайовський, І. Яценко); «Флюїдизатно-експлозивні прояви і особливості мінерагенії Передкарпаття» (2016; співавт. Г. М. Яценко, І. Г. Яценко, Г. С. Федчун); «Особливості кори звітрювання кімберлітової трубки Очинжау (південно-західна Ангола)» (2017; співавт. Б. Манчур, Н. Білик); «Леткі компоненти у верхній мантії Землі (за даними вивчення флюїдних включень у діамантах і сферулах ендегенного походження)» (2017; співавт. І. Наумко, І. Яценко, Г. Яценко, Б. Сахно, Л. Дручок); «Геологія та літолого-структурні умови локалізації брекчієподібних порід центральної частини Українського щита (на прикладі Грузького поля трубоподібних тіл)» (2019; співавт. О. В. Гайовський, Є. М. Сливко, Г. М. Яценко); «Особливості використання традиційних мінералів-індикаторів у процесі прогнозування й розшуків потенційно алмазоносних об'єктів» (2019; співавт. В. Гулій, І. Побережська) та ін.

Сергій Миколайович брав участь у численних наукових форумах різного рангу, де успішно представляв результати своїх досліджень, зокрема, «Континентальний неовулканізм Альпійської складчастої зони Східної Європи» (Київ, 2013), «Фундаментальне значення і прикладна роль геологічної освіти і науки» (Львів, 2014), Восьмі наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка (Львів, 2014), «Геохронологія та рудоносність докембрію і фанерозою (до 110-ї річниці від дня народження акад. АН УРСР Семененка М. П.)» (Київ, 2015), Десяті наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка (Львів, 2016), «Геологія і корисні копалини України» (Київ, 2018), «Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання» (Хорошів, 2018, 2021), «Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні» (Київ, 2019), «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI ст.» (Київ, 2021) та ін.



Доцент С. Бекеша за гоніометром

У 1997 р. група дослідників фізичного та геологічного факультетів Львівського університету, серед яких був і Сергій Миколайович, отримала патент України «Спосіб сортування алмазів»: номер патенту – 17165; автори – М. С. Підзирайло, А. С. Волошиновський, В. В. Василів, З. В. Бартошинський, С. М. Бекеша. Винахід належить до галузі мінералогії алмазу, а саме сортування алмазів на функціональні групи за вмістом домішкового азоту в А-формі для відбирання сировини під час виготовлення різноманітних алмазних інструментів.

Сергій Бекеша дуже шанобливо ставився до свого вчителя – видатного алмазознавця, доктора геол.-мін. наук, професора Збігнева Владиславовича Бартошинського і завжди зберігав теплі спогади про нього. Пам'яті проф. Бартошинського присвячено статті «Дослідження природних діамантів у Львівському університеті (до 85-річчя від народження проф. З. Бартошинського)» (2014) і «Внесок професора Збігнева Бартошинського в дослідження алмазів та мінерагенічну кристалографію (до 90-річчя від дня народження)» (2019; співавтор О. Матковський).

Сергій Миколайович був надзвичайно інтелігентною й толерантною людиною, його поважали колеги і студенти, з ним приємно було спілкуватися на будь-які теми – і наукові, і життєві. Він залишив свій помітний слід в українській мінералогічній науці. Ми пам'ятатимемо...

НОТАТКИ