

УДК 553.041

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.110.04>

Володимир МИХАЙЛОВ, д-р геол. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-1837-9739

e-mail: vladvam@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Максим РЕВА, канд. геол. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0003-1141-093X

e-mail: Reva_max@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ВИДОБУТКУ ЛІТІЮ В УКРАЇНІ

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

Вступ. Розглянуто перспективи розробки літійових родовищ в Україні, що зумовлені попитом сучасної промисловості на літій та літійову сировину. Проблема забезпечення літійом особливо гостро стоїть для розвинутих країн ЄС, де він на 100 % забезпечується імпортом і США, де частка імпорту сягає 50 %. Для України забезпечення літійом є надзвичайно актуальним питанням, через проблеми в енергетиці та розбудову систем накопичення і передачі альтернативної електроенергії.

Методи. В роботі використано методи збору та аналізу фондів, методи порівняння та аналогій.

Результати. Наведено статистику щодо видобутку літію у світі щодо оцінених запасів. Ця інформація показує, що основні джерела літійової сировини у світі приурочені до ропи солоних озер Чилі, Болівії, менші за об'ємами джерела пов'язані з пегматитами. В Україні в 80–90-х роках виявили кілька родовищ літію, пов'язаних із пегматитами: Шевченківське (Донецька область), Крута Балка (Запорізька область), Полохівське і Станкуватське (Ділянка Добра) (Кіровоградська область). Руди Шевченківського родовища і ділянки Крута Балка складені переважно сподуменом, що зумовлює досить простий спосіб їх збагачення, але родовища розташовані на непідконтрольній території, що унеможлиблює їх розробку. Руди Полохівського родовища складені переважно петалітом, а Станкуватського – петалітом і сподуменом, що ускладнює технологію їх збагачення. На Станкуватському родовищі оцінено прогностичні ресурси рубідію, цезію, танталу, ніобію, берилію та олова, що підвищує його інвестиційну привабливість. Передбачається, що перспективним ресурсом літію в Україні можуть бути супутні пластові води (СПВ) нафтових і газових родовищ. Останнім часом цей ресурс набуває популярності у світі, оскільки у СПВ багатьох родовищ вуглеводнів встановлено підвищені концентрації літію, рубідію, цезію, йоду, бром та бору. Вважається, що оптимальна концентрація літію у СПВ має бути не менш як 100 мг/л, але досвід розробки деяких родовищ показує економічну доцільність вилучення літію із СПВ за концентрацій 20–30 мг/л. У СПВ деяких нафтогазових родовищ України зафіксовано вмісти до 10–23 мг/л, однак системних досліджень з цього питання не проводилося, тому надати об'єктивну оцінку цього ресурсу наразі неможливо. Це зумовлює потребу проведення детального вивчення супутніх пластових вод нафтогазових регіонів України.

Висновки. В Україні існує багато проблем із видобутком літію, оскільки родовища досить слабо вивчені та існують проблеми з геолого-економічною їх оцінкою. Проте серед корінних родовищ літію в Україні найбільшу інвестиційну привабливість має Полохівське родовище петалітових руд. Також досить перспективним ресурсом для літійової сировини є супутньо-пластові води нафтогазових родовищ.

Ключові слова: родовище, літій, супутні пластові води, геолого-економічна оцінка.

Вступ

Постановка проблеми. Літій належить до критичної сировини у всіх промислово розвинених країнах світу, зокрема країни ЄС на 100 % залежать від його імпорту, а США – на 50 %. Це пов'язано з різким зростанням його споживання, насамперед для виробництва літійових батарей. Так, якщо у 2014 р. світове споживання літію було 31,4 тис. т, то у 2024 р. – вже 117,4 тис. т. Відповідно зростає і ціна літію: якщо в 2012–2020 рр. вона коливалася близько 8–12 тис. \$/т, то в 2022 р. досягла 78 тис. \$/т. Після цього, правда, вона дещо знизилася і нині

стабілізувалася на рівні 40–50 тис. \$/т. Тим не менш, зрозуміло є комерційна привабливість цього металу для будь-якої країни. Тому питання про можливий видобуток літію на теренах України є надзвичайно актуальним (Мінеральні ресурси..., 2020; Про затвердження..., 2024).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Видобуток літію у світі постійно зростає, так, якщо у 2015 р. він становив 62 587 т, то в 2022 р. він вже досяг позначки 345 829 т. На початку 20-х років цього століття його видобуток здійснювали 11 країн (табл. 1).

Таблиця 1

Світовий видобуток і запаси літію (Mineral Commodity..., 2023; World Mining..., 2021, 2024)

Країна	Видобуток, т						Запаси, тис. т	Ресурси, млн т
	2015	2016	2017	2018	2019	2022		
Австралія	24 140	29 640	98 260	114 920	103 000	149 800	2 800	6,3
Чилі	22 500	31 240	32 520	38 850	47 770	110 350	8 600	9,0
Китай	4 350	6 000	14 700	15 300	16 600	57 900	1 000	4,5
Аргентина	7 860	12 200	12 360	13 810	13 670	14 210	1 700	17,0
Зімбабве	1 405	2 030	1 850	3 160	2 650	3 540	230	0,54
Бразилія	308	440	533	600	2 390	7 863	95	0,4
США	1 820	1 800	1 420	1 500	1 400	1 640	630	6,8
Португалія	204	307	604	914	710	210	60	0,25
Болівія	0	10	20	10	160	250	н/зв	21,0
Росія	0	0	0	0	0	46	н/зв	н/зв
Нігерія	0	0	0	50	50	20	н/зв	н/зв
Канада	0	0	66	8 750	1 200	0	370	1,7
Намібія	0	0	0	600	0	0	н/зв	0,009
Всього	62 587	83 667	162 333	198 464	189 600	345 829	17 000	80

Існує два головних джерела літію: це, по-перше, ропа солених озер Чилі, Болівії та інших країн, а по друге – рідкіснометалічні пегматити, відомі в Австралії, США, Канаді тощо. Безсумнівно, найвигоднішим джерелом літію є ропа солених озер, де собівартість його видобутку є мінімальною, а технології вилучення достатньо розроблені (Marcinow et al., 2023). Однак у багатьох країнах видобуток літію здійснюється також з гранітних пегматитів, тим більш, що, крім літію, вони часто містять підвищені вмісти танталу, ніобію, рубідію, цезію, олова, берилію. Крім цих джерел, у світі дискутується питання видобутку літію із супутніх пластових вод нафтових родовищ і можливих технологій такого видобутку (Marcinow et al., 2023; Murodjon et al., 2020).

Що стосується України, тут ще в 80-ті – 90-ті роки минулого століття було виявлено кілька родовищ літєвих пегматитів, що дає змогу ставити питання про власний видобуток літію. Ці родовища і пегматитові поля, з якими вони пов'язані, достатньо широко висвітлені в геологічній літературі (Бакаржєв и др., 2000; Білоус, Слободян, & Парфенюк, 2024; Возняк та ін., 2000; Галецький, Зарицький, & Князєв, 1987; Еременко и др., 1996; Іванов та ін., 2000; Ісаков, & Бобров, 2000; Сукач та ін., 2021). Окремі роботи присвячені перспективам розробки пластових вод нафтогазових районів і родовищ як джерела йоду і бромю (Бандуріна та ін., 2014; Кучманич, Бриндзя, & Щемельов, 2018).

Частини загальної проблеми, які не були розв'язані раніше. Однак реальної геолого-економічної оцінки цих родовищ не надавалось і залишається невідомим, чи буде видобуток літію з них економічно доцільним. Крім того, майже ніхто не ставив питання перспектив видобутку в Україні літію із супутніх пластових вод нафтогазових родовищ, де, за нашими даними, спостерігається його підвищений вміст (Рева, 2016, 2019; Чомко, Рева, & Диняк, 2016; Reva, & Chomko, 2018).

Метою статті є об'єктивна оцінка перспектив видобутку літію в Україні як із корінних джерел, так і із супутніх пластових вод нафтогазових родовищ, оцінка інвестиційної привабливості конкретних об'єктів літєвої мінералізації і загального стану вивченості цієї проблеми в Україні.

Методи

Корінні родовища літію України. В Україні відомо чотири родовища літію, пов'язані з рідкіснометалічними гранітними пегматитами раннього докембрію, які обліковуються в Державному балансі запасів: Шевченківське (Донецька область), Крута Балка (Запорізька область), Полохівське і Станкуватське (Ділянка Добра) (Кіровоградська область), а також кілька проявів у центральній частині Українського щита (Липнязький, Надія, Жовторіченський, Комендантський та ін.). Розглянемо їх з погляду інвестиційної привабливості.

Результати

Шевченківське родовище сподуменових руд відкрили у 1982 р. Воно представлено рядом рудних тіл у жильній системі субмеридіонального простягання, два з яких є головними і вміщують практично всі запаси літію. Їх середня товщина сягає 40 м, довжина 600–700 м, вони складені кварц-альбіт-сподуменовим (з мікрокліном та петалітом) агрегатом внутрішніх зон пегматитових тіл. Сподумен у ньому утворює блоки розміром 8–10 см, петаліт – дрібнозернисті гнізда розміром до 5–20 см. Вміст оксиду літію у середньому становить 1,22 %, понад 95 % запасів пов'язані зі сподуменом, що зумовлює можливість застосування значно поширених технологій збагачення. Крім того, в рудах встановлено підвищений вміст Rb, Cs, Ta, Nb, Be, Sn, які можуть розглядатися як супутні

компоненти. Запаси літєвих руд родовища затверджені протоколом ДКЗ СРСР № 10525 від 28.10.1988 р. у кількості (тис. т) за категоріями: С₁ 528, С₂ 1574,5, С_{2пб} 163,8, всього – 2 266,3 тис. т. Крім того, цим же протоколом затверджені запаси титану, ніобію, берилію (закриті дані), а також кварцу – 4863,6 тис. т і слюди – 527,2 тис. т; перезатверджені протоколом ДКЗ України № 4152 від 02.11.2017 (відомості закриті). Оскільки родовище розташоване на невідконтрольній території, обговорювати його інвестиційну привабливість не має сенсу.

Ділянка Крута Балка, відкрита у 1975 р., представлена трьома рудними зонами кварц-альбітових зі сподуменом пегматитових тіл, у яких вміст Li₂O сягає 0,008–6,55 %; Ta₂O₅ – 0,001–0,268 %; Nb₂O₅ – 0,001–0,036 %; Rb₂O – 0,001–0,395 %; Cs₂O – 0,001–0,129 %; P₂O₅ – до 0,009 %. На ділянці поперечно за категоріями С₁ і С₂ підраховано запаси руд танталу, ніобію, літію (закрита інформация), а також запаси концентратів, які утворюються під час збагачення рідкіснометалічних руд: польового шпату у кількості 809,8 тис. т, кварцу – 582,6 тис. т, слюди – 205,1 тис. т. Ділянка розташована на невідконтрольній території, що зумовлює неактуальність оцінки її інвестиційної привабливості.

Полохівське родовище петалітових руд представлено трьома крутоспадними рудними тілами в пегматитах облямування Корсунь-Новомиргородського плутона (рис. 1).

Перше рудне тіло простежено за простяганням на 550 м, за падінням – на 800 м, його середня товщина 60 м, середній вміст Li₂O 1,25 %; друге простежено за простяганням на 350 м, за падінням – на 400 м, його товщина 13–75 м, середній вміст Li₂O 1,21 %; третє має значно менші параметри. Рудні тіла складені петалітом (27,6–36,2 %), альбітом (26,3–28,0 %), пертитовим калішпатом (19,1–20,9 %), кварцом (15,8–21,7 %), зрідка сподуменом (до 2 %). Петаліт представлений дрібнозернистими мономінеральними скупченнями розміром до 10–20 см і розсіяними дрібними вклученнями у мікроклін-кварц-альбітовому матриксі. Вміст Li₂O в петаліті коливається від 4,0 до 4,8 %, у сподумені – від 6,7 до 7,1 % (Возняк та ін., 2000); середній вміст Li₂O в петалітовій руді – 1,10 % (Еременко и др., 1996).

Відомості про запаси родовища є закритими, що ускладнює незалежну геолого-економічну оцінку родовища. Методом експертної оцінки за аналогією з подібними родовищами світу можна оцінити його ресурси приблизно в 60–65 млн т руди та 700–800 тис. т Li₂O (Mykhailov, Hrinchenko, & Malyuk, 2022); інвестиційну привабливість родовища визначено як середню (за експертною оцінкою 65 балів по 100-бальній шкалі) (Михайлов, 2023). На видобування петалітових літєвих руд родовища ТОВ "Укрліт-видобування" видано спеціальний дозвіл № 6195 від 03 квітня 2017 р., дійсний до 03 квітня 2037 р.

Проблема полягає в мінеральному складі літєвих руд, які представлені майже виключно петалітом, у той час, коли флотаційні технології збагачення призначені переважно для сподумену. Тобто потрібна розробка особливих технологій збагачення петалітових руд.

Станкуватське родовище (ділянка Добра) сподумен-петалітових руд відкрили у 1989 р. Воно представлено двома рудопроявами – Станкуватським і Надія в Кіровоградській області, у західній зовнішній зоні Липнязького гранітного куполу. Вони пов'язані із серією крутоспадних пегматитових тіл у зоні завтовшки до 140–150 м, у центральній частині якої і зосереджені найпотужніші рудні тіла (рис. 2).

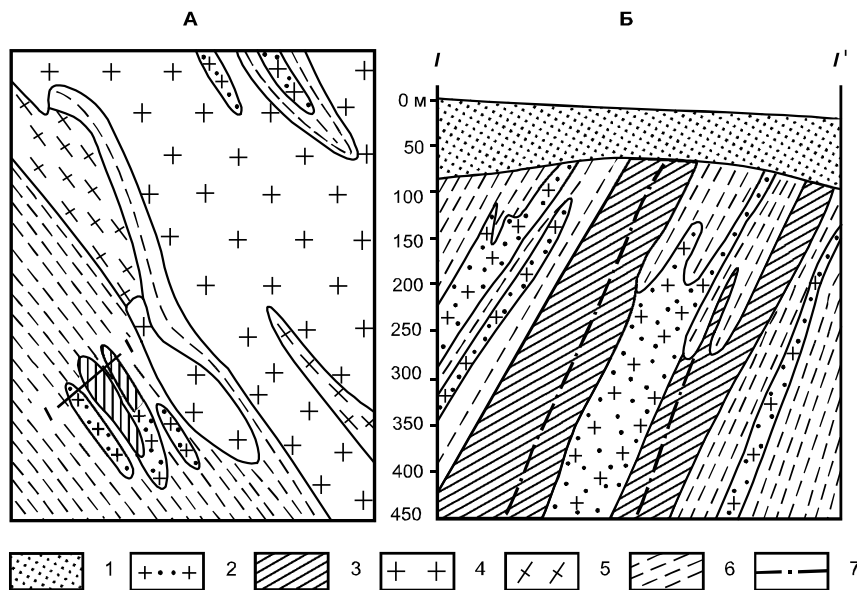


Рис. 1. Схематична геологічна карта (А) та розріз (Б) Полохівського родовища (Еременко и др., 1996):
 1 – осадові відклади чохла; 2 – пегматоїдні граніти з убогою літєвою мінералізацією;
 3 – пегматити з багатою літєвою мінералізацією (петаліти); 4 – граніти; 5 – мігматити; 6 – гнейси; 7 – розломи

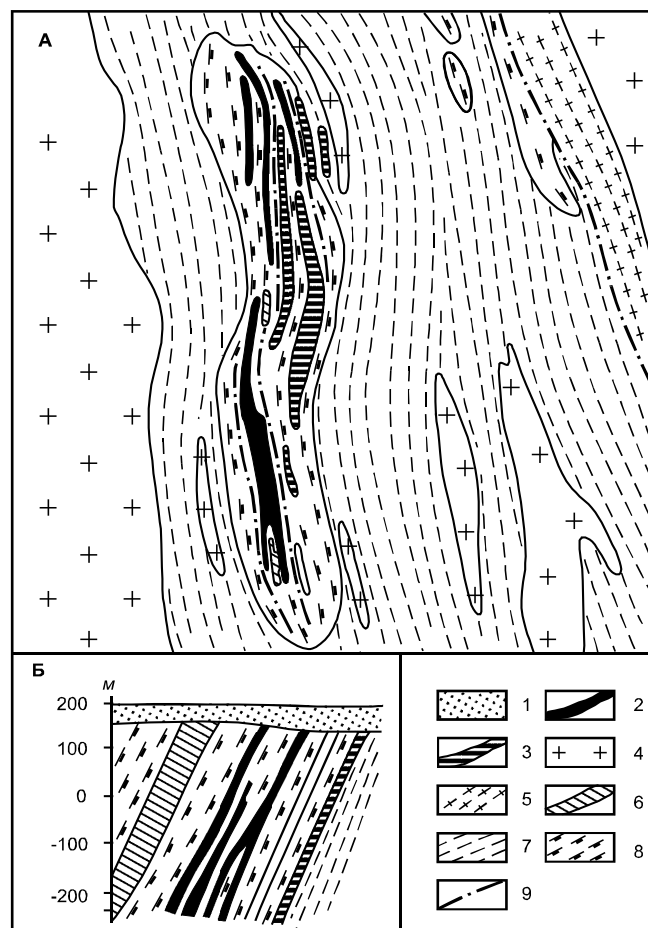


Рис. 2. Схематична геологічна карта (А) та розріз (Б) Станкуватського родовища (Еременко и др., 1996):

1 – осадові відклади чохла; 2 – пегматити з багатою літєвою мінералізацією;
 3 – пегматити з бідною літєвою мінералізацією; 4 – граніти; 5 – мігматити; 6 – піроксеніти; 7 – гнейси; 8 – амфіболіти; 9 – розломи

Вміст Li_2O в окремих рудних тілах коливається від 0,345 до 2,23 %, у середньому сягає 1,26 %. Руди комплексні: петалітові (32 %), сподуменові (28 %), сподумен-петалітові (17 %) і петаліт-сподуменові (23 %), що ускладнює

технологію збагачення руд через потребу селективного вилучення сподуменового і петалітового концентратів.

Запаси і ресурси літєвих руд затверджено протоколами ДКЗ № 4211-ДСК від 15.12.2017 і № 4461-ДСК від 08.08.2018

за категорією С₂ (закриті дані, середній вміст Li₂O 1,34 %), Р₁ – 1218135,1 т (середній вміст Li₂O 1,37 %), Р₂ – 70634,5 т (середній вміст Li₂O 1,43 %), а також ресурси Ta₂O₃ – 4745,4 т, Nb₂O₅ – 8238,4 т, Rb₂O₅ – 104074,0 т, BeO – 22081,5 т, SnO₂ – 4456,5 т, CsO₂ – 7971,4 т (Інвестиційний атлас..., 2021).

Завдяки комплексності руд родовища його інвестиційну привабливість визначено як високу (74 бали по 100-бальній шкалі) (Михайлов, 2023), але з аналізу результатів опробування рудних тіл, наведених на офіційному сайті Держгеонадра (Інвестиційний атлас..., 2021) виникають сумніви щодо їхніх параметрів, зокрема стосовно суттєвого завищення товщини рудних тіл, що може значно зменшити загальну оцінку запасів родовища і його інвестиційної привабливості. Це також зумовлює необхідність перегляду первинного фактичного матеріалу і щодо інших рідкіснометалічних родовищ України.

Літій у супутніх пластових водах нафтогазових родовищ. Питання видобутку літію з СПВ нафтогазових родовищ, розробки технологій його вилучення із цих вод вже дискутується у світовій науковій літературі, а на деяких родовищах США вже розпочався його

дослідницько-промисловий видобуток (Marcinow et al., 2023; Murodjon et al., 2020). Останнім часом постає питання можливості такого видобутку літію з СПВ нафтогазових родовищ України (Рева, 2016, 2019; Чомко, Рева, & Диняк, 2016).

Теоретичним підґрунтям цього питання є присутність літію в СПВ нафтогазових родовищ. Доведено, що пластові води присутні в переважній більшості нафтогазових родовищ, де можуть займати різну позицію щодо продуктивних пластів, завдяки чому виділяють СПВ контурні (крайові), підшовні, проміжні, верхні, нижні, змішані (рис. 3). Виділяють як суто водоносні пласти, так і зв'язану (залишкову, поховану) воду у складі продуктивних порід. Вміст останньої може коливатися в широких межах, але найчастіше сягає 20–30 % від обсягу колектора. Цінність СПВ як сировини для вилучення літію полягає ще в тому, що її цілеспрямовано не потрібно видобувати, а вона є похідним компонентом видобутку нафти і газу. Об'єм видобутої води на деяких родовищах України становить понад 90 % від загального об'єму видобутого флюїду.

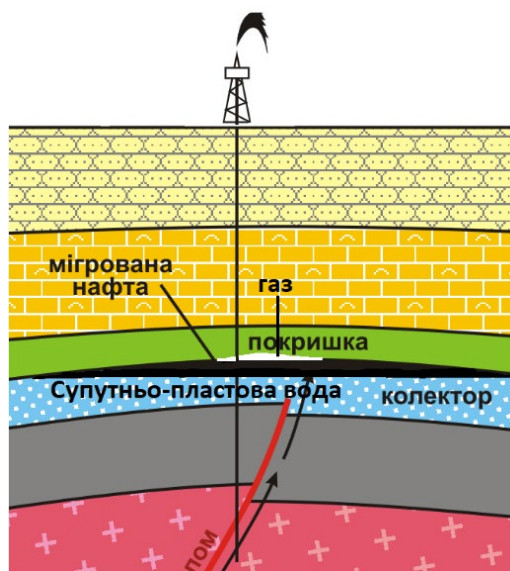


Рис. 3. Пластові води нафтогазових родовищ

(<https://ukraine-oss.com/suputno-plastovi-vody-u-naftogazovij-galuzi-problema-chy-rishennya/>)

З аналізу наявних даних щодо вмісту літію в СПВ родовищ вуглеводнів нафтогазоносних регіонів України впливає два найважливіші висновки. По-перше, визначення літію в СПВ нафтогазових родовищ проводилося спорадично, в явно недостатній кількості для об'єктивної оцінки його вмісту у водах всіх чи більшості родовищ вуглеводнів. По друге, практично у всіх пробах, де здійснювалося таке визначення, фіксується підвищений вміст літію в кількостях від перших мг/л до 10–20 мг/л (табл. 2). Такі вмісти літію не становлять промислового інтересу, хоча й свідчать про його присутність у СПВ деяких українських родовищ.

Крім літію, у проаналізованих пробах відзначається підвищений вміст йоду, бору, рубідію, цезію. Особливо звертає на себе увагу ураганий вміст рубідію і цезію в СПВ Кулачихінського родовища, яке, за умови підтвердження цих результатів, може бути джерелом супутнього видобутку цих елементів.

За матеріалами (Knapik, Rotko, & Marszałek, 2023) найсприятливіша для видобутку концентрація літію в

розсолах має бути не менш як 100 мг/л, хоч в деяких продуктивних нафтогазових формаціях і районах вона опускається до 28–57 мг/л (табл. 3).

Із цими матеріалами збігаються дослідження канадської компанії Volt Lithium з успішного вилучення літію із солевих розчинів з його концентрацією від 34 до 120 мг/л методом додавання до розсолу високоселективної абсорбуючої молекули, яка уловлювала літій і швидко відділяла його від води (News – Volt Lithium Corp, 2023).

Зрозуміло, що чим вища концентрація літію, тим доцільнішим є його видобуток. Але з аналізу наявних матеріалів впливає висновок про нерівномірний розподіл літію в СПВ нафтогазових площ. Так, на перспективних площах Республіки Дагестан вміст літію в СПВ коливається переважно від 22 до 57 мг/л і тільки на одній Тарумівській площі сягає 196–200 мг/л. Мінімальна промислова концентрація літію на цих родовищах встановлена у кількості 10 мг/л. На нафтогазоносних площах Оренбурзької області вміст літію в СПВ коливається від

10,5 до 660 мг/л; Непско-Ботубинської площі (Іркутська область) – від 30 до 105 мг/л.

Головними методами вилучення літію з розсолів є: галургічний з багатостадійним випаровуванням; мембранний; екстракційний; сорбційного вилучення за допомогою абсорбуючих речовин, наприклад гідроксиду алюмінію, який формує з літієм сполуки $\text{LiCl} \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (Karuprasamy et al., 2024; Liu et al., 2023).

Отже, в багатьох випадках встановлено доцільність використання супутніх пластових вод нафтогазових родовищ як гідромінеральної сировини для видобутку літію та інших компонентів. Це є підставою для детального вивчення СГВ нафтогазових родовищ України з метою їх оцінки як гідромінеральної сировини. Поки що систематичних досліджень з цього питання не проводилося, а наявних матеріалів явно недостатньо для об'єктивної оцінки їх потенціалу як джерела літію та інших елементів.

Таблиця 2

Концентрації хімічних елементів в супутніх пластових водах деяких родовищ, мг/л (Атлас..., 1998)

Родовище	Горизонт	J	Br	B	K	NH ₄	S ₂	Li	Rb	Cs
Східний НГР										
Липоводолинське НГК	B-20	10,58	157,2	12,35	715	104,4	680	10	8	-
	B-22	37,36	173,2	18,52	2417	198,5	800	12	6	-
	B-26	9,52	149,2	12,35	425	93,6	780	18	4	0,3
Роменське Н	-	49,31	0,62	0,07	49,1	0,84	-	0,06	-	-
Шатравинське Н	B-26	8,46	131,9	9,88	1900	н/зв	750	19	1,35	0,3
	T	8,46	113,2	-	-	н/зв	750	19	1,35	0,3
Кулачихінське НГК	B-16	7,47	141,94	16,48	78387,8	133,42	н/зв	н/зв	17541,1	154348,6
	B-17	4,72	32,41	21,66	38428,3	107,99	н/зв	н/зв	15430,8	93029,8
	B-21	10,17	22,68	8,68	19267,6	29,39	н/зв	н/зв	8874,9	44493,8
	T	7,62	136,9	16,57	65437,8	121,5	н/зв	н/зв	27888,0	158640,2
Березівське ГК	C-5	9,56	72,04	26,38	41,25	123,15	-	-	-	-
	B-166	15,82	81,06	59,33	-	118,19	1520	12,0	1,0	0,1
Кампанське НГК	B-15в	6,35	103,9	9,88	980	100,8	415	15,1	2,3	0,47
	B-19н	10,58	108,6	12,35	990	108,0	700	16,25	1,3	0,55
Андріяшівське ГК	B-19в	8,0	181,0	12,3	н/зв	н/зв	н/зв	0,99	0,39	0,010
	B-19н	10,5	129,2	12,0	448	н/зв	604	20,0	6,0	0,025
	B-20-21	8,0	142,0	11,2	396	н/зв	340	18,0	6,0	н/зв
Василівське НГК	B-15	6,35	105,2	12,35	600	74	422	10,0	1,4	0,28
	B-17с	23,0	143,9	12,35	1000	104	232	23,0	1,6	0,39
	B-17н	12,7	227,8	18,52	900	108	270	11,3	0,6	0,05
	B-18в	9,5	188,0	18,60	575	77	368	13,9	0,9	0,35
	B-19в	15,5	163,6	39,28	н/зв	209	н/зв	н/зв	н/зв	н/зв
	B-20	7,2	107,0	22,00	н/зв	153	580	5,95	0,3	0,3
Рудівсько-Червонозаводське ГК	T-1	6,4	53,3	н/зв	1000	н/зв	н/зв	н/зв	н/зв	н/зв
	B-20	4,23	90,58	н/зв	н/зв	н/зв	360	6,45	0,5	0,15
Чутівське ГК	T-3	2,112	73,26	н/зв	н/зв	н/зв	930	8,4	0,47	0,3
	A-6-8	42,0	683,0	14,60	н/зв	183,0	н/зв	3,9	2,07	н/зв
Новоселівське ГК	B-12	2,07	97,9	7,0	24932,2	36,8	345,8	2,79	0,90	н/зв
Лаврентіївське Г	C-17	2,5	н/зв	н/зв	17,0	15,0	н/зв	1,9	н/зв	н/зв
Західний НГР										
Вижомлянське Г	-	20-42	20-120	10-80		10-210	60-80	4-5	0,7-1,0	0,1-0,15
Підлісівське Н	МЛ-1	19,47	209,0	111,36	365	21,4		6,5	0,75	0,6
Русько-Комарівське Г	D-2	4,23	11,22	-	737,5	10,0	10,20	5,10	0,47	0,38
	D-3	4,11	6,35	3,1	198,3	10,0	5,40	0,21	0,18	0,13
	D-4	5,50	7,48	18,6	46,7	1,67	4,10	0,12	0,20	0,15
	D-5	1,09	13,40	-	858,2	10,0	3,16	9,85	0,43	0,20

Примітка. Результати аналізу вмісту K, Rb, Cs у водах Кулачихінського НГК родовища викликають сумніви і потребують перевірки. Родовища: Н – нафтові; Г – газові; ГК – газоконденсатні; НГК – нафтогазоконденсатні. н/зв – аналіз не проводився

Таблиця 3

Концентрації хімічних елементів в супутніх пластових водах деяких родовищ світу (Knapik, Rotko, & Marszałek, 2023)

Формация, родовище	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Li ⁺	Sr ²⁺	Br ⁻
	г/л					мг/л			
Qianjiang Formation of the Jiangnan Basin, China, sample QJ50	85.8	1.44	1.24	0.24	132.9	4.62	119	-	371
Qianjiang Formation of the Jiangnan Basin, China, sample QJ52	124.1	2.62	0.66	0.09	191.7	4.30	150	-	583
Qianjiang Formation of the Jiangnan Basin, China, sample QJ16	101.8	4.03	3.32	0.26	172.1	0.39	80	263	400
Smackover Formation, field Kerlin, county Columbia, sample 140	71.4	8.34	45.70	2.97	196.1	0.55	445	2980	5850
Smackover Formation, field Pine Tree, county Columbia, sample 199	63.0	3.02	39.80	2.12	201.5	0.18	277	2760	5640
Smackover Formation, field Yantis, county Wood, sample 226	75.4	7.43	26.90	4.51	192.0	0.20	505	2670	3080
Carboniferous formation in west Poland	53.0	3.06	36.00	2.53	165.0	2.09	81	2347	-
Leduc Formation, Alberta, Canada, sample D-31	61.0	3.90	22.80	2.00	145.0	0.22	140	660	436
Swan Hills Formation, Alberta, Canada, sample RCAH37-576B	69.6	4.60	24.37	2.25	147.4	0.21	118	845	462
Wolfcamp Shale-tight oil, USA	45.1	0.90	2.77	0.38	75.4	0.65	28	421	639
Bakken-tight oil, USA	91.7	5.31	17.00	1.34	177.8	0.76	57	1450	874
Marcellus Formation, USA	43.7	0.87	18.95	1.67	116.1	0.05	127	3693	1126

Дискусія і висновки

1. Аналіз фактичного стану речей показує, що проблема власного видобутку літію в Україні набагато складніша, ніж це звучить в бравурних речах деяких дослідників і можновладців, і потребує уваги, ретельного вивчення і проведення детальних досліджень. По суті, вона віддзеркалює загальний стан геології в Україні, якій останні 15 років не приділялося достойна увага.

2. З корінних родовищ літію України, пов'язаних з гранітними пегматитами, найбільшу інвестиційну привабливість має Полохівське родовище петалітових руд у Кіровоградській області за умови розробки технології їх збагачення. Спеціальний дозвіл на розробку цього родовища має ТОВ "Укрлітвидобування".

3. У подальшому для об'єктивної оцінки інвестиційної привабливості родовищ рідкісних металів України рекомендується проведення детального аналізу первинних матеріалів з переінтерпретацією їх результатів.

4. Потребує ретельних досліджень також можливість вилучення літію із супутніх пластових вод нафтогазових родовищ. На жаль, системних досліджень цієї проблеми в Україні не проводилося, є тільки поодинокі випадки визначення вмісту літію у водах окремих родовищ нафти та газу, які свідчать про наявність літію у СПВ, але в недостатніх для промислової розробки кількостях. Тому рекомендується проведення масових опробувань СПВ з аналізом на вміст літію та інших рідкісних металів, зокрема рубідію і цезію.

5. Реальній оцінці родовищ корисних копалин значно заважає рудиментарна, ще з радянських часів, закритість інформації, яка аж ніяк не сприяє залученню інвестицій в гірничодобувний сектор України.

Внесок авторів: Володимир Михайлов – концептуалізація, аналіз, написання (оригінальна чернетка); Максим Рева – аналіз, валідація даних, написання (перегляд і редагування).

Список використаних джерел

- Атлас родовищ нафти і газу України. (1998). В шести томах. УНГА.
- Бакаржів, А. Х., Макивчук, О. Ф., Іванов, Б. Н., Еременко, Г. К., & Палкин, В. П. (2000). Мелкозернистые петалитовые руды – новый вид литийсодержащего минерального сырья Украины. *Минеральные ресурсы Украины*, 1, 16–19.
- Бандуріна, О. В., Єрмакова, І. А., & Захарченко, Л. С. (2014). Перспектива видобутку йоду з пластових вод нафтогазових родовищ Полтавського нафтопромислового району. *Збірник наукових праць (Галузеве машинобудування, будівництво). ПолтНТУ*, 3(42), 106–111.
- Білоус, О. І., Слободян, Б. І., & Парфенюк, В. О. (2024). Літієві пегматити України: проблеми і переваги освоєння родовищ. *Мінеральні ресурси України*, 2, 3–9. <https://doi.org/10.31996/mru.2024.2.3-9>
- Возняк, Д. К., Бугаєнко, В. М., Галабурда, Ю. А., Мельников, В. С., Павлішин, В. І., Бондаренко, С. М., & Сьомка, В. О. (2000). Особливості мінерального складу та умов утворення рідкіснометалевих пегматитів західної частини Кіровоградського блоку (Український щит). *Мінералогічний журнал*, 22(1), 21–41.
- Галецький, Л. С., Заріцький, А. І., & Князев, Г. І. (1987). Субграфічские сподуменовые и петалит-сподуменовые пегматиты одного из докембрийских полей. *Геологический журнал*, 47(1), 136–141.
- Еременко, Г. К., Іванов, Б. Н., Бельх, Н. А. и др. (1996). Минералогические особенности и условия образования литиевых пегматитов Кировоградского блока (Украинский щит). *Мінералогічний журнал*, 18(1), 48–57.
- Іванов, Б. Н., Лисенко, В. В., Макивчук, О. Ф. та ін. (2000). Екзоконтактові метасоматити літєвих гранітних пегматитів Шполянсько-Ташлицького рідкіснометалевих родовищ. *Мінеральні ресурси України*, 4, 11–13.
- Інвестиційний атлас надрокористувача. Стратегічні та критичні мінерали. (2021). Державна служба геології та надр України.
- Ісаков, Л. В., & Бобров, О. Б. (2000). Літєносні пегматити Шевченківського пегматитового поля (Західне Приззов'я). *Мінеральні ресурси України*, 1, 23–30.
- Кучманіч, Н. Г., Бриндзя, І. В., & Щемельов, Г. В. (2018). Пластові води Бориславського нафтопромислового району як джерело йоду та бромів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Геологія, географія, екологія*, 48. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-05>
- Михайлов, В. А. (2023). *Стратегічні корисні копалини України та їхня інвестиційна привабливість*. ВПЦ "Київський університет". http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/Stratezhichni_Korysni_Kopalyny.pdf

Мінеральні ресурси України. Щорічник. (2020). ДВНП "Геоінформ України". http://geoinf.kiev.ua/M_R_2020.pdf

Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року. Закон України № 4154-IX від 18.12.2024. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text>

Рева, М. (2016). Супутньо-пластові води в Східному нафтогазовому регіоні України як джерело небезпеки або цінний ресурс. *Вісник КНУ. Геологія*, 72, 81–85. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.72.12>

Рева, М. В. (2019). *Геолого-економічна оцінка супутньо-пластових вод нафтових і газових родовищ Східного нафтогазового регіону України як цінної гідромінеральної сировини* [Дис. канд. геол. наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка].

Сукач, В. В., Ісаков, Л. В., Безвинний, В. П., & Шпильчак, В. О. (2021). Пошуки родовищ рідкісних металів у Східноукраїнській пегматитовій області – важливий складник геологорозвідувальних робіт в Україні. *Мінеральні ресурси України*, 4, 6–15.

Супутньо-пластові води у нафтогазовій галузі: проблема чи рішення? – Офіс Сталіх Рішень. (n.d.). Retrieved April 11, 2025, from <https://ukraine-oss.com/suputno-plastovi-vody-u-naftogazovij-galuzi-problema-chy-rishennya>

Чомко, Д., Рева, М., & Диняк, О. (2016). Супутньо-пластова вода нафтових родовищ як гідромінеральна сировина. *Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(75), 77–81.

Karuppasamy, K., Mayyas, A., Alhseinat, E., Hassan-Beck, H., & Alfantazi, A. (2024). Exploring lithium extraction technologies in oil and gas field-produced waters: From waste to valuable resource. *Chemical Engineering Journal Advances*, 20, 100680. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.100680>

Knapik, E., Rotko, G., & Marszałek, M. (2023). Recovery of Lithium from Oilfield Brines – Current Achievements and Future Perspectives: A Mini Review. *Energies*, 16, 2–28.

Liu, Q., Yang, P., Tu, W., Sun, H., Li, S., & Zhang, Y. (2023). Lithium recovery from oil and gas produced water: Opportunities, challenges, and future outlook. *Journal of Water Process Engineering*, 55, 104148. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104148>

Marcinov, V., Klimko, J., Takasova, Z. et al. (2023). Lithium Production and Recovery Methods: Overview of Lithium Losses. *Metals*, 13(7), 1213. <https://doi.org/10.3390/met13071213>

Mineral Commodity Summaries. (2023). USGS. https://www.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/usgs-2023-mineral-commodity-summaries-white-paper.pdf

Murodjon, S., Yu, X., Li, M., Duo Ji, & Deng, T. (2020). Lithium Recovery from Brines Including Seawater, Salt Lake Brine, Underground Water and Geothermal Water. *Thermodynamics and Energy Engineering*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90371>

Mykhailov, V. A., Hrinchenko, O. V., & Malyuk, B. I. (2022). Exploration and mining perspectives of the critical elements for green technologies in Ukraine. *Geological Society, London, Special Publications*. <https://doi.org/10.1144/SP526-2021-133>

News-Volt Lithium Corp. (2023, April 18). <https://voltlithium.com/news>

Reva, M. V., & Chomko, D. F. (2018). Hydrogeochemical database of reservoir waters of oil fields in the Eastern region of Ukraine as the first way to the effective using produced water. *17th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801765>

World Mining Data. (2021). Volume 36. C. Reichl & M. Schatz (Eds.). Mineral Production. Vienna. <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2021.pdf>

World Mining Data. (2024). Volume 36. C. Reichl & M. Schatz (Eds.). Mineral Production. Vienna. <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD%202024.pdf>

References

- Atlas of Oil and Gas Fields of Ukraine. (1998). In six volumes. UNGA [in Ukrainian].
- Bakarzhiev, A. Kh., Makivchuk, O. F., Ivanov, B. N., Eremenko, G. K., & Palkin, V. P. (2000). Fine-grained petalite ores – a new type of lithium-containing mineral raw materials of Ukraine. *Min. resources of Ukraine*, 1, 16–19 [in Russian].
- Bandurina, O. V., Ermakova, I. A., & Zakharchenko, L. S. (2014). Prospect for the production of iodine from the formation waters of the naftogaz deposits of the Poltashkoye naftogaz region. *Collection of scientific works (Galuzev machine-building, everyday life). PoltNTU*, 3(42), 106–111 [in Ukrainian].
- Bilous, O. I., Slobodyan, B. I., & Parfenyuk, V. O. (2024). Ukraine's lithium pegmatites: issues and advantages of field development. *Mineral Resources of Ukraine*, 2, 3–9 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31996/mru.2024.2.3-9>
- Chomko, D., Reva, M., & Reva, M. (2016). Stratal produced water in oil fields as hydromineral raw material. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(75), 77–81 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.75.12>
- Eremenko, G. K., Ivanov, B. N., Belykh, N. A., et al. (1996). Mineralogical features and conditions of formation of lithium pegmatites of the Kirovograd block (Ukrainian shield). *Mineralog. zhurn.*, 18(1), 48–57 [in Russian].
- Galetsky, L. S., Zaritsky, A. I., & Knyazev, G. I. (1987). Subgraphic spodumene and petalite-spodumene pegmatites of one of the Precambrian fields. *Geol. Journal*, 47(1), 136–141 [in Russian].

- Isakov, L. V., & Bobrov, O. B. (2000). Lithium-bearing pegmatites of the Shevchenko pegmatite field (Western Azov region). *Mineral Resources of Ukraine*, 1, 23–30 [in Ukrainian].
- Ivanov, B. N., Lisenko, V. V., Makivchuk, O. F. ta in. (2000). Exocontact metasomatics of lithium granite pegmatites of the Shpoliano-Tashlitsky rare metal ore district. *Min. resources of Ukraine*, 4, 11–13 [in Ukrainian].
- Karuppasamy, K., Mayyas, A., Alhseinat, E., Hassan-Beck, H., & Alfantazi, A. (2024). Exploring lithium extraction technologies in oil and gas field-produced waters: From waste to valuable resource. *Chemical Engineering Journal Advances*, 20, 100680. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.100680>
- Knapik, E., Rotko, G., & Marszałek, M. (2023). Recovery of Lithium from Oilfield Brines – Current Achievements and Future Perspectives: A Mini Review. *Energies*, 16, 2–28.
- Kuchmanysh, N. G., Bryndza, I. V., & Shchemelev, G. V. (2018). Reservoir water of Boryslav oilfield as a source of iodine and bromine. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Geology, Geography, Ecology*, 48 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-05>
- Liu, Q., Yang, P., Tu, W., Sun, H., Li, S., & Zhang, Y. (2023). Lithium recovery from oil and gas produced water: Opportunities, challenges, and future outlook. *Journal of Water Process Engineering*, 55, 104148. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104148>
- Marcinov, V., Klimko, J., Takasova, Z. et al. (2023). Lithium Production and Recovery Methods: Overview of Lithium Losses. *Metals*, 13(7), 1213. <https://doi.org/10.3390/met13071213>
- Mineral Commodity Summaries. (2023). USGS. https://www.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/usgs-2023-mineral-commodity-summaries-white-paper.pdf
- Mineral Resources of Ukraine. Yearbook. (2020). DVNP "Geoinform of Ukraine" [in Ukrainian]. http://geoinf.kiev.ua/M_R_2020.pdf
- Murodjon, S., Yu, X., Li, M., Duo Ji, & Deng, T. (2020). Lithium Recovery from Brines Including Seawater, Salt Lake Brine, Underground Water and Geothermal Water. *Thermodynamics and Energy Engineering*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90371>
- Mykhailov, V. A., Hrinchenko, O. V., & Malyuk, B. I. (2022). Exploration and mining perspectives of the critical elements for green technologies in Ukraine. *Geological Society, London, Special Publications*. <https://doi.org/10.1144/SP526-2021-133>
- Mykhaylov, V. A. (2023). *Strategic Mineral Resources of Ukraine and Their Investment Attractiveness*. Kyiv University Press [in Ukrainian]. http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/Stratehichni_Korysni_Kopalyny.pdf
- News–Volt Lithium Corp. (2023, April 18). <https://voltlithium.com/news>
- On approval of the National Program for the Development of the Mineral and Raw Materials Base of Ukraine for the Period Until 2030. Law of Ukraine No. 4154-IX of 18.12.2024 [in Ukrainian]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text>
- Produced Waters in the Oil and Gas Industry: Problem or Solution? – Office of Sustainable Solutions. (n.d.) [in Ukrainian]. Retrieved April 11, 2025, from <https://ukraine-oss.com/suputno-plastovi-vody-u-naftogazovij-galuzi-problema-chy-rishennya>
- Reva, M. V. (2019). *The geological and economic assessment of produced waters of oil and gas fields of Eastern oil and gas field region of Ukraine as a valuable hydro-mineral raw material* [Dissertation of the candidate of geological sciences, Taras Shevchenko National University of Kyiv] [in Ukrainian].
- Reva, M. V., & Chomko, D. F. (2018). Hydrogeochemical database of reservoir waters of oil fields in the Eastern region of Ukraine as the first way to the effective using produced water. *17th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801765>
- Reva, M. (2016). Produced water – source of pollution or valuable resource in the Eastern oil region, Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 72, 81–85 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.72.12>
- Subsoil User Investment Atlas. Strategic and Critical Minerals. (2021). State Service of Geology and Subsoil of Ukraine [in Ukrainian]. <https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/ukr/investicijnij-atlas-nadrokoristuvacha-strategichni-ta-kritichni-minerali.pdf>
- Sukach, V., Isakov, L., Bezvyynnyi, V., & Shpylchak, V. (2021). Prospecting of rare metals in the East-Ukrainian pegmatite province – important part of geological exploration in Ukraine. *Mineral Resources of Ukraine*, 4, 6–15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31996/MRU.2021.4.6-15>
- Vozniak, D. K., Bugayenko, V. M., Halaburda, Yu. A., Melnykov, V. S., Pavlyshyn, V. I., Bondarenko, S. M., & Syomka, V. O. (2000). Features of the mineral composition and conditions of formation of rare pegmatites in western part of the Kirovograd block (the Ukrainian shield). *Mineral. J.*, 22, 21–41 [in Ukrainian].
- World Mining Data. (2021). Volume 36. C. Reichl & M. Schatz. Mineral Production. Vienna. <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2021.pdf>
- World Mining Data. (2024). Volume 36. C. Reichl & M. Schatz. Mineral Production. Vienna. <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD%202024.pdf>

Отримано редакцією журналу / Received: 05.03.25
Прорецензовано / Revised: 01.04.25
Схвалено до друку / Accepted: 30.06.25

Volodymyr MYKHAYLOV, DSc (Geol.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-1837-9739
e-mail: vladvam@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Maksym REVA, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-1141-093X
e-mail: Reva_max@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

PROSPECTS OF LITHIUM EXTRACTION IN UKRAINE

Background. The paper examines the prospects for the development of lithium deposits, which are determined by the demand of modern industry for lithium and lithium raw materials. The supply of lithium is particularly acute for developed countries, for example, the EU is 100 % and the USA is 50 % supplied by imports of lithium raw materials. For Ukraine, lithium supply is an extremely urgent issue, caused by problems in the energy sector and the development of alternative electricity storage and transmission systems.

Methods. The work used methods of collecting and analyzing funds, methods of comparison and analogies.

Results. The authors provide statistics on lithium production in the world relative to estimated reserves. Statistical data show that the main sources of lithium raw materials in the world are confined to the brine of salt lakes in Chile and Bolivia, and smaller in volume are sources associated with pegmatites. Lithium deposits in Ukraine were discovered in the 80s–90s, they are associated with pegmatites: Shevchenkivske (Donetsk region), Kruta Balka (Zaporizhzhya region), Polokhivske and Stankuvatske (Kirovohrad region). The ore at the Shevchenkivske deposit and the ore at the Kruta Balka area are mainly represented by spodumene, which makes ore processing quite simple. These deposits are located in uncontrolled territory, which makes their development impossible. The ores of the Polokhivske deposit are composed mainly of petalite, and those of the Stankuvatske deposit are composed mainly of petalite and spodumene, which complicates the technology of ore processing. The authors noted that the Stankuvatske deposit has greater investment attractiveness due to the estimated forecast resources of rubidium, cesium, tantalum, niobium, beryllium and tin. The article describes another promising lithium resource in Ukraine, this is produced water oil and gas fields (OGPW). Recently, this resource has been gaining popularity among researchers, as it has increased concentrations of lithium, rubidium, cesium, iodine, bromine and boron. Compared to brine from salt lakes, the concentrations of lithium in the OGPW are lower, but the advantage is that they do not require capital investments in their extraction. According to the currently available extraction technologies, it is believed that the optimal concentration of lithium in water should be 100 mg/L, the development of some deposits shows economic feasibility at concentrations of 20–30 mg/L. In the produced water of some oil and gas fields of Ukraine, lithium contents of up to 10–23 mg/L have been recorded, but it is impossible to give an objective assessment of this type of resource due to the lack of systematic research. This necessitates the need for a detailed study of the produced water of the oil and gas regions of Ukraine.

Conclusions. In Ukraine, there are many problems with lithium production, since the deposits are poorly studied, there are also problems with their geological and economic assessment. However, among the indigenous lithium deposits in Ukraine, the Polokhiv deposit of petalite ores has the greatest investment attractiveness. Also, a promising resource for lithium raw materials is the OGPW.

Keywords: deposit, lithium, produced waters, geological and economic assessment.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.