



СЬОМКА

Володимир Олексійович – доктор геологічних наук, головний науковий співробітник відділу геології та геохімії рудних родовищ Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

ПРО ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЛІТІЄВОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ В УКРАЇНІ. ЛІТІЄНОСНІ ПЕГМАТИТИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 25 травня 2022 року

У доповіді зазначено, що за розвіданими запасами й прогностичними ресурсами на території України є найбільші в Європі поклади літію. Однак розробка цих родовищ пов'язана з низкою проблем, насамперед економічного характеру, оскільки українські літійовмісні руди представлені переважно петалітом, тоді як 99,9 % світових аналогів літійових пегматитів – сподуменом. Відповідно, створення нової технології виокремлення цього металу з петаліту потребує значних капіталовкладень.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні члени Президії НАН України!

До вашої уваги пропонується доповідь про особливості літійових пегматитів Українського щита.

Як відомо, літій – це «золото» ХХІ століття, адже цей метал є основою для створення літій-іонних акумуляторів, без яких уже неможливо уявити собі життя у сучасному світі високих технологій, адже вони живлять практично всю техніку, яку ми використовуємо в побуті та для інших потреб, – від смартфонів і ноутбуків до електромобілів і літаків.

За розвіданими запасами і прогностичними ресурсами літію Україна є найбагатшою країною в Європі. Вона може не лише повністю задовольнити свої потреби, а й забезпечити попит західноєвропейського ринку на літійову сировину. В останні десятиліття на території України було відкрито кілька родовищ літійових руд, пов'язаних з рідкіснометалічними гранітними пегматитами протерозойського віку. У Західному Приазов'ї попередньо розвідано родовища Крута Балка і Шевченківське.

Рудопрояви літію Криворізько-Кременчуцької шовної зони представлені Жовторіченським та Комендантівськими рудопроявами. У центральній частині Українського щита (Шполянсько-Ташлицький рудний район) виявлено й оцінено такі

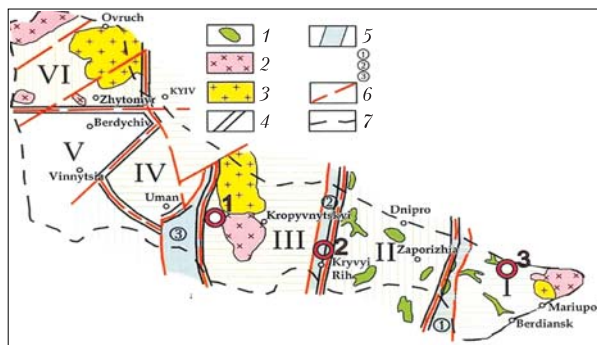


Рис. 1. Геологічна схема блокової будови Українського щита. Кругами позначено родовища літію: 1 – Полохівське і Станкуватське; 2 – Жовторіченське і Комендантівське, 3 – Шевченківське і Крута Балка

родовища, як Полохівське, Станкуватське, Надія і рудопрояв Липнязький (рис. 1).

Західноприазовська група родовищ літєвих руд розташована в межах меридіональної рідкіснометалічної зони в західній частині Приазовського блока Українського щита і представлена Шевченківським родовищем і родовищем Крута Балка.

Пегматити *Шевченківського родовища* пов'язані з кристалічним комплексом докембрійського фундаменту і перекриті пухкими утвореннями платформного кайнозойського чохла потужністю до 100 м. Тіла пегматитів крутопадаючі, залягають субзгідно з гнейсово-кристалосланцевою товщею. Виявлено 6 рудних тіл з промисловою літєвою мінералізацією потужністю від 2 до 84 м, завдовжки 200–1200 м. Загальна ширина продуктивної зони становить 260–300 м. Пегматитові тіла розбурені до глибини 500 м. Руди з промисловими концентраціями літію характеризуються підвищеним вмістом рубідію, танталу, ніобію, берилію й олова.

На родовищі виділено два різновиди літєвих руд – сподуменовий і петаліт-сподуменовий, які об'єднано в загальний сподуменовий технологічний тип руди. Сподумен у руді переважно крупний і належить до звичайного для сподуменових пегматитів залізовмісного різновиду (Li_2O – 7,4 %; Fe_2O_3 – 0,6–0,8 %). Петаліт дрібнозернистий, при збагаченні за

гравітаційно-флотаційною схемою можливе одержання сподуменового концентрату з вмістом 5,1 % Li_2O при вилученні з нього 88,5 % літію. У разі проведення подальших досліджень якість сподуменового концентрату можна значно підвищити.

Родовище Крута Балка знаходиться поблизу села Крута Балка Ясинуватського району Донецької області і розташоване в західній частині Сорокинського пегматитового поля між розривними порушеннями північно-західного і північно-східного простягання. Рідкіснометалічні пегматити локалізуються в слюдистих і амфіболових сланцях, а також метаультрабазитах. Пегматити утворюють переважно пологозалягаючі пластоподібні тіла потужністю від кількох дециметрів до 70 м і завдовжки до кількох сотень метрів. По вертикалі до глибини 240 м вони утворюють серію тіл з чіткою зональністю від слюдяно-керамічних (безрудних) до альбіт-мікроклін-сподуменових (рудних) у верхніх частинах жил. Вміст Li_2O становить 0,008–6,55 %.

Родовище локалізується в полі турмаліновмісних пегматитів, приурочених до Сорокинської тектонічної зони, і перспектива виявлення в цій зоні комплексних рідкіснометалічних пегматитів цілком реальна.

Проте на сьогодні Західноприазовська група родовищ літєвих руд перебуває в зоні російської окупації і поки що не становить першочергового інтересу для досліджень.

Рудопрояви літєвих **Криворізько-Кременчуцької шовної зони** локалізуються на двох ділянках – Жовторіченській (м. Жовті Води Дніпропетровської обл.) і Комендантівській (20 км на схід від м. Кременчук, Кобеляцький р-н, Полтавська обл.). Вмісні породи – метаморфіти криворізької серії. Жовторіченська ділянка розташована в центральній частині Криворізько-Кременчуцької шовної зони і характеризується пегматитами літій-цезієвого профілю мінералізації. Пегматити представлені жилами олігоклаз-мікроклінового, мікроклін-альбітового та альбітового складу потужністю від 2 до 10–20 м і завдовжки до кількох сотень метрів. Сподумен у пегматитах поширений нерівно-

мірно і концентрується в зоні грубозернистого пегматиту. У підпорядкованій кількості наявні танталоніобати, іноді гелівін. Вміст літію в пегматиті становить 0,3–1,0 %.

Комендантівська ділянка розташована на північному фланзі зони, де сподумен-альбітові пегматити локалізуються всередині більш поширених мікроклін-альбітових пегматитів. Сподумен перебуває в асоціації з холмквіститом і танталоніобатами. Максимальний вміст літію в сподумен-альбітових пегматитах досягає 0,9 %.

Шполянсько-Ташлицький рідкіснометалічний район. Найбільш перспективним об'єктом для здійснення геологічної розвідки і подальшого освоєння на сьогодні в Україні є *Полохівське літєве родовище*, яке розташоване в безпосередній близькості від діючого гірничо-збагачувальний комбінат «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (ВостГок), що здійснює підземне відпрацювання уранових руд. Родовище знаходиться поблизу смт Смолине Маловисківського району Кіровоградської області у східній частині Шполянсько-Ташлицького рідкіснометалічного району, в південно-західному обрамленні Корсунь-Новомиргородського плутону і приурочене до метасоматично змінених лейкократових апліто-пегматоїдних гранітів (рис. 2).

На сьогодні на родовищі вивчено три крутопадаючих рудних тіла, що залягають субзгідно зі смугастістю гнейсів і лінійністю гранітоїдних ін'єкцій. Довжина найбільшого тіла становить 550 м за середньої потужності 60 м і максимальної – 130 м. Це тіло простежене за падінням до глибини 500 м від денної поверхні. Друге рудне тіло, потужністю від 13 до 75 м, простежено по простяганню на 350 м і глибиною до 400 м. Третє тіло має менш значні лінійні параметри і є сліпим.

Спеціалізація руд родовища – літєва; побіжні компоненти – рубідій, тантал, ніобій, берилій і олово. Середній вміст Li_2O в рудних тілах становить: у першому тілі – 1,25 %, у другому – 1,21 %, у третьому – 1,04 %.

Руду представлено чотирма головними мінералами: петалітом (27,6–36,2 %), альбітом (26,3–28,0 %), мікроклін-пертитом (19,1–

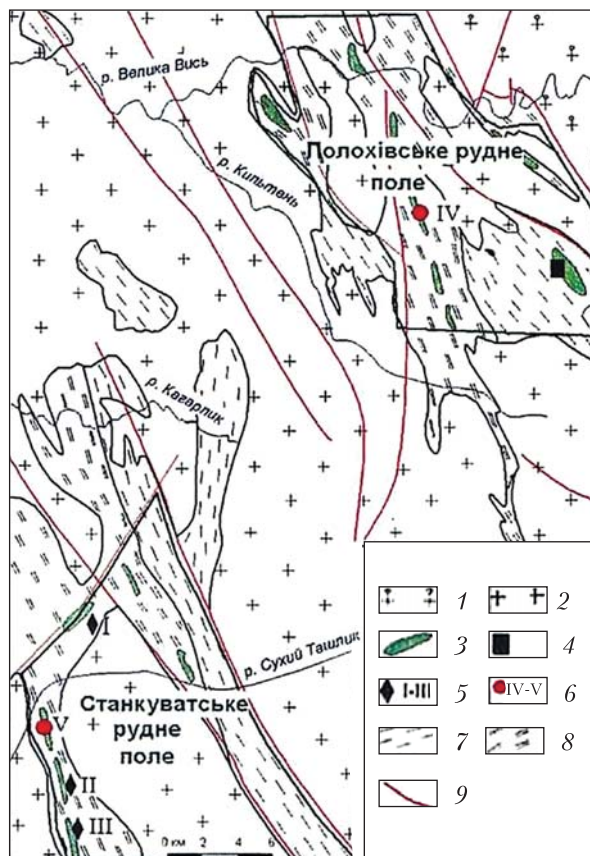


Рис. 2. Геологічна схема Шполянсько-Ташлицького рудного району: 1 – породи Корсунь-Новомиргородського плутону; 2 – гранітоїди Новоукраїнського масиву; 3 – амфіболіти; 4 – рідкіснометалева мінералізація; 5 – рудопрояви літію; 6 – родовища (IV – Полохівське, V – Станкуватське); 7 – гнейси інгулоінгулецької серії; 8 – пегматити та апліто-пегматоїдні граніти; 9 – розломи

20,9 %) і кварцом (15,8–21,7 %), що в сумі становить 97–98 %. Основним носієм літію є петаліт, з яким пов'язано 91–95 % загальної кількості Li_2O у руді. Рубідій на 93,3–96,9 % пов'язаний з калієвим польовим шпатом. Інші побіжні компоненти – Be, Ta, Nb, Sn – іноді цілком зосереджені у власних мінералах-носіях – хризоберилі, танталоніобатах, каситериті, станині, нігериті.

За технічним завданням ТОВ «Укрлігіввидобування» і ТОВ «Магма» (дані В.Е. Карли) камеральним методом складено та подано на

розгляд Державної комісії України по запасах корисних копалин геолого-економічну оцінку запасів та ресурсів оксиду літію Полохівського родовища станом на 01.08.2011 в кількості 432 704 т, у тому числі балансових запасів оксиду літію категорії С2 – 327 513 т; перспективних ресурсів оксиду літію категорії Р1 – 105 191 т.

У літєвих пегматитах розрізняють три генерації петаліту $\text{LiAl}[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$. Першу генерацію представлено крупнокристалічними індивідами (розміром до 3–4 см) у тісному зрощенні з альбітом і мікрокліном в альбіт-мікроклін-петалітовому пегматиті. Петаліт тут асоціює з літєвими фосфатами амблігоніт-монтебразитового ряду, дюмортьеритом, турмаліном і трифіліном. До цієї генерації відносять також і крупнокристалічний петаліт, що утворюється в безпосередній близькості від контакту альбіт-петалітових пегматитів з амфіболітами. Тут у крупних кристалах петаліту спостерігаються мікрорелікти альбіту та крупні (2–3 мм завдовжки) кристали зонального хризоберилу. Другу генерацію петаліту представлено мікрозернистими кварц-петалітовими агрегатами, які інтенсивно заміщують альбіт, а іноді і мікроклін у мікроклін-альбіт-петалітових пегматитах. При цьому утворюється симплектитове зрощення петаліту з реліктами альбіту або відбувається заміщення альбіту агрегатом ксеноморфних зерен (розміром 0,01–0,03 мм) петаліту. Ця генерація петаліту є головним рудним мінералом у літєвих пегматитах. До третьої генерації відносять тонкі прожилки петаліту, які перетинають новоутворений порфіроподібний мікроклін у зонах катаклазу пегматитів. Ця генерація петаліту відіграє незначну роль в утворенні промислової літєвої мінералізації.

Вміст Li_2O в петалітах Полохівського родовища змінюється від 4,0 до 4,8 %.

Станкуватське рудне поле (рис. 2) розташоване за 40 км на південний захід від Полохівського родовища. Тут локалізовано такі родовища, як Надія, Станкуватське та Липнязький рудопрояв.

Родовища Станкуватське і Надія (обидва знаходяться в межах розвитку амфіболітів, між притоками річки Синюха – Сухий Ташлик і

Чорний Ташлик, поблизу сіл Воронівка та Захарівка Новоукраїнського району Кіровоградської області) являють собою серії (до 8–12) зближених крутопадаючих тіл літєвих пегматитів потужністю від кількох десятків сантиметрів до 25–30 м. Найпотужніші тіла приурочено до стрижневих частин пегматитових серій. Потужність продуктивної зони Станкуватського родовища становить 140–150 м. Вміст Li_2O в окремих рудних тілах варіює від 0,345 до 2,23 %, досягаючи в середньому по родовищу 1,26 %; побіжні компоненти – рубідій, тантал, ніобій, берилій, олово. На північному фланзі родовища окремі пегматитові тіла містять підвищену кількість Ta_2O_5 (до 0,01–0,02 %) при низькому вмісті Li_2O . Потужність продуктивної зони родовища Надія становить 130–140 м. Вміст Li_2O змінюється від 0,25 до 1,264 %, в середньому – 1,06 %; побіжні компоненти – рубідій, тантал, ніобій, берилій, олово. Підраховані ресурси літєвих руд апробовані в Державній комісії України по запасах корисних копалин і становлять понад 100 тис. т руди (дані М.А. Козара).

Сподумен $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ найбільш поширений на Станкуватському рудному полі, хоча й на Полохівському родовищі він спостерігається в незначних кількостях у центральних зонах петалітових пегматитів. Утворюється переважно як вторинний мінерал унаслідок розпаду петаліту. За мінералого-петрографічними співвідношеннями сподумену з петалітом та іншими породотвірними мінералами виділяють три генерації сподумену. Перша характеризується позапарагенетичним зв'язком з петалітом, коли утворюються мусковіт-сподумен-кварцові відособлення з незмінним (первинним) сподуменом у малопотужних жилах мікроклін-альбітових пегматитів, що перетинають гнейси. Цей сподумен має найбільшу залізистість ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,83$ %). Друга генерація – це мікрозернисті агрегати, що утворюються в зонах деформації і катаклазу пегматитів. Тут він утворює волокнистоподібні виділення в інтерстиціях зерен петаліту, в кварці та польових шпатах і формується услід за калішпатизацією, оскільки перетинає новоутворені порфіроподібні виділення мікрокліну. До тре-

тьої генерації належить сподумен, який утворює псевдоморфози по петаліту і приурочений до центральних зон петалітових пегматитів. Сподумен цього типу представлений дрібними (1–10 мкм) голкоподібними кристалами в зрощенні з кварцом, що заміщують петаліт. Скупчення кристалів сподумену набувають форми снопів, віял та дендритів. Найпізніша, четверта генерація утворюється вслід за кварц-мусковітовим заміщенням (грейзенізацією пегматитів), оскільки мікроскопічно спостерігається, як сподумен обростає мусковіт. За хімічним складом цей сподумен відрізняється від першої генерації меншою кількістю Fe_2O_3 і нижчим вмістом MnO (0,04–0,05 %), що характерно для сподуменів з петалітових пегматитів багатьох родовищ світу.

Вміст Li_2O в сподуменах Полохівського і Станкуватського родовищ змінюється від 6,7 до 7,14 %.

Акцесорна мінералізація представлена трифіліном, монтебразитом, апатитом, хризоберилом. Найбільше скупчення трифіліну $\text{Li}(\text{Fe}, \text{Mn}) [\text{PO}_4]$ спостерігається в приконтактовій зоні літєвих пегматитів з вмісними породами, де утворюються ксеноморфні агрегати зерен трифіліну з розмірами індивідів від 1–5 мм до 3–4 см (у разі відносно крупних жовен) і суцільні зонки потужністю від кількох міліметрів до 1,5 см. Середній вміст трифіліну в рудних тілах становить 0,5–1 %. Він асоціює з апатитом, нігеритом, хризоберилом, монтебразитом та ганітом і трапляється в інтерстиціях польових шпатів. Трифілін часто заміщує апатит і гранат, а також містить включення більш раннього хризоберилу. Спостерігаються зростки трифіліну з нігеритом та ганітом. Іноді трифілін заміщається по периферії зерен сподуменом-II і монтебразитом. Хімічний аналіз трифіліну з Полохівського родовища (св. 26–90, гл. 312,0 м): SiO_2 – 1,07 %; Fe_2O_3 – 0,34 %; FeO – 32,33 %; MnO – 9,80 %; MgO – 0,19 %; Li_2O – 9,04 %; P_2O_5 – 46,26 %; H_2O^+ – 0,52 %. Мікрозондові дослідження хімічного складу трифіліну, виконані С.І. Курилом в Інституті наук про Землю Словацької АН, дають можливість визначити уніфі-

ковану кристалохімічну формулу трифіліну: $\text{Li}_1(\text{Fe}_{2,3-1,8}\text{Mn}_{0,2-0,74}\text{Mg}_{0,26-0,51})(\text{P}_{2,98-3,06}\text{O}_4)(\text{F}_{0-0,7}\text{OH}_{0,93-1,0})$.

Хімічний склад трифіліту є однорідним у межах одного зразка, однак значно варіює в різних пегматитових жилах та зонах. Співвідношення $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mn})$ коливається від 0,91 до 0,71 і поступово зменшується від альбітової до альбіт-петалітової та приконтактової альбіт-мікроклінової зон. Трифілін у пегматитах у контакті з амфіболітами демонструє високу концентрацію MgO (до 11,05 мас.%), що, ймовірно, відображає гібридизацію пегматитами вмісних амфіболітів. За більш інтенсивних процесів метасоматичного заміщення пегматитів, особливо петалітизації, зерна трифіліну зазнають інтенсивної корозії, зменшуються в розмірі і часто повністю заміщуються гідроксилпатитом. Трифілін утворює ізоморфний ряд з літіюфілітом, який виявлено нами в петалітових пегматитах Полохівського родовища і підтверджено рентгеноструктурним аналізом.

Монтебразит $\text{LiAl}(\text{PO}_4)(\text{OH})$ наявний у сподуменових мікроклін-альбітових пегматитах. Він приурочений до виділень трифіліну і часто перебуває у зрощенні з ним, а іноді спостерігається у вигляді поодиноких зерен. Зерна округлої, нечітко призматичної форми розміром 0,1–0,3 мм. Забарвлення жовте, буро-коричневе з легким плеохроїзмом, високим двозаломленням, у свердловині 61–90 (гл. 217 м) містить дрібні прожилки та включення вторинного апатиту. Монтебразит формує як первинні, так і вторинні зерна. Первинний монтебразит проявляється в петалітових та сподумен-альбіт-мікроклінових зонах, часто як релікт асоціює з нігеритом, трифіліном та хризоберилом. Вміст фтору в монтебразитах дуже низький (<0,2 мас.%). Первинний монтебразит асоціює з трифіліном та вторинним апатитом. Вторинний монтебразит перевідкладався з багатого на фосфор флюїду протягом гідротермальної стадії в асоціації зі сподумен+кварц-фібрами. Вміст інших елементів домішок дуже низький.

Загалом розвідані світові запаси літію оцінюють у 22 млн т, а ресурси – у близько

89 млн т. Лідерами за прогнозними обсягами покладів літію у світі є Болівія (21 млн т), Аргентина (19 млн т), Чилі (9,8 млн т), Австралія (7,3 млн т) і Китай (5,1 млн т). У світі 70 % літію видобувають із ропи соляних озер, в якій літій концентрується у вигляді хлориду, і лише 30 % – з камерних пегматитів, в яких головним концентратором літію є сподумен, що утворює монокристали розміром від 1 до 10–15 м. Ці пегматити розробляють переважно кар'єрним методом, і літієві мінерали легко збагачуються флотацією. Технологія видобутку хлориду літію з літієвих мінералів пегматитів є більш енерговитратною, ніж технологія його отримання з ропи соляних озер.

Тепер розглянемо інвестиційну привабливість літієвих пегматитів Шполянсько-Ташлицького рудного району.

Перевагами літієвих родовищ цього рудного району є, по-перше, наявність високорозвинутої промислової інфраструктури – поруч у смт Смоліне працює гірничозбагачувальний комбінат уранових руд; по-друге, високі вмісти оксиду літію в пегматитах та комплексний характер руд (Li, Nb, Ta, Sn, Be); по-третє, великі прогнозні ресурси літієвих руд.

Серед недоліків літієвих родовищ Шполянсько-Ташлицького рудного району можна назвати такі:

1) високоякісні чорноземи, на які згубно впливатиме підземний шахтний видобуток літієвих руд;

2) наявність кори вивітрювання, що має потужність 40–80 м;

3) малопотужні крутопадаючі тіла літієвих пегматитів та великі глибини їх залягання (понад 200 м), що потребує підземного шахтного видобутку;

4) субмікроскопічні зрощення петаліту і сподумену з польовими шпатами, кварцом і силіманітом, що ускладнює виділення цих мінералів;

5) високоенерговитратна технологія переробки літієвих руд.

Отже, в Україні є поклади літію і, відповідно, є шанси налагодити його видобуток. Як повідомляє інтернет-видання Mind.Explain, українські геологи вважають, що за розвіданими запасами й прогнозними ресурсами на території нашої країни зосереджені найбільші поклади цього металу в Європі. За різними неофіційними даними (офіційні дані щодо літію є державною таємницею), запаси літію в Україні оцінюють від 500 тис. до 5 млн т.

Однак найбільша проблема з реалізацією цих шансів стосується економічної складової проєктів. Українські руди представлено переважно петалітом, тоді як 99,9% світових аналогів літієвих пегматитів – сподуменом. Процес виокремлення літію з петаліту потребує створення окремої технології, для чого знадобляться значні капіталовкладення, особливо з боку приватних структур.

Дякую за увагу!

Volodymyr O. Syomka

Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5202-4045>

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LITHIUM PRODUCTION AND CHEMICAL CURRENT SOURCES IN UKRAINE. LITHIUM-BEARING PEGMATITES OF THE UKRAINIAN SHIELD

Transcript of the report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, May 25, 2022

The report states that according to explored reserves and forecast resources, Ukraine has the largest lithium deposits in Europe. However, the development of these deposits is associated with a number of problems, primarily of an economic nature, since Ukrainian lithium-bearing ores are mainly represented by petalite, while 99.9% of the world lithium pegmatite analogues are represented by spodumene. Thus, the creation of a new technology for separating this metal from petalite requires significant capital investments.