

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.01.003>  
УДК 549.553.493(477)

**В.І. Павлишин**, д-р геол.-мін. наук, проф., акад. ВШ України, зав. відділу  
E-mail: V.I.Pavlyshyn@gmail.com; ResearcherID: D-6558-2019

**Н.М. Чернієнко**, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.  
E-mail: nata.cherniyenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1831-234X>  
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, м. Київ, Україна, просп. Акад. Палладіна, 34

## ЛІТІЙ У НАДРАХ УКРАЇНИ

### Частина 5. Мінералогія літієносних об'єктів: мінерали літію

П'яту частину публікації "Літій у надрах України" присвячено мінералогії літію — його силікатам і фосфатам, але без літієвих слюд, які разом з іншими слюдами описано в частині 4. Тут із різною детальністю охарактеризовані такі мінерали літію (у дужках після формули наведено вміст  $\text{Li}_2\text{O}$  (мас. %) у мінералі): евкриптит —  $\text{LiAl}[\text{SiO}_4]$  (11,80); ельбаїт —  $\text{Na}(\text{Al}, \text{Li})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{F}, \text{OH})_4[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  (1,1—1,4); сподумен —  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  (5,9—7,6); холмквістит —  $\text{Li}_3\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{OH})_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}]$  (2,1—3,5); петаліт —  $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$  (2,0—4,1); маргарит  $\text{CaAl}_2(\text{OH})_2[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}]$ -(Li, Be) (1,82); донбасит —  $\text{Al}_2[(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}](\text{OH})_2\text{Al}_{2,33}(\text{OH})_6$  (0,1—3,0); кукеїт —  $(\text{Al}, \text{Li})_3\text{Al}_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$  (0,8—4,3); трифіліт —  $\text{Li}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})[\text{PO}_4]$  (5,51—8,62); літіофіліт —  $\text{Li}(\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+})[\text{PO}_4]$  (5,50—8,60); амблігоніт —  $\text{LiAl}(\text{F})[\text{PO}_4]$  (6,4—9,0); монтебразит —  $\text{LiAl}(\text{OH})[\text{PO}_4]$  (10,7—11,1); симферит —  $\text{Li}(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{3+})_{2,0}[\text{PO}_4]$  (5,35—5,45). Опис цих мінералів доповнено зведеною таблицею мінерального складу рідкіснометалевих пегматитів, виділених за кількісним співвідношенням головних рудних мінералів — сподумену та петаліту. Останні не є першими фазами кристалізації пегматитового розплаву, тому їхній розподіл у просторі наблизений до такої закономірності: найбільший вміст рудних мінералів зосереджений між периферійними зонами і ядрами пегматитів. Сподумен і петаліт українських пегматитів від аналогічних мінералів великих світових родовищ літію відрізняються за такими ознаками: 1) менший розмір мінеральних індивідів; 2) більша ксеноморфність мінеральних індивідів; 3) слабший прояв ізоморфних заміщень атомів.

**Ключові слова:** літій, сподумен, петаліт, евкриптит, ельбаїт, холмквістит, маргарит, донбасит, кукеїт, трифіліт, амблігоніт, симферит, генезис рудних мінералів.

**Вступ.** Мінерали літію в рідкіснометалевих пегматитах представлені двома класами — силікатами та фосфатами. Літієві силікати структурно диференціюються на такі підкласи: острівні (евкриптит, ельбаїт), ланцюжкові та стрічкові (сподумен, холмквістит), каркасні (петаліт) та шаруваті слюди (описані в частині 4 нашого циклу статей) і хлорити (кукеїт, донбасит). Вони домінують у пег-

матитах (до 98 % від загальної маси літієвих мінералів). Літієві фосфати — острівні малопоширені мінерали. У зв'язку з цим основна увага нижче зосереджена на характеристичі силікатів Li, а серед них — сподумену та петаліту, які є основними рудними мінералами пегматитів.

Мінерали Li наділені деякими спільними рисами: характеризуються низькою або се-

Цитування: Павлишин В.І., Чернієнко Н.М. Літій у надрах України. Частина 5. Мінералогія літієносних об'єктів: мінерали літію. *Мінерал. журн.* 2024. 46, № 1. С. 03—19. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.01.003>

© Видавець ВД "Академперіодика" НАН України, 2024. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

редньою густиною (2,3—3,5 г/см<sup>3</sup>), низьким вмістом в них Li<sub>2</sub>O, зазвичай 3—12 % (за масою). Це можна пояснити не лише малою атомною вагою елемента, але й тим, що переважна більшість його мінералів багатоконпонентні, тобто мають непросту хімічну конституцію. Ймовірно, Li, наділений невеликими енергетичними показниками, навіть за високої концентрації потребує допомоги сильніших катіонів (Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>...) під час утворення власних мінералів (Vlasov (ed.), 1964). Поряд із утворенням власних мінералів, Li широко розсіюється в інших мінералах (Pavlyshyn, Cherniyenko, 2023).

Основна маса літєвих мінералів зосереджена в гранітних пегматитах, хоча у світі трапляються сподуменові граніти. Головними мінералами, які формують промислові родовища, є сподумен, петаліт, лепідоліт, амблігоніт, монтебразит, цинвальдит (кріофіліт, за сучасною термінологією).

**Мета статті** — проаналізувати, систематизувати літературний матеріал, доповнити новими даними, напрацювати стислу топомінералогію літєвих мінералів і створити (це робиться вперше) якісний компактний вступ до майбутньої вкрай актуальної для України наукової монографії "Літєві мінерали України".

У п'ятій частині описано мінерали літію (без літєвих слюд), яким передує зведена табли-

ця мінерального складу сподуменових (родовище Крута Балка), сподумен-петалітових (Шевченківське родовище) і петаліт-сподуменових пегматитів Інгульського мегаблоку. Поділ табл. 1 на три колонки адекватно віддзеркалює відмінності мінерального складу трьох генетично дещо різних груп пегматитів. До табл. 1 ми будемо ще неодноразово повертатись, а зараз, відповідно до нашого завдання, розпочнемо опис літєвих мінералів.

Перед описом мінералів варто зазначити, що, окрім використаних у статті публікацій, є цікава неопублікована інформація у рукописних звітах:

1) "Отчет по хоздоговору №-182-к от 01.04.1994 "Минералого-петрографические и геохимические исследования геологических объектов Братско-Звенигородской зоны", 1995 г. (авторы — В.А. Семка, В.Н. Бугаенко, С.Н. Бондаренко, Б.Г. Яковлев)";

2) "Сводный отчет за 1995 г. по Договору № 8-94: "Сравнительная минералогия и происхождение Полоховского и Станковатского месторождений", 1996 г. (авторы — Д.К. Возняк, Ю.А. Галабурда, А.А. Кульчечкая, Г.В. Кузнецов, Г.В. Легкова, В.С. Мельников, В.И. Павлишин; научн. рук. темы — проф. В.И. Павлишин)";

3) Звіт по темі 002 за 1999 р.: "Провести укрупнені технологічні дослідження збагачувальності петалітових руд Полохівського

Таблиця 1. Мінеральний склад трьох типів рідкіснометалевих пегматитів Українського щита  
Table 1. Mineral composition of three types of rare metal pegmatites of the Ukrainian Shield

Types / Classes	Spodumene pegmatites	Spodumene-petalite pegmatites	Petalite-spodumene pegmatites
Simple substances		<b>Bismuth</b>	<b>Bismuth, graphite, α-iron, gold, copper, silver</b>
Sulfides and their analogues	<b>Arsenopyrite, galena, molybdenite, pyrite, sphalerite, chalcopyrite</b>	<b>Galena, marcasite, molybdenite, pyrite, sulphosalts, sphalerite, chalcopyrite</b>	<b>Arsenopyrite, galena, lollingite, marcasite, molybdenite, pyrite, pyrrhotite, stanine, sphalerite, chalcosine, chalcopyrite</b>
Oxides and hydroxides	<b>Anatase, wolframite (a mineral of intermediate composition in the series Gubnerite-Ferberite), hematite, echinite-(Ce), ilmenite, cassiterite, quartz, columbite-(Fe), leucoxene (a variety of Ilmenite), magnetite, microliths, rutile, tantalite-(Fe), tapiolite-(Fe), chrysoberyl, chromite, spinel</b>	<b>Ganite, ilmenite, ilmenorutyl (a variety of Rutile), cassiterite, quartz, columbite-(Fe), leucoxene (a variety of Ilmenite), magnetite, nigerite (synonymous species: Ferro-nigerite-2N1S), pyrochlores, tantalite-(Fe), chrysoberyl, spinel</b>	<b>Ganite, ilmenite, cassiterite, columbite-(Fe), quartz, leucoxene (a variety of Ilmenite), magnetite, microliths, nigerite (species synonym: Ferro-nigerite-2N1S), rutile, struverite (a variety of Rutile), tapiolite-(Fe), uraninite, chrysoberyl, cymophane (colored variety of Chrysoberyl), chromite, spinel</b>

Продовження табл. 1  
The end of Table 1

Types / Classes	Spodumene pegmatites	Spodumene-petalite pegmatites	Petalite-spodumene pegmatites
Silicates	<b>Actinolite, albite</b> , oligoclase (variety of <b>Albite</b> ), <b>beryl</b> , Li-biotite, (Cs, Li)-biotite, <b>garnets</b> , <b>eudialite, epidote, kyanite (dysthene), clinzoisite, cookeite</b> , lepidolite (discredited, a mineral of intermediate composition in the series <b>Trilithionite-Polyolithionite</b> ), Rb-lepidolite, <b>microcline, muscovite</b> , pink muscovite, (Li, Be)-margarite, <b>orthite</b> (a synonym of <b>Alanite-(Ce)</b> ), <b>petalite</b> , common hornblende (a mineral from the subgroup of calcium amphiboles, a synonym of the term Hornblende), emerald, <b>spodumene, staurolite, sphene (titanite), thorite, tremolite, tourmalines</b> , Li-phlogopite, (Li, Cs)-phlogopite, fuchsite, <b>holmquistite, zircon</b> , cyrtolite (variety of <b>Zircon</b> ), zoisite	<b>Albite, beryl</b> , biotite (a mineral of intermediate composition between <b>Phlogopite, Anite, Siderophyllite, Histonite</b> ), <b>bron-zite</b> (a synonym of <b>Enstatite/Clintonite</b> ), gel-bertrandite, <b>Garnets, diopside, eucryptite, cordierite, lepidolite</b> (discredited, a mineral of intermediate composition in the series <b>Trilithionite-Polyolithionite</b> ), <b>microcline, muscovite</b> , oligoclase (variety of <b>Albite</b> ), <b>orthite (alinite), petalite, sillimanite, spodumene, sphene (titanite), tourmalines, holmquistite</b>	<b>Augite, actinolite, albite, antigorite</b> , biotite (a mineral of intermediate composition between <b>Phlogopite, Anite, Siderophyllite, Histonite</b> ), glauconite (a reversal of celadonite), <b>garnets, dumortierite, eudialite, epidote, indialite, kaolinite, cordierite, microcline, montmorillonite, muscovite</b> , olivine (the name of a series of minerals in the Forsterite-Fayalite series), oligoclase (a variety of <b>Albite</b> ), <b>orthite (allanite), orthoclase, petalite</b> , common hornblende (a mineral from the subgroup of calcium amphiboles, a synonym of the term Hornblende), <b>sekani-naite, sillimanite, spodumene, staurolite, sphene (titanite), tourmalines, holmquistite, zircon</b>
Carbonates	<b>Calcite</b>	<b>Calcite, siderite</b>	Bastnesite (name of a series of minerals), <b>dolomite, calcite, siderite</b>
Phosphates	Apatite (name of a series of minerals), <b>amblygonite, lithiophyllite, montebrasite, monazite, sympherite, triphyllite</b>	Apatite (name of a series of minerals), <b>xenotime, monazite</b>	<b>Amblygonite</b> , apatite (name of a series of minerals), wagnerite*, <b>xenotime, lithiophyllite, montebrasite, triphyllite</b>
Tungsten	<b>Scheelite</b>		
Chromitite			<b>Crocoite</b>
Haloides		<b>Fluorite</b>	<b>Fluorite</b>

Примітка. Мінерали за їх кількістю в пегматитах поділені в табл. 1 так: 1) головні породоутворювальні ( $\geq 10\%$ ) — кварц, альбіт, олігоклаз, мікроклін, сподумен (перша колонка); кварц, альбіт, мікроклін, сподумен, петаліт (друга колонка); кварц, альбіт, мікроклін, олігоклаз, ортоклаз, петаліт, сподумен (третя колонка); 2) другорядні породоутворювальні (перші відсотки) — берил, гранати, мусковіт, турмаліни (перша колонка); мусковіт, петаліт (друга колонка); гранати, кордієрит, мусковіт, силіманіт (третя колонка); 3) акцесорні ( $\leq 1\%$ ) — решта мінералів. **Напівгрубий шрифт** — назви видів; **напівгрубий курсив** — мінерали, представлені декількома видами; звичайний шрифт — хімічні різновиди видів, групові назви мінералів, назви серій мінералів у ізоморфних рядах. \* Знахідка потребує підтвердження виду. Табл. 1 складено за даними (Isakov, 2007; Rozanov, Lavrinenko, 1979) і нашими даними.

Note. Minerals, according to their quantity in pegmatites, are divided in the table into: 1) the main rock-forming ones ( $\geq 10\%$ ) — quartz, albite, oligoclase, microcline, spodumene (first column); quartz, albite, microcline, spodumene, petalite (second column); quartz, albite, microcline, oligoclase, orthoclase, petalite, spodumene (third column); 2) secondary rock-forming (first percentages) — beryl, garnets, muscovite, tourmalines (first column); muscovite, petalite (second column); garnets, cordierite, muscovite, sillimanite (third column); 3) accessory ( $\leq 1\%$ ) — remaining minerals. **Bold font** — names of species; **bold italics** — minerals represented by several species; ordinary font — chemical varieties of species, group names of minerals, names of series of minerals in isomorphic series; \* The find requires species confirmation. The Table 1 is compiled according to the data of (Isakov, 2007; Rozanov, Lavrinenko, 1979) and our data.

родовища та випробувати продукти збагачення у відповідних галузях промисловості (II етап. Провести укрупнені технологічні випробування збагачуваності Полохівських руд)", 1999 р. (автори — В.П. Павкін, Г.К. Єременко).

**Евкриптит.** Дуже рідкісний мінерал рідкіснометалевих пегматитів. Діагностований лише в мізерній кількості у Шевченківському родовищі. Мікроскопічна діагностика (Isakov, 2007) згодом підтверджена нами рентгенометрично. Знайдені тут дрібні зерна евкриптиту, ймовірно, є продуктом зміни сподумену. Рідкісність евкриптиту у пегматитах узгоджується з експериментальними даними (London, 1984): асоціація евкриптит + кварц стійка за температури не вище 350 °С і тиску нижче  $(1,2-1,4) \cdot 10^8$  Па.

**Ельбаїт.** Цей турмалін діагностовано та найкраще досліджено з родовища Крута Балка (Rožanov, Lavrinenko, 1979). Діагностовані нами, але не досліджені унікальні ниткоподібні поліхромні турмаліни з пегматитів Корсунь-Новомиргородського плутону. Цією знахідкою зафіксована межа пегматитів, які належать до різних формаційних типів — камерних (знесені ерозією, типоморфний мінерал — шерл) і рідкіснометалевих (відслонені, типоморфний мінерал — поліхромний турмалін). Вважається, що ельбаїт є серед мінералів Криворізького басейну (Lazarenko et al., 1977), але хімічно не підтверджений.

Турмаліни — поширені мінерали рідкіснометалевих пегматитів Сорокинської тектонічної зони, зокрема родовища Крута Балка. Серед них (Rožanov, Lavrinenko, 1979) виділили п'ять генерацій. Турмалін-I — Турмалін-IV — це різні за складом і забарвленням магнієво-залізисті кристали, приурочені до приконтарних зон. Турмалін-V зустрінуто у внутрішніх зонах альбіт-сподуменових пегматитів у тісній асоціації з лепідолітом, мусковітом, альбітом, який за складом відповідає літєвому турмаліну — ельбаїту. Вхідження в його ґратку хрому супроводжується набуттям зеленого забарвлення, властивого верделіту. Всі літєві турмаліни виділяються високим вмістом  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Rožanov, Lavrinenko, 1979). За формою це довгопризматичні індивіди, огранені призмами  $\{10\bar{1}0\}$  і  $\{11\bar{2}0\}$  та пірамідами  $\{10\bar{1}1\}$  і  $\{02\bar{2}1\}$ .

У Шевченківському рідкіснометалевому родовищі у невеликій кількості трапляються чорні та зелені турмаліни. За даними ІЧ-спектроскопії й рентгенівського аналізу, зелені зерна діагностовано як проміжні члени ізоморфного ряду фойтит-ельбаїт, чорні кристали відповідають шерлу (Grechanovskaya et al., 2020).

Особливості формування рідкіснометалевих пегматитів серед порід основного та ультраосновного складу сприяли утворенню турмалінів двох ізоморфних рядів: дравіт — шерл і шерл — ельбаїт, які фактично складають єдиний ряд: дравіт — шерл — ельбаїт. За даними (Lytovchenko, 1976; Lazarenko et al., 1981), кристалізація ельбаїту відбувалась в інтервалі 320—358 °С з водних розчинів порівняно невисокої концентрації: 5—6,5 % за NaCl еквівалентом.

**Сподумен.** Цей мінерал із пегматитів Криворіжжя тривалий час описували як діопсид. У 1950-х роках молодий вчений Вадим Кушев достеменно з'ясував, що насправді це сподумен (Kushev, 1960). Так народились на Українському щиті (УЩ) перші рідкіснометалеві пегматити, які В. Кушев генетично охарактеризував помилково.

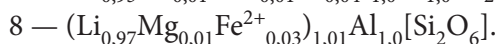
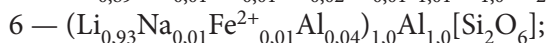
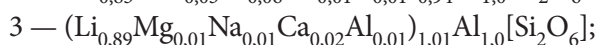
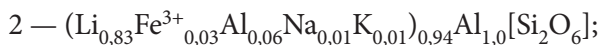
Сподумен пов'язаний переважно з рідкіснометалевими пегматитами УЩ, знайденими в Приазов'ї (родовища Крута Балка, Шевченківське), Інгульському мегаблоці (родовища Полохівське, Станкуватське, Надія, Липнязький рудопроїв) і в Криворізькому басейні (Voynovskiy et al., 2000; Galetskiy et al., 1987; Eremenko et al., 1996; Kichurchak, 1988; Kushev, 1960; Kushev, 1961; Lytovchenko, 1966; Rožanov, Lavrinenko, 1979; Syomka et al., 2022; Shavlo, Kirikylitsa, Knyazev, 1984). Зафіксований сподумен у камерних пегматитах Волині, але у мізерній кількості (Pavlyshyn, Vovk, 1971). Відомі також знахідки акцесорного сподумену в інших місцинах, які треба перевіряти (Bespalko et al., 1976; Lytovchenko, 1976; Matkovsky, Pavlyshyn, Slyvko, 2009).

Сподумен у родовищі Крута Балка нерідко є зоноутворювальним мінералом. Його частка серед всіх літєвих мінералів, окрім тих, що є в петалітових пегматитах, становить 92—95 % (Rožanov, Lavrinenko, 1979). Інші силікатні літєві мінерали — холмквіцит і група біотиту — зосереджені в екзо-

контактової зоні змінених навколопегматитових порід.

Сподумен — основний концентратор Li. Разом із кварцом і альбітом формує кварц-альбіт-сподуменові зони, де його частка становить 15—65 % об'єму, а також у вигляді дрібних кристалів розсіяний у різних зонах пегматитів. У основних зонах утворює великі кристали, які, розташувшись паралельно, видовженням орієнтовані нормально до контакту зони. Сподумен також утворює тичкуваті агрегати, пластинчасті кристали ясно-сірого, жовтувато-зеленого, інколи рожевого кольору. Діагностичне значення має шовковистий до перламутрового блиск. Мікроскопічне дослідження показало, що сподумен представлений призматичними, сплюсненими вздовж вертикальної вісі кристалами з чіткою штриховкою вздовж їхньої довжини. За даними (Rozanov, Lavrinenko, 1979), сподумен наділений такими властивостями: густина 3,05—3,18; твердість 6,0—6,5;  $n_g = 1,674$ ;  $n_p = 1,650$ ; кут згасання  $cNg = 24^\circ$ ; вміст рідкісних лугів, %: Li = 3,12—3,45; Rb = 0,002—0,005; Cs = 0,0009—0,0015.

Хімічне дослідження сподуменів свідчить про відносну сталість їхнього складу, підтверджену кристалохімічними формулами (Rozanov, Lavrinenko, 1979):



Детальне вивчення хімічного складу сподумену свідчить, що концентрація  $\text{Li}_2\text{O}$  в мінералі змінюється від 6,21 до 7,77 %, що обумовлено, очевидно, ізоморфним заміщенням літію іншими елементами (Isakov, 2009). Певний вплив на хімічний склад мінералу має його фізико-хімічна зміна, оскільки сподумен — нестійкий мінерал, заміщується полімінеральними агрегатами, псевдоморфізується. Зафіксований цікавий випадок заміщення сподумену галуазитом (Yurk, Marchenko, Chashka, 1970).

Розмаїтіша мінералогія сподумену у Шевченківському родовищі. За даними (Kichurchak, 1988), які вдосконалив Л.В. Ісаков (Isakov, 2007, 2009); сподумен тут розподілений у пегматитах у край нерівномірно. В асоціації

з кварцом, альбітом і мікрокліном він складає кварц-альбіт-сподуменовий, альбіт-мікроклін-сподуменовий і кварц-альбіт-мікроклін-сподуменовий мінеральні парагенезиси, властиві внутрішнім частинам пегматитових тіл, де вони утворюють відповідні зони. За морфологічними ознаками та співвідношеннями з іншими мінералами виділено чотири генерації сподумену, хоча їхній хімічний склад у межах Шевченківського вузла не показує істотних відмінностей.

Сподумен-I становить 95—98 % об'єму всього сподумену. Морфологія його виділень різноманітна. На периферії сподуменвмісних зон це дрібні (до 1—5 мм) ізометричні або неправильної форми гнізда серед нерівномірнозернистого кварц-альбітового або кварц-мікроклін-альбітового агрегату. Потужність ділянок із дрібним сподуменом незначна — 10—20 см. У бік осевої частини пегматитових тіл розмір гнізд збільшується, з'являються великі кристали та блоки величиною 5—20 см. Форма кристалів видовжена, призматична або дещо сплюснена, однак досконалі кристали трапляються у край рідко.

Для цієї генерації характерне проростання кристалів і блоків їхтіогліптовими включеннями кварцу, причому ними пронизані всі кристали. Включення займають у середньому 20—40 % об'єму сподумену. Розмір виділень кварцу змінюється від 0,1—0,3 до 2—6 мм навіть у межах одного кристала. Значна частина блоків цього мінералу деформована, нерідко подрібнена і зцементована пізнім кварцом. До того ж хімічний склад сподумену, зокрема й кількість оксиду літію, залишаються незмінними.

Сподумен-II характерний для ділянок і зон розвитку кварц-альбіт-петалітового й мікроклін-петалітового складу. Представлений гніздами еліпсоподібної форми розміром 2—8 мм у петаліті, з яким має чітко виражені реакційні контакти. Ця генерація характеризується незначним поширенням і представлена агрегатами зерен величиною 0,1—0,5 мм неправильної форми, характерною особливістю для них є наявність дрібних (0,05—0,40 мм) видовжених мірмекітоподібних включень кварцу.

За оптичними властивостями сподумен-II та I не розрізняються. Судячи з морфології та

взаємовідношень із петалітом, друга генерація сподумену утворилась по ньому в процесі перекристалізації пегматитів. Разом зі сподуменом-II в зонах розвитку петалітової мінералізації є також сподумен першої генерації, кородований петалітом.

*Сподумен-III* поширений у складі пізнього кварц-сподуменового комплексу, де утворює прожилкові виділення, які січуть більш ранні мінеральні комплекси пегматитів. Сподумен цієї генерації складає частки відсотка від загальної маси мінералу в пегматитах і зосереджений у ділянках інтенсивного дроблення порід та тріщинних порожнинах у крупнозернистому пегматиті. Стійка асоціація сподумену-III з кварцом, імовірно свідчить, що процес утворення кварц-сподуменового мінерального комплексу відбувався шляхом подрібнення та часткового розчинення більш раннього сподумену і подальшого перевідкладення розчинами, збагаченими кремнеземом.

*Сподумен-IV* репрезентований тонковолокнистими мономінеральними агрегатами голкоподібних кристалів, які сформувались у тектонічно порушених ділянках і тріщинах, а також росли на периферії зерен сподумену-I і петаліту. На відміну від перших трьох охарактеризованих вище генерацій, сподумену-IV не властивий чіткий парагенетичний зв'язок з кварцом, який, очевидно, спричинив незначні масштаби його поширення (Isakov, 2009).

Сподумени Шевченківського пегматитового вузла характеризуються більш-менш ви-

триманими фізичними властивостями. Забарвлення мінералів сірувате, інколи зеленкувате за рахунок вторинних мінералів, що розвиваються вздовж спайності. Густина становить  $\sim 3,16 \text{ г/см}^3$ , твердість — 6,5—7. Під мікроскопом у прохідному світлі безбарвний. Показники заломлення:  $n_g' = 1,673$ ;  $n_p' = 1,658$ . Рентгенометричні параметри відповідають стандартному сподумену. В кислотах не розчиняється. Під час нагрівання до червоного розжарення (800—900 °С) набуває кремового забарвлення. Хімічний склад незміненого мінералу постійний у всіх пегматитових тілах вузла. Вміст  $\text{Li}_2\text{O}$  змінюється в межах 7,02—7,9 % (середній 7,36 %) (табл. 2), що нижче від теоретичного (8,1 %). Зниження вмісту літію в пегматитах переважно зумовлено ізоморфним заміщенням його елементами-домішками, а також наявністю газопо-рідинних включень і домішок інших мінералів. За допомогою спектрального аналізу у сподумені виявлено домішки Mg, Mn, Nb, Ga, B, Sn, Ag.

Характерною особливістю сподумену в пегматитах Шевченківського родовища є широкий розвиток вторинних змін. На початковій стадії заміщення мінерал набуває зеленкуватого забарвлення, зумовленого появою лусок серициту, утворених уздовж площин спайності сподумену. Пізніше формуються повні псевдоморфози, складені агрегатом мікролускуватої слюди, кварцу і карбонату. У цьому випадку форма кристалів і система вrostків кварцу повністю зберігаються, заміщується

Таблиця 2. Хімічний склад сподумену і полімінеральних продуктів його змін  
Table 2. Chemical composition of spodumene and polymineral products of its changes

Component	Spodumene		Pseudomorph by spodumene		Component	Spodumene		Pseudomorph by spodumene	
	limits of oscillations	average content	sample 94/304,4	sample 95/234,5		limits of oscillations	average content	sample 94/304,4	sample 95/234,5
$\text{SiO}_2$	63,24—63,66	63,48	58,45	52,83	<b><math>\text{Li}_2\text{O}</math></b>	<b>7,02—7,9</b>	<b>7,36</b>	<b>0,04</b>	<b>0,11</b>
$\text{TiO}_2$	0,01—0,02	0,02	0,03	0,03	$\text{Rb}_2\text{O}$	0,005—0,006	0,0055	0,1	0,15
$\text{Al}_2\text{O}_3$	26,53—27,25	27,02	27,04	22,75	$\text{Cs}_2\text{O}$	0,001—0,0014	0,001	0,004	0,004
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,62—0,77	0,72	0,73	1,29	$\text{SO}_3$	0,02—0,03	0,025	0,07	0,05
$\text{MnO}$	0,09—0,23	0,12	0,02	0,08	$\text{P}_2\text{O}_5$	Traces—0,16	0,07	0,26	0,1
$\text{MgO}$	0,05—0,23	0,15	0,22	2,37	$\text{CO}_2$	0,05—0,024	0,16	0,29	2,48
$\text{Na}_2\text{O}$	0,2—0,41	0,28	0,54	0,11	$\text{H}_2\text{O}^+$	0,19—0,51	0,29	3,24	3,69
$\text{K}_2\text{O}$	0,05—0,12	0,07	6,75	7,69	$\text{H}_2\text{O}^-$	Traces—0,18	0,1	0,21	0,36

Примітка. Табл. 2 наведено за даними (Isakov, 2009).

Note. The Table 2 is given according to the data of Isakov, 2009.

тільки сподумен. На завершальній стадії виноситься літій, привносяться калій, кальцій — виникає агрегат мусковіту з невеликою кількістю кварцу, карбонату, польового шпату. Слід зазначити, що псевдоморфози по сподумену характеризуються дуже низьким вмістом  $\text{Li}_2\text{O}$  (табл. 2).

У Криворізькому басейні сподумен утворює пластинчасті або видовжені призматичні кристали, орієнтовані переважно в одному напрямку під кутом  $65\text{—}90^\circ$  до площини контакту пегматитів і вмісних порід (Kushev, Terentyeva, 1964; Lazarenko et al., 1977).

Розмір найбільших кристалів сподумену сягає 15 см за довжиною. В.Г. Кушев і М.В. Терентьєва (Kushev, Terentyeva, 1964) за морфологічними ознаками виділили: 1) дошкоподібні кристали пінакоїдального габітусу — грань (100) найкраще розвинена; 2) кристали сплющено-стовпчастого обрису і пінакоїдально-призматичного габітусу, зумовленого приблизно однаковим розвитком граней зони [001]; 3) кристали стовпчастого обрису та пінакоїдального габітусу, зумовлені розвиненими формами {100} і {010}. Сподумен переважно білий зі слабким блакитним, рожевим або кремевим відтінком, рідше жовто-зелений. Виявлено просте та полісинтетичне двійникування за (100) і (110). Хімічний склад сподумену (Lazarenko et al., 1977) такий:

1.  $(\text{Li}_{0,72}\text{Na}_{0,07}\text{K}_{0,03})_{0,82}\text{Al}_{0,99}[\text{Si}_{2,03}(\text{O}_{5,86}\text{OH}_{0,14})_{6,0}]$ ;
2.  $(\text{Li}_{0,46}\text{Na}_{0,22}\text{K}_{0,01})_{0,69}\text{Al}_{1,00}[\text{Si}_{2,01}(\text{O}_{5,79}\text{OH}_{0,21})_{6,0}]$ ;
3.  $(\text{Li}_{0,91}\text{Na}_{0,09}\text{K}_{0,03})_{1,03}\text{Al}_{0,98}[\text{Si}_{1,96}(\text{O}_{5,90}\text{OH}_{0,10})_{6,0}]$ .

Як видно, він істотно відхиляється від теоретичного, оскільки, на нашу думку, проаналізовано не чистий, а метасоматично змінений сподумен. На думку (Kushev, Terentyeva, 1964), сподумен утворився в процесі метасоматозу жильних гранітоїдних порід, які за складом були близькі до олігоклазових гранітів або кварц-мікроклінових пегматитів. Перекристалізація й явища метасоматозу були спровоковані літійвмісними розчинами, які проникали по великих розривних порушеннях.

Сподумен — поширений мінерал рідкісно-металевих пегматитів Інгульського мегаблоку, найбільше в пегматитах ортоклаз-мікроклін-альбіт-петалітового і ортоклаз-альбіт-

сподумен-петалітового типів. Його вміст у різних ділянках пегматитових жил коливається в широких межах — від часток до 20 %. На загал його кількість сягає рівня основного породоутворювального мінералу лише в деяких рудних тілах. Сподумен утворює кристали, входить до складу кварц-сподуменових, мусковіт-сподумен-кварцових агрегатів без видимого зв'язку з петалітом і встановлений як вторинний мінерал — продукт розпаду петаліту. За співвідношенням з петалітом і розташуванням у пегматитах виділено три різновиди сподумену. Сподумен-I на Полохівському родовищі наявний у приконтатовій зоні висячого боку головного рудного тіла (св. 26-90, гл. 134—135 м) та в малопотужних апофізах, що відокремлюються від нього і перетинають вмісні гнейси, у мусковіт-сподумен-кварцових виокремленнях з ясно-блакитним апатитом і поліхромним зелено-синім турмаліном. Сподумен характеризується високою залізистістю (табл. 3), що притаманно сподумену з мікроклін-сподумен-альбітових пегматитів. На Липнязькому рудопрояві сподумен поза зв'язком з петалітом виявлено у приконтатових кварц-плагіоклазових зонах, де він асоціює з олігоклазом, кварцом, ясно-блакитним апатитом, трифілітом, іноді нігеритом. Сподумен-II — мікрокристалічний, просторово приурочений до зон деформації пегматитів. Він утворює волокнисті виділення видовжено стовпчастих мікрокристалів із криптокристалічним кварцом в інтерстиціях індівідів петаліту білого кольору, рідше в кварц-польовошпатових утвореннях, що межують з петалітовими ділянками. Сподумен-III приурочений до центральних частин продуктивних пегматитових тіл (св. 26-90, 7-92, 10-91) Полохівського родовища. Цей різновид сподумену утворює скупчення кристалів, які мають різну форму. Спочатку вони росли у вигляді голчастих кристаликів, які ледь розпізнаються під мікроскопом, поступово розрослися, ставали більшими, а далі утворювали дрібнозернисті скупчення в асоціації з кварцом. Цей процес росту завершується формуванням крупнозернистих кварц-сподуменових виділень, в яких розмір кристалів сподумену досягає 1—2 см. Останній за хімічним складом (табл. 3) відрізняється від

сподумену-І меншою кількістю Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і появою MnO (0,04—0,05 %). Така особливість складу характерна для сподумену з петалітових пегматитів.

Порівняння наведених вище даних, які стосуються розмірів мінеральних індивідів, морфологічних особливостей й хімічного складу українського сподумену з аналогічними параметрами цього мінералу з потужних закордонних родовищ Лі засвідчило істотні відмінності. Повною мірою це стосується також другого рудного мінералу — петаліту (див. висновки).

Сподумен — класичний полігенний мінерал. Він зароджується і росте за різними фізико-хімічними механізмами (вільна кристалізація, метасоматичне заміщення, розпад петаліту) у різних геологічних середовищах — пегматитовому розплаві, пневматолітовому та гідротермальному розчинах (Vlasov (ed.), 1964; Ginzburg, 1983; Minerals, 1981; Minerals, 1992; Trufanova, Glyuk, 1986). За браком місця генезис сподумену та інших рудних мінералів буде висвітлено в одному з чергових оглядів.

**Холмквістит** — типоморфний мінерал метасоматично змінених навколопегматитових амфіболвмісних порід, розвинених у родовищі Крута Балка (Bairakov, 1968; Zatsikha, Boychuk, Vochkov, 1969; Lazarenko et al., 1981). Зазвичай розвивається по натрієвих рогових обманках. Незначна кількість трапляється в ендоконтактних зонах. Мінерал представлений тичкуватими, списоподібними та голчастими кристалами з повздожньою штрихуватістю та ромбоподібним поперечним перетином (Rozanov, Lavrinenko, 1979). Розмір кристалів різний, але не перевищує 20 см, забарвлення синьо-фіолетове різних відтінків. За оптичними даними та результатами хімічного аналізу (Rozanov, Lavrinenko, 1979), склад холмквіститів досить сталий, а вміст Li<sub>2</sub>O коливається у межах 2,88—3,50 %. Поодинокі знахідки холмквіститу зафіксовано в Шевченківському родовищі.

Холмквістит — характерний метасоматичний мінерал, який є продуктом взаємодії пегматитових флюїдів із вмісними породами основного та ультраосновного складу. Звідси

Таблиця 3. Хімічний склад сподумену Полохівського (1—4) і Станкуватського (5) родовищ, %  
Table 3. Chemical composition of spodumene of Polokhivske (1-4) and Stankuvatske (5) deposits, %

Component	1	2	3	4	5	Component	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	63,58	63,74	63,75	64,17	64,17	<i>Crystal chemical coefficients (cation method)</i>					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,34	26,89	27,06	26,99	27,18	Si	2,008	1,998	2,002	2,000	2,004
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,84	0,25	0,10	0,34	0,09	Al	0,980	0,993	1,001	0,991	1,007
FeO	0,72	0,57	0,72	0,26	0,48	Fe <sup>3+</sup>	0,020	* 0,006	0,002	0,008	0,002
CaO	0,34	Traces	0,06	0,12	0,03	Fe <sup>2+</sup>	0,019	0,015	0,019	0,007	0,013
<b>Li<sub>2</sub>O</b>	<b>6,70</b>	<b>6,99</b>	<b>7,10</b>	<b>7,04</b>	<b>7,14</b>	Ca	0,012	—	0,002	0,004	0,001
MgO	0,08	Traces	Traces	0,08	—	<b>Li</b>	<b>0,847</b>	<b>0,878</b>	<b>0,898</b>	<b>0,879</b>	<b>0,893</b>
MnO	Traces	Traces	Traces	0,04	0,05	Mg	0,004	—	—	0,004	—
Na <sub>2</sub> O	0,46	0,96	0,46	0,67	0,84	Mn	—	—	—	0,001	0,001
K <sub>2</sub> O	0,21	0,34	0,10	0,07	0,03	Na	0,028	0,058	0,028	0,041	0,510
H <sub>2</sub> O+	0,56	0,04	0,44	0,08	0,57	K	0,008	0,013	0,004	0,003	0,001
Σ	99,50	99,91	99,93	100,08	99,16						

Примітка. *Порода*: 1 — мікроклін-альбітовий пегматит зі сподуменом; св. 26-90, гл. 134 м; 2 — те саме з петалітом; там само, гл. 270—274,3 м; 3 — кварц-сподуменові відособлення у мікроклін-альбіт-петалітовому пегматиті; там само, гл. 303 м; 4 — те саме у альбіт-петалітовому пегматиті; св. 7-92, гл. 381,5 м; 5 — кварц-плагіоклазова зона з рідкісними виділеннями сподумену в приконтатковій частині з вмісним амфіболітом; св. 32-91, гл. 282,8 м (Voznyak et al., 2000).

Note. *Rock*: 1 — microcline-albite pegmatite with spodumene; borehole 26-90, depth 134 m; 2 — the same with petalite; in the same place, depth 270—274.3 m; 3 — quartz-spodumene segregations in microcline-albite-petalite pegmatite; in the same place, depth 303 m; 4 — the same in albite-petalite pegmatite; borehole 7-92, depth 381.5 m; 5 — quartz-plagioclase zone with rare spodumene outcrops in the near-contact part with the host amphibolite; borehole 32-91, depth 282.8 m (Voznyak et al., 2000).

впливає його приконтрактове розташування й асоціативний ряд мінералів — рогова обманка, плагіоклази, біотити, турмалін, гранат, інколи кварц, рудні мінерали. У біотит-турмалінових облямівках холмквістит утворився у ході метасоматичного заміщення біотиту внаслідок дії пегматитових розчинів, збагачених Li та SiO<sub>2</sub> (Zatsikha, Boychuk, Vochkov, 1969).

**Петаліт** є контрастно поширеним мінералом — від акцесорних кількостей (родовище Крута Балка) до основного рудного мінералу (Полохівське родовище). Описав цей мінерал Василь Шклянка (1988) у відкритому ним Шевченківському родовищі.

Петаліт — рідкісний мінерал у родовищі Крута Балка. Його мізерну кількість діагностовано лише в імерсійних препаратах (Rozanov, Lavrinenko, 1979).

У Шевченківському родовищі він поширений обмежено і складає 3—5 % від загально-го об'єму рудних мінералів (Isakov, 2009). Один із авторів статті, який працював з керном, вважає, що наведені значення вмісту петаліту в Шевченківському родовищі дещо занижені, оскільки петаліт — непростий для візуальної діагностики мінерал, який часто приймають за кварцит чи альбіт. Здебільшого його скупчення приурочені до центральних частин роздувів жил, складених кварц-альбіт-мікроклін-петаліт-сподуменовою мінеральною асоціацією, представленою дрібнозернистим агрегатом. Розподілений у породі нерівномірно. Петалітові зони потужністю 1—10 м чергуються із зонами мінералізації сподумену-I. Мономінеральні

утворення досить рідкісні. Наявні проростання петаліт-сподуменового, петаліт-альбітового й петаліт-кварцового складу (структура мірмекітового зрощення). Форма зерен полігональна, рідше широкотаблитчаста. Часто вздовж контакту зерен петаліту утворюються тонкогочасті виділення сподумену. Усередині зерен трапляються округлі вclusions кварцу розміром у тисячні й соті частки міліметра. Спайність у мінералі спостерігається рідко; характеризується молочно-білим, голубуватим, рожевуватим, зеленкуватим, сіруватим забарвленням. Макроскопічно мінерал нагадує молочно-білий кварц або сіруватий альбіт. Густина 2,47 г/см<sup>3</sup>. Показники заломлення становлять: за  $n_g'$  — 1,516, за  $n_p'$  — 1,506.

Хімічний склад петаліту з пегматитів Шевченківського вузла досить сталий (табл. 4) (Isakov, 2009), а вміст Li<sub>2</sub>O змінюється в незначних межах 4,05—4,53 %, в середньому 4,36 %, що дещо нижче від теоретичного його вмісту в петаліті (4,88 %).

Петаліт — основний рудний мінерал рідкіснометалевих пегматитів західної частини Інгульського мегаблоку, домінує над іншими літєвими мінералами. Він утворює три морфологічні відміни, які, імовірно, відповідають генераціям. Перша представлена великокристалічними (до 3—4 см) індивідами, що зростаються з мікрокліном у мікроклін-петалітовому пегматиті. Тут він асоціює з літєвими фосфатами амблігоніт-монтебразитового ряду, дюмортьеритом, блакитним турмаліном і трифілітом. Аналогічний петаліт зрідка знаходиться і поблизу контакту аль-

Таблиця 4. Хімічний склад петаліту з рідкіснометалевих пегматитів Шевченківського родовища  
Table 4. Chemical composition of petalite from rare metal pegmatites of the Shevchenkivske deposit

Component	Borehole 308, int. 251—298 m	Borehole 27592, int. 157 m	Borehole 27593, int. 297 m	Borehole 2794, int. 159 m	Component	Borehole 308, int. 251—298 m	Borehole 27592, int. 157 m	Borehole 27593, int. 297 m	Borehole 2794, int. 159 m
SiO <sub>2</sub>	76,66	76,03	76,8	77,12	<b>Li<sub>2</sub>O</b>	<b>4,05</b>	<b>4,53</b>	<b>4,5</b>	<b>4,37</b>
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,01	0,004	0,004	Rb <sub>2</sub> O	0,0023	Traces	Traces	Traces
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,16	17,15	17,41	17,04	Cs <sub>2</sub> O	Traces	0,006	0,003	0,003
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30	0,06	0,08	0,058	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Traces	0,05	Traces	0,03
MnO	0,01	Traces	Traces	Traces	SO <sub>3</sub>	0,06	0,02	0,01	0,01
MgO	0,17	0,07	0,04	0,1	CO <sub>2</sub>	0,06	0,29	0,2	0,31
CaO	0,28	0,63	0,55	0,85	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,64	0,45	0,36	0,25
Na <sub>2</sub> O	0,77	0,63	0,21	0,35	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,04	0,05	0,04	0,05
K <sub>2</sub> O	0,11	0,15	0,09	0,11	Σ	100,33	100,12	100,29	100,65

біт-мікроклін-петалітових пегматитів із амфіболітами в деяких жилах Липнязького рудного поля.

Друга відміна складена дрібно-, мікрозернистими агрегатами, які асоціюють із кварцом такого ж розміру. Вони інтенсивно заміщують альбіт, менше — мікроклін у мікроклін-альбітових пегматитах. Водночас виникають дендрито- або симплектитоподібні зростки петаліту з реліктами альбіту. Окрім того, починаючи з периферії плагіоклаз заміщується агрегатом зерен петаліту розміром від часток до 2—3 мм. Дрібнозернисті суцільні маси петаліту на фронті заміщення розщеплюються на клиноподібні, ланцюжкові виділення і дрібноагрегатні скупчення в асоціації з кварцом, які далі змінюються більшими (до 4 мм) виділеннями кварцу, а петаліт утворює тонкі облямівки навколо нього і пойкилітові включення у ньому. Такі ж петалітові облямівки фіксуються навколо кордієриту в метасоматично змінених вмісних гнейсах у приконтактовій зоні пегматитів. На ще більшій відстані від фронту суцільного виділення петаліту зникають петалітові облямівки навколо кварцу, а кварц утворює круглі, еліпсо-, рідше лінзоподібні

скупчення (до 4—6 мм) зерен з мікрровключеннями петаліту в них. Заміщення має чітко виражений напрям і часто підкреслюється пізнішими фібrolітами і "течіями" кристалів силіманіту. Зазначимо, що вміст кварцу в суцільних кварц-петалітових агрегатах помітно (на 5—10 %) зменшується, порівняно з кварц-польовошпатовим субстратом (15—20 %), який заміщується. Ця відміна петаліту — головний рудний мінерал. До третьої відміни належать тонкі прожилки петаліту, що перетинають новоутворений порфіроподібний мікроклін у зонах катаклазу пегматитових тіл. Маса цього різновиду петаліту займає мізерну частину порід.

Петаліт має відносно сталий хімічний склад (табл. 5). Порівняно з теоретичним складом, у ньому виявлено невеликий дефіцит Li, присутність Fe і надлишок Al. Спектри люмінесценції петаліту характеризуються двома центрами випромінювання — O\* ґратковими і Fe<sup>3+</sup> домішковими (Г.В. Кузнецов), характерними для петаліту Шевченківського родовища. За даними протонного магнітного резонансу (А.М. Калініченко, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України), петаліт

Таблиця 5. Хімічний склад петаліту Полохівського родовища (св. 26-90), %

Table 5. Chemical composition of petalite of the Polokhivske deposit (borehole 26-90), %

Component	1	2	3	4	5	Component	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	78,34	77,82	77,90	78,36	76,58—77,64	<i>Crystal chemical coefficients (cation method)</i>					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,16	16,18	15,66	15,88	17,04—17,30	Si	4,000	3,998	4,002	4,001	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15	0,16	0,15	0,21	0,09—0,11	Al	0,972	0,979	0,948	0,955	—
FeO	0,59	0,51	1,16	0,89	—	Fe <sup>3+</sup>	0,003	0,003	0,003	0,004	—
CaO	—	—	—	—	0,11—0,22	Fe <sup>2+</sup>	0,025	0,022	0,050	0,038	—
<b>Li<sub>2</sub>O</b>	<b>4,24</b>	<b>4,10</b>	<b>4,25</b>	<b>4,13</b>	<b>4,00—4,80</b>	Ca	—	—	—	0,003	—
Na <sub>2</sub> O	0,23	0,74	0,45	0,41	0,10—0,20	<b>Li</b>	<b>0,867</b>	<b>0,843</b>	<b>0,875</b>	<b>0,844</b>	—
K <sub>2</sub> O	0,20	0,43	0,32	0,21	0,13—0,18	Na	0,023	0,074	0,045	0,041	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,34	0,60	0,05	0,45	—	K	0,013	0,027	0,020	0,013	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	Traces	Traces	Traces	Traces	—						
В. п. п.	—	—	—	—	0,12—0,20						
Σ	99,62	99,96	100,03	99,68	—						

Примітка. *Порода*: 1 — петаліт-альбітовий пегматит, гл. 243 м; 2 — альбіт-петалітовий пегматит, гл. 301 м; 3 — пегматит альбітовий з петалітом, гл. 314,8—318 м; 4 — пегматит мікроклін-альбітовий з петалітом, гл. 321,5—324,5 м; 5 — аналіз трьох зразків з технологічної проби (Voznyak et al., 2000).

Note. *Rock*: 1 — petalite-albite pegmatite, depth 243 m; 2 — albite-petalite pegmatite, depth 301 m; 3 — albite pegmatite with petalite, depth 314.8—318 m; 4 — microcline-albite pegmatite with petalite, depth 321.5—324.5 m; 5 — analysis of three samples from the technological sample (Voznyak et al., 2000).

літ містить у включеннях незначну кількість води (0,023—0,048 %).

Петаліт — нестійкий мінерал. Заміщується сподуменом, кукеїтом, монтморилонітом, каолінітом. Непроста генетична природа мінералу буде, як зазначено вище (див. сподумен), висвітлена в одному з чергових оглядів.

**Маргарит** — рідкісний мінерал України (табл. 1). Відкритий В.В. Байраковим у флогопітовій реакційній зоні десилікованих пегматитів родовища Крута Балка (Bairakov, 1973). Вміст маргариту ~1 %. Асоціює з флогопітом, апатитом, олігоклазом, турмаліном. Представлений невеликими (1—5 мм) перлинно-білими прозорими пластинами, рідше дрібнозернистими агрегатами. За хімічним складом ( $\text{Li}_2\text{O}$  — 1,82;  $\text{BeO}$  — 4,54 %) віднесено до літій-берилієвого різновиду, який виріс шляхом заміщення флогопіту, рідше — хризоберилу (Bairakov, 1973).

**Донбасит**. Формально це не літійевий мінерал. Ідеалізовані формули донбаситу та каолініту можна розглядати як поліморфні модифікації  $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ . Спостереження цих мінералів у природі та результати дослідження їхньої кристалографії (Lazarenko, Panov, Pavlishin, 1975; Melnikov, Pavlyshyn, 2002; Minerals, 1992) свідчать про таке: реально донбасит, на відміну від каолініту, містить деяку кількість Li, інших елементів, надлишок  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , які стабілізують його хлоритову структуру.

Донбасит — низькотемпературний мінерал гідротермальних жил, вмісних порід, прошарків глинистих сланців, розвинених у вугільних пластах Донбасу (Horovoi, 1987; Lazarenko, Panov, Pavlishin, 1975; Minerals, 1992). У найбільшій кількості він виявлений у жилах Нагольного кряжу — кварц-сульфідних і кварц-анкеритових (міліметрові пластинки, луски, волокна, зібрані у агрегати різної форми), їхніх вмісних породах (гнізда та прожилки), ртутних родовищах Донбасу (дрібні, 0,01—0,07 мм, луски, зібрані в пакети).

Вміст літію у донбаситах коливається у відносно широких межах, але не перевищує 3 %  $\text{Li}_2\text{O}$ .

**Кукеїт**. Дещо з історії. 1940 року Євген Лазаренко відкрив донбасит — диоктаєдричний алюмінієвий хлорит, який згодом виявився, як і кукеїт, літійевим мінералом

(Pavlyshyn, Cherniyenko, 2023), що спричинило термінологічну дискусію. Тут ми будемо дотримуватись офіційної версії Міжнародної мінералогічної асоціації (Kulchytska, Chernysh, Setaya, 2022) хоча термінологічна пропозиція (Melnikov, Pavlyshyn, 2002) видається нам досконалішою.

Кукеїт — рідкісний мінерал України (Shcherbak et al., 1990) (табл. 1), який до певної міри генетично споріднює рідкіснометалеві пегматити та гідротермальні жили. У пегматитах він метасоматично розвивається по сподумену і трифіліту, утворюючи білі, зеленкуваті, інколи рожеві лускуваті агрегати, які місять 3,18 %  $\text{Li}_2\text{O}$  (Rozanov, Lavrinenko, 1979).

Ширше розвинений кукеїт у Донецькому басейні (Lazarenko, Panov, Pavlishin, 1975), найбільше в кварцових і кварц-анкеритових гідротермальних жилах Нагольного кряжу. Він утворює дрібні (0,1—3,0 мм) розеткоподібні, променисті, кулеподібні, пластинчасті форми, щільні тонкозернисті маси. Хімічний склад змінюється, але в нешироких межах, %:  $\text{SiO}_2$  — 33,6—38,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 43,0—48,0;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0,1—6,0;  $\text{FeO}$  — 0—0,8;  $\text{MgO}$  — 0—2,5;  $\text{Li}_2\text{O}$  — 2,0—3,0;  $\text{H}_2\text{O}$  — 13,2—14,5. Структура одношарова, політип Ia. Забарвлення різне — біле, зеленкувате, червонувате; блиск — скляний, перламутровий. Кукеїт асоціює з анкеритом, ректоритом, лутугінітом (не затверджений), тарасовітом (дискредитований), інколи з дикітом. Кукеїт — низькотемпературний гідротермальний мінерал.

**Трифіліт**. Рідкісний літійевий мінерал літійєносних об'єктів України, відкритий у рідкіснометалевих пегматитах Приазов'я дослідниками цих пегматитів К.І. Розановим і Л.Ф. Лавриненком (Rozanov, Lavrinenko, 1979). Мінерал діагностований лише в рідкіснометалевих пегматитах Приазов'я (родовище Крута Балка) та Інгульського мегаблоку, найбільше в Полохівському родовищі. У родовищі Крута Балка поширений у різних зонах, але істотні концентрації характерні лише для кварц-альбіт-сподуменової зони та блокового мікрокліну. Утворився здебільшого метасоматичним способом, заміщуючи мікроклін, альбіт і сподумен. Форма виділень — агрегатні скупчення і "бобовоподібні" форми. Розмір зерен різний, але не перевищує 5 см, розмір агрегатів — до 40 см.

Забарвлення різне — сіро-зелене, синювате, інколи ясно-жовте. За оптичними даними та хімічним складом мінерал відповідає формулі  $\text{Li}(\text{Fe}, \text{Mn})[\text{PO}_4]$  — залізо переважає над манганом у співвідношенні 3:2 (Rozanov, Lavrinenko, 1979).

Трифіліт у Полохівському родовищі найбільше скупчується в приконтактовій зоні пегматитів, де утворює виділення неправильної форми з розміром індивідів від перших міліметрів до 1 см. Трапляються також відносно великі жовна (до 3—4 см) і суцільні зонки потужністю від декількох міліметрів до 1,5 см уздовж контакту з вмісними породами, здебільшого амфіболітами. Трифіліт асоціює з ранніми мінералами пегматитів — апатитом, олігоклазом, гранатом, нігеритом, хризоберилом, амблігонітом, шпінеллю. З іншого боку, він заміщується по периферії зерен сподуменом-II і гідрофосфатами. У деяких випадках спостерігається зворотна картина у відношеннях з гранатом, коли гранат містить трифіліт або утворює келіфітові облямівки. Хімічний склад трифіліту, %:  $\text{SiO}_2$  — 1,07;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0,34;  $\text{FeO}$  — 32,33;  $\text{MnO}$  — 9,80;  $\text{MgO}$  — 0,19;  $\text{Li}_2\text{O}$  — 9,04;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 46,26;  $\text{H}_2\text{O}^+$  — 0,52; сума — 99,55. Відзначається дещо підвищеним вмістом Li, відсутністю лугів і Ca, характерних для трифіліту з інших пегматитів (Vlasov (ed.), 1964).

Трифіліт утворює ізоморфний ряд з літіофілітом, який виявлено у петалітових пегматитах Полохівського родовища (Syomka et al., 2022). Середній вміст фосфатів у найбагатших на рідкісні метали тілах складає ~0,5—1, в інших не перевищує 0,05—0,1 %. З розвитком процесів заміщення, особливо петалітизації, трифіліт зазнає інтенсивної корозії, зменшується в розмірах і часто заміщується гідроксилapatитом. Кристали містять первинні флюїдні включення, серед твердих фаз яких основний об'єм (~70—75 %) займає напівпрозора бура речовина, газова фаза не завжди помітна і складає ~10—15 %. Під час нагрівання у повітрі трифіліт стає непрозорим за температури 600—700 °C, тому температура гомогенізації включень перевищує 600 °C, проте, виходячи з об'єму газової фази за цієї температури, вона, імовірно, не досягає 700 °C (Voznyak et al., 2000).

Нові мікрозондові дані (10 аналізів) хімічного складу трифіліту із літєвих пегматитів Північностанкуватського родовища навів С.І. Курило (Syomka et al., 2022). За результатами його дослідження ( $\text{Li}_2\text{O}$  — 9,91—11,78;  $\text{FeO}$  — 26,19—36,22;  $\text{MnO}$  — 2,39—9,60;  $\text{MgO}$  — 3,01—11,05;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 45,99—49,10 %) впливає, що хімічний склад трифіліту істотно варіює у різних пегматитових жилах і зонах. Вірогідно, високий вміст  $\text{MgO}$  (11,05 %) відображає гібридизацію пегматитами вмісних амфіболітів.

**Амблігоніт** відкрила Катерина Литовченко ще в 1960-х рр. у блоковій зоні диференційованої пегматитової жили Західного Приазов'я, точніше, за нашими даними, у родовищі Крута Балка. Згодом число знахідок амблігоніту зросло, але не вийшло за межі родовища (див. табл. 1). Мінерал зафіксований у багатьох жилах родовища Крута Балка, але частіше трапляється у периферійних зонах кварц-альбіт-мікроклінового складу, де утворює зерна та округлі виділення розміром до 0,5 см, тісно зрощені з кварцом, польовими шпатами, сподуменом (Rozanov, Lavrinenko, 1979). Найчастіше візуально це білі напівпрозорі полісинтетично здвійниковані за (101) і (101) кристали, які характеризуються масним блиском і досконалою спайністю за (100). За хімічними даними відношення F і OH у формулі  $\text{LiAl}(\text{F}, \text{OH}) \cdot [\text{PO}_4]$  коливається у широких межах (Rozanov, Lavrinenko 1979) так, що деякі індивіди за складом наближуються до монтебразиту. Мінерал асоціює з кварцом, альбітом, мікрокліном, сподуменом, кукейтом. По агрегатних скупченнях амблігоніту в інтенсивно альбітизованих ділянках розвивається кукейт, який, на думку А.І. Гінзбурга (1983), фіксує натрієвий етап розвитку пегматитового процесу (Lazarenko et al., 1981).

**Монтебразит** наявний також у сподуменових мікроклін-альбітитових пегматитах Інгульського мегаблоку (Syomka et al., 2022). Він тісно асоціює з трифілітом, часто з ним зрощений. Іноді спостерігається у вигляді окремих зерняток округлої та іншої форми розміром 0,1—0,3 мм. Забарвлення жовте, буро-коричневе, плеохроїзм ледь помітний, двозаломлення високе. Зрідка трапляються дрібні прожилки. Монтебразит формує як

первинні, так і вторинні зерна. Хімічний склад монтебразиту коливається у відносно вузьких межах, наближуючись до теоретичної формули (табл. 6) (Syomka et al., 2022).

**Симферит** як новий мінерал мінерального царства відкрив В.В. Байраков у родовищі Крута Балка на контакті рідкіснометалевого пегматиту з метасульфідними базитами (Bairakov et

Таблиця 6. Хімічний склад монтебразиту із літійових пегматитів Північностанкуватського родовища (9 точок)  
Table 6. Chemical composition of montebrasite from Li-pegmatites of North-Stankuvatske deposit (9 points)

Component	Albite-petalite pegmatite, borehole 61-90, depth 217,2 m					Petalite-microcline pegmatite, borehole 61-90, depth 199,5 m			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	50,262	50,244	50,915	50,735	50,516	49,688	48,581	48,905	48,138
SO <sub>3</sub>	0,01	0,011	0,003	0,004	0,001	0,008	0	0	0
SiO <sub>2</sub>	0	0,009	0	0	0	0,163	0,341	0,862	1,94
TiO <sub>2</sub>	0,172	0,011	0,086	0,022	0,118	—	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,534	35,503	35,091	35,455	35,155	35,197	35,45	31,714	34,483
FeO <sub>tot</sub>	0	0,007	0,051	0,011	0,004	0,03	0,014	1,615	0,696
MnO	0	0	0	0	0	0	0,026	0,41	0,196
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0,139	0,054
CaO	0,015	0,039	0,028	0,009	0,026	0,042	0,122	0,238	0,075
SrO	0,218	0,218	0,182	0,27	0,252	0	0	0	0
Na <sub>2</sub> O	0,021	0	0,03	0,002	0,015	0	0	0	0
K <sub>2</sub> O	0,021	0,009	0,013	0,007	0,006	—	—	—	—
F	0,106	0,000	0,104	0,000	0,063	0	0	0	0
Cl	0,003	0,000	0,003	0,005	0,005	0,002	0,002	0,013	0,007
Li <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	10,66	10,71	11,07	10,92	10,89	10,67	10,19	11,15	10,89
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	6,23	6,38	6,31	6,44	6,32	6,33	6,22	6,33	6,40
O=F, Cl	-0,04	0,00	-0,04	0,00	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	103,20	103,14	103,84	103,87	103,34	102,13	100,94	101,37	102,87
<i>Crystal chemical coefficients (cation method)</i>									
P <sup>5+</sup>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,992	0,980	0,955
Si <sup>4+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,008	0,020	0,045
Ti <sup>4+</sup>	0,003	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Al <sup>3+</sup>	0,984	0,983	0,959	0,973	0,969	0,982	1,008	0,884	0,952
Ca <sup>2+</sup>	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,003	0,006	0,002
Sr <sup>2+</sup>	0,003	0,003	0,002	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008	0,004
Mg <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,003
Fe <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,032	0,014
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na <sup>+</sup>	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
K <sup>+</sup>	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Li <sup>+</sup> <sub>calc</sub>	1,007	1,012	1,033	1,022	1,024	1,016	0,989	1,061	1,026
OH <sup>-</sup> <sub>calc</sub>	0,976	1,000	0,977	0,999	0,986	1,000	1,000	0,998	0,999
F <sup>-</sup>	0,024	0,000	0,023	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl <sup>-</sup>	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001

Примітка. Аналізи виконано на приладі JEOL JXA 8530F (*field emission*) в Інституті наук про Землю Словацької АН, м. Банська-Бистриця. Режим вимірювань: прискорювальна напруга — 15 kV, сила струму — 20 nA, розмір зонда — 3 nm. Оператори — С. Курило, Т. Мікуш (Syomka et al., 2022).

Note. Analyses were carried out on JEOL JXA 8530F (*field emission*) at the Earth Science Institute of the Slovak Academy of Sciences, Banská Bystrica. Operational mode: acceleration voltage — 15 kV probe current — 20 nA, probe size — 3 nm. Analysts: S. Kurylo, T. Mikuš (Syomka et al., 2022).

al., 2005). Симферит утворює зерна червоного, темно-червоного кольору завбільшки 3 мм, дуже рідко кристали — до 0,1 мм, обмежені формами  $c \{001\}$ ,  $b \{010\}$ ,  $t \{110\}$ . Досконала спайність за (010), менш досконала — (100). Хімічний склад, %:  $\text{Li}_2\text{O}$  — 5,45—5,35;  $\text{MgO}$  — 15,78—12,36;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 16,87—17,39;  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  — 9,84—14,83;  $\text{CaO}$  — 0—0,88;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 51,90—51,00; сума — 99,84—101,01. Параметри комірки, нм:  $a = 0,47468$ ,  $b = 1,0101$ ;  $c = 0,58992$ ;  $n_g = 1,712$ — $1,726$ ;  $n_p = 1,690$ — $1,704$ ;  $2V = -54$ — $-60^\circ$ .

Зона пегматиту, яка містить симферит, складена кварцом, олігоклазом, альбітом, мусковітом. У невеликій кількості наявні флогопіт, турмалін, апатит, діопсид, гортоноліт, ільменіт. Локальна концентрація симфериту в альбіт-олігоклазовій зоні обумовлена, ймовірно, глибиною проникнення у приконтактний пегматитовий розплав катіонів магнію, заліза і мангану (Bairakov et al., 2005).

**Висновки.** 1. У надрах України відкрито та з різним ступенем деталізації вивчено такі літієві мінерали:

- силікати: евкриптит, ельбаїт, сподумен, холмквістит, петаліт;
- слюди Li-Fe ізоморфного ряду (стара номенклатура) (сучасна серія мінералів Li-Fe ізоморфного ряду є такою — сидерофіліт — кріофіліт — лепідоліт (трилітійоніт)), а саме: аніт (лепідомелан), сидерофіліт, протолітійоніт, цинвальдит, кріофіліт, лепідоліт;
- крихка слюда і хлорити: маргарит, донбасит, кукейт;
- слюди, типоморфні для лужних комплексів: полілітійоніт, тайніоліт;

- фосфати: трифіліт, літіофіліт, амблігоніт, монтебразит, симферит.

2. Головні рудні мінерали українських родовищ — сподумен і петаліт. За їхнім кількісним співвідношенням рідкіснометалеві пегматити Українського щита поділяються на три типи: 1) сподуменові; 2) сподумен-петалітові; 3) петаліт-сподуменові.

3. Головні рудні мінерали не є першими продуктами кристалізації пегматитового розплаву, тому їхній розподіл у просторі, насамперед ранніх генерацій, наближений до такої закономірності: найбільші концентрації рудних мінералів зосереджені між периферійними зонами і ядром рідкіснометалевих пегматитів.

4. Сподумен і петаліт українських пегматитів, порівняно з аналогічними мінералами великих світових пегматитових родовищ Li (Бікіта в Зімбабве, Бернік-Лейк у Канаді, родовища шпату Південна Дакота США тощо), відрізняються за такими ознаками: 1) істотно меншими середньостатистичними розмірами мінеральних індивідів — сантиметри проти метрів; 2) на загаль більшою ксеноморфністю мінеральних індивідів (з цієї закономірності частково випадають рідкіснометалеві пегматити Кривбасу), відсутністю кристалів-багатогранників, графічне зображення яких із інших пегматитів можна знайти в літературі, наприклад у відомому Атласі В. Гольдшмідта; 3) слабшим проявом ізоморфних заміщень атомів, насамперед  $\text{Li}^+ \leftarrow \text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+} \leftarrow \text{Fe}^{3+}$ ,  $2\text{Al}^{3+} \leftarrow 3\text{Fe}^{2+}$ . Генетичне тлумачення цих відмінностей мінералів буде викладено у одному з чергових оглядів.

## REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

- Bairakov, V.V. (1968), *Reps UkrSSR Acad. Sci., Ser. B*, No. 4, Kyiv, pp. 318-322 [in Ukrainian].  
 [Байраков, В.В. (1968), *Допов. АН УРСР. Сер. Б. № 4*. С. 318—322].
- Bairakov, V.V. (1973), *Reps UkrSSR Acad. Sci., Ser. B*, No. 6, Kyiv, UA, pp. 483-486 [in Ukrainian].  
 [Байраков, В.В. (1973), *Допов. АН УРСР. Сер. Б. № 6*. С. 483—486].
- Bairakov, V.V., Yakubovich, O.V., Simonov, M.A., Borisovsky, S.E. and Zyborova, T.A. (2005), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 27, No. 2, Kyiv, pp. 112-120 [in Russian].  
 [Байраков, В.В., Якубович, О.В., Симонов, М.А., Борисовский, С.Е., Зиборова, Т.А. (2005), *Мінерал. журн.* 27, № 2. С. 112—120.]
- Bazarov, T.Yu., Bakumenko, I.T., Kostyuk, V.P., Panina, L.I., Sobolev, V.S. and Chepurov, A.I. (1975), *Magmatogenic crystallization according to the study of included melts*, Nauka, Novosibirsk [in Russian].  
 [Базаров, Т.Ю., Бакуменко, И.Т., Костюк, В.П., Панина, Л.И., Соболев, В.С., Чепуров, А.И. (1975), *Магматогенная кристаллизация по данным изучения включений расплавов*. Новосибирск: Наука. 232 с.]
- Bespalko, N.A., Donskoy, A.N., Eliseeva, G.D., Kazantseva, A.I., Kozachenko, A.I., Kornienko, T.G., Kotko, A.G., Kuts, V.P., Levkovskaya, N.Yu., Litovchenko, E.I., Mitskevich, B.F., Orsa, V.I., Osadchiy, V.K., Samchuk, A.I., Stad-

- nik, V.A., Tsarovsky, I.D. and Shcherbak, N.P. (1976), *Accessory minerals of the Ukrainian Shield*, Nauk. dumka, Kyiv, 265 p. [in Russian].  
 [Беспалько, Н.А., Донской, А.Н., Елисеєва, Г.Д., Казанцева, А.И., Козаченко, А.И., Корниенко, Т.Г., Котьюко, А.Г., Куц, В.П., Левковская, Н.Ю., Литовченко, Е.И., Мицкевич, Б.Ф., Орс, В.И., Осадчий, В.К., Самчук, А.И., Стадник, В.А., Царовский, И.Д., Щербак, Н.П. (1976), *Акцессорные минералы Украинского щита*. Киев: Наук. думка. 265 с.]
- Eremenko, G.K., Ivanov, B.N., Belykh, N.A., Kuzmenko, A.V. and Makivchuk, O.F. (1996), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 18, No. 1, Kyiv, pp. 48-57 [in Russian].  
 [Еременко, Г.К., Иванов, Б.Н., Белых, Н.А. Кузьменко, А.В., Макивчук, О.Ф. (1996), *Минерал. журн.* 18, № 1. С. 48—57.]
- Galets'kyi, L.S., Zaryts'kyi, A.I. and Knyazev, G.I. (1987), *Geol. Journ. (Ukraine)*, Vol. 47, No. 1, Kyiv, pp. 136-141 [in Russian].  
 [Галецький, Л.С., Зарицький, А.И., Князев, Г.И. (1987), *Геол. журн.* 47, № 1. С. 136—141.]
- Vlasov, K.A. (ed.) (1964), *Geochemistry, mineralogy and genetic types of deposits of rare elements*, Vol. 2, Nauka, Moscow, 829 p. [in Russian].  
 [Власов, К.А. (ред.) (1964), *Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов*. Т. 2. Москва: Наука. 829 с.]
- Ginzburg, A.I. (1983), in: *Geology and genesis of pegmatites*, Nauka, Leningrad, pp. 96-113 [in Russian].  
 [Гинзбург, А.И. (1983), В сб.: *Геология и генезис пегматитов*. Ленинград: Наука. С. 96—113.]
- Grechanovskaya, O.E., Ilchenko, K.O., Vishnevskiy, O.A., Garaschenko, V.B. and Gerasymets, I.M. (2020), *Precambrian: rock association and their ore mineralization, Abstracts Int. Sci. Conf., Kyiv, Septem. 22-24, 2020*, pp. 54-57 [in Ukrainian].  
 [Гречановська, О.Є., Ільченко, К.О., Вишневіський, О.А., Гаращенко, В.Б., Герасимець, І.М. (2020), *Докембрій: породні асоціації та їхня рудоносність: Зб. тез Міжнар. наук. конф. Київ, 22—24 верес. 2020 р.* С. 54—57.]
- Horovoi, A.F. (1987), *Mineralogy and geochemistry of mercury deposits of Donbass*, Higher School, Kyiv [in Russian].  
 [Горовой, А.Ф. (1987), *Минералогия и геохимия ртутных месторождений Донбасса*. Киев: Вища шк. 104 с.]
- Isakov, L.V. (2007), *Fields of granite pegmatites of the Western Azov region*, UkrDGRI, Kyiv, 134 p. [in Ukrainian].  
 [Ісаков, Л.В. (2007), *Поля гранітних пегматитів Західного Приазов'я*. Київ: УкрДГРІ. 134 с.]
- Isakov, L.V. (2009), *Geological and structural regularities of the formation of granite pegmatite fields of the East Ukrainian pegmatite region*, Abstract DrSc diss. geol. of sci., Ivan Franko Lviv Nat. Univ., 40 p. [in Ukrainian].  
 [Ісаков, Л.В. (2009), *Геолого-структурні закономірності формування полів гранітних пегматитів Східноукраїнської пегматитової області: автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка*. 40 с.]
- Kichurchak, V.M. (1988), *Patterns of localization, structure and origin of pegmatites in one of the regions of the Ukrainian Shield*, Abstract diss. cand. geol.-min. sci., Kyiv, 14 p. [in Russian].  
 [Кичурчак, В.М. (1988), *Закономірності локалізації, строєние и происхождение пегматитов в одном из регионов Украинского щита: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук*. Киев. 14 с.]
- Kulchytska, H., Chernysh, D. and Setaya, L. (2022), *Ukrainian nomenclature of minerals*, Akadempriodyka, Kyiv, 547 p. [in Ukrainian].  
 [Кульчицька, Г., Черниш, Д., Сетая, Л. (2022), *Українська номенклатура мінералів*. Київ: Академперіодика. 547 с.]
- Kushev, V.G. (1960), *Mineral. Coll. Lvov. Univ*, No. 4, Lviv, pp. 357-362 [in Russian].  
 [Кушев, В.Г. (1960), *Минерал. сб. Львов. ун-та*. № 4. С. 357—362.]
- Kushev, V.G. (1961), *Reps. UkrSSR Acad. Sci.*, Iss. 138, No. 4, Kyiv, pp. 928-930 [in Russian].  
 [Кушев, В.Г. (1961), *Допов. АН УССР*. Вып. 138. № 4. С. 928—930.]
- Kushev, V.G. and Terentyeva, M.V. (1964), in: *Geology and geochronology of the Precambrian*, Iss. 19, Moscow, Nauka, pp. 25-36 [in Russian].  
 [Кушев, В.Г., Терентьева, М.В. (1964), В сб.: *Геология и геохронология докембрия*. Москва: Наука. Вып. 19. С. 25—36.]
- Lazarenko, E.K., Gershoig, Yu.G., Buchinskaya, N.I., Belevtsev, R.E., Voznyak, D.K., Galaburda, Yu.A., Galiy, S.A., Kvasnitsa, V.N., Kulchitskaya, A.A., Melnik, Yu.P., Melnikov, V.S., Pavlishin, V.I., Pirogov, B.I. and Turkevich, G.I. (1977), *Mineralogy of the Kryvorozh basin*, Nauk. dumka, Kyiv, 542 p. [in Russian].  
 [Лазаренко, Е.К., Гершойг, Ю.Г., Бучинская, Н.И., Белевцев, Р.Е., Возняк, Д.К., Галабурда, Ю.А., Галий, С.А., Квасница, В.Н., Кульчицкая, А.А., Мельник, Ю.П., Мельников, В.С., Павлишин, В.И., Пирогов, Б.И., Туркевич, Г.И. (1977), *Минералогия Криворожского бассейна*. Киев: Наук. думка. 542 с.]
- Lazarenko, E.K., Lavrinenko, L.F., Buchinskaya, N.I., Galiy, S.A., Voznyak, D.K., Galaburda, Yu.A., Zatsikha, B.V., Ivanova, A.V., Kvasnitsa, V.N., Kulchitskaya, A.A., Kuts, V.P., Melnikov, V.S., Pavlishin, V.I. and Turkevich, G.I. (1981), *Mineralogy of the Azov region*, Nauk. dumka, Kyiv, 432 p. [in Russian].

- [Лазаренко, Е.К., Лавриненко, Л.Ф., Бучинская, Н.И., Возняк, Д.К., Галабурда, Ю.А., Зациха, Б.В., Иванова, А.В., Квасница, В.Н., Кульчицкая, А.А., Куц, В.П., Мельников, В.С., Павлишин, В.И., Туркевич, Г.И. (1981), *Минералогия Приазовья*. Киев: Наук. думка. 432 с.]
- Lazarenko, E.K., Panov, B.S. and Pavlishin, V.I. (1975), *Mineralogy of the Donetsk basin*, Nauk. dumka, Kyiv, 502 p. [in Russian].
- [Лазаренко, Е.К., Панов, Б.С., Павлишин, В.И. (1975), *Минералогия Донецкого бассейна*. Киев: Наук. думка. 502 с.]
- London, D. (1984), *Amer. Mineral.*, Vol. 69, pp. 995-1004. [http://www.minsocam.org/ammin/AM69/AM69\\_995.pdf](http://www.minsocam.org/ammin/AM69/AM69_995.pdf)
- Lytovchenko, E.I. (1966), in: *Minerals of Ukraine. Abstracts of reports of young geologists of Ukraine*, Nauk. dumka, Kyiv, pp. 184-186 [in Russian].
- [Литовченко, Е.И. (1966), В сб.: *Полезные ископаемые Украины. Тез. докл. молодых геологов Украины*. Киев: Наук. думка. С. 184—186.]
- Lytovchenko, E.I. (1976), *Granitic pegmatites of the Western Azov region*, Nauk. dumka, Kyiv, 130 p. [in Russian].
- [Литовченко, Е.И. (1976), *Гранитные пегматиты Западного Приазовья*. Киев: Наук. думка. 130 с.]
- Matkovsky, O., Pavlyshyn, V. and Slyvko, Ye. (2009), *Basics of mineralogy of Ukraine*, Textbook, Publ. center Ivan Franko Lviv Univ., 856 p. [in Ukrainian].
- [Матковський, О., Павлишин, В., Сливко, Є. (2009). *Основи мінералогії України*. Підручник. Львів: Вид. центр Львів. нац. ун-ту ім. Івана Франка. 856 с.]
- Melnikov, V.S. and Pavlyshyn, V.I. (2002), *Mineral. Coll. Lviv Univ.*, No. 52, Iss. 2, pp. 47-56 [in Ukrainian].
- [Мельников, В.С., Павлишин, В.И. (2002), *Мінерал. зб. Львів. ун-ту*. № 52, вип. 2. С. 47—56.]
- Minerals* (1981), Directory. Vol. III, Iss. 2. *Silicates with linear groups, rings and chains of silicon-oxygen tetrahedral*, Nauka, Moscow, 614 p. [in Russian].
- [*Минералы* (1981), Справоч. Т. III, вып. 2. *Силикаты с линейными группами, кольцами и цепочками кремнекислородных тетраэдров*. Москва: Наука. 614 с.]
- Minerals* (1992), Directory. Vol. IV, Iss. 2. *Layered silicates*, Nauka, Moscow, 662 p. [in Russian].
- [*Минералы*. (1992), Справоч. Т. IV, вып. 2. *Слоистые силикаты*. Москва: Наука. 662 с.]
- Nechaev, S.V., Makivchuk, O.F., Belykh, N.A. et al. (1991), *Geol. Journ. (Ukraine)*, No. 4, Kyiv, pp. 119-123 [in Russian].
- [Нечаев, С.В., Макивчук, О.Ф., Белых, Н.А. и др. (1991), *Геол. журн.* № 4. С. 119—123.]
- Pavlyshyn, V.I., Belykh, N.A., Vozniak, D.K. et al. (1996), *Abstract of reports: "Regularities in the evolution of the Earth's crust"*, Vol. 2, St. Petersburg, p. 135 [in Russian].
- [Павлишин, В.И., Белых, Н.А., Возняк, Д.К. и др. (1996), *Тез. докл.: "Закономерности эволюции земной коры"*. Санкт-Петербург. Т. 2. С. 135.]
- Pavlyshyn, V.I., Dovgiy, S.O. and Vozniak, D.K. (2004), in: *Mineralogy in the entire space of this word*. St. Petersburg, pp. 11-12 [in Russian].
- [Павлишин, В.И., Довгий, С.О., Возняк, Д.К. (2004), В сб.: *Минералогия во всем пространстве этого слова*. Санкт-Петербург. С. 11—12].
- Pavlyshyn, V.I. and Vovk, P.K. (1971), *Mineral. Coll. Lvov Univ.*, No. 25, Iss. 1, pp. 27-37 [in Russian].
- [Павлишин, В.И., Вовк, П.К. (1971), *Минерал. сб. Львов. гос. ун-та*. № 25, вып. 1. С. 27—37.]
- Pavlyshyn, V.I. and Cherniyenko, N.M. (2023), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 45, No. 1, Kyiv, pp. 3-20 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.01.003>
- [Павлишин, В.И., Чернієнко, Н.М. (2023), *Мінерал. журн.* 45, № 1. С. 3—20.]
- Redder, E. (1987), *Fluid inclusions in minerals*, Vol. 1, Mir, Moscow, 558 p. [in Russian].
- [Реддер, Э. (1987), *Флюидные включения в минералах*. Москва: Мир, Т. 1. 558 с.]
- Rozanov, K.I. and Lavrinenko, L.F. (1976), in: *Fields of rare metal pegmatites and granite pegmatites*, Nauka, Moscow, pp. 30-42 [in Russian].
- [Розанов, К.И., Лавриненко, Л.Ф. (1976), В сб.: *Поля редкометальных пегматитов гранитных пегматитов*. Москва: Наука. С. 30—42.]
- Rozanov, K.I. and Lavrinenko, L.F. (1979), *Rare-metal pegmatites of Ukraine*, Nauka, Moscow, 140 p. [in Russian].
- [Розанов, К.И., Лавриненко, Л.Ф. (1979), *Редкометальные пегматиты Украины*. Москва: Наука. 140 с.]
- Shavlo, S.G., Kirikylitsa, S.I. and Knyazev, G.I. (1984), *Granite pegmatites of Ukraine*, Nauk. dumka, Kyiv, 264 p. [in Russian].
- [Шавло, С.Г., Кирикилица, С.И., Князев, Г.И. (1984), *Гранитные пегматиты Украины*. Киев: Наук. думка. 264 с.]
- Shcherbak, N.P., Pavlyshyn, V.I., Lytvyn, A.L. et al. (1990), *Minerals of Ukraine*. Brief reference book. Nauk. dumka, Kyiv, 408 p. [in Russian].
- [Шчербак, Н.П., Павлишин, В.И., Литвин, А.Л. и др. (1990), *Минералы Украины*. Краткий справ. Киев: Наук. думка. 408 с.]
- Sobolev, V.S. and Vakumenko, I.T. (1979), *Problems of physical and chemical petrology (metamorphism, mathematics)*, Vol. 1, Nauka, Moscow, pp. 204-224 [in Russian].
- [Соболев, В.С., Бакуменко, И.Т. (1979), *Проблемы физико-химической петрологии (метаморфизм, математика)*. Москва: Наука. Т. 1. С. 204—224.]

- Syomka, V.O., Ponomarenko, O.M., Stepanyuk, L.M., Bondarenko, S.M., Sukach, V.V., Kurylo, S.I., Donskyi, M.O. (2022), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 44, No. 4, Kyiv, pp. 102-123. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.04.102>  
[Сьомка, В.О., Пономаренко, О.М., Степанюк, Л.М., Бондаренко, С.М., Сукач, В.В., Курило, С.І., Донський, М.О. (2022), *Мінерал. журн.*, 44, № 4. С. 102—123.]
- Trufanova, L.G. and Glyuk, D.S. (1986), *Conditions for the formation of lithium minerals*, Nauka, SO, Novosibirsk, 151 p. [in Russian].  
[Труфанова, Л.Г., Глюк, Д.С. (1986), *Условия образования литиевых минералов*. Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 151 с.]
- Voynovskiy, A.S., Gurskiy, D.S., Kalinin, V.I. et al. (2000), *Mineral. Resources Ukraine*, No. 3, Kyiv, pp. 6-10 [in Ukrainian].  
[Войновський, А.С., Гурський, Д.С., Калінін, В.І. та ін. (2000), *Мінеральні ресурси України*. № 3. С. 6—10.]
- Voznyak, D.K., Bugaenko, V.M., Galaburda, Yu.A., Melnikov, V.S., Pavlyshyn, V.I., Bondarenko, S.M. and Syomka, V.O. (2000), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 22, No. 1, Kyiv, pp. 21-41 [in Ukrainian].  
[Возняк, Д.К., Бугаєнко, В.М., Галабурда, Ю.А., Мельников, В.С., Павлишин, В.І., Бондаренко, С.М., Сьомка, В.О. (2000), *Мінерал. журн.* 22, № 1. С. 21—41.]
- Yurk, Yu.Yu., Marchenko, Ye.Ya. and Chashka, O.I. (1970), *Reps UkrSSR Acad. Sci., Ser. B*, No. 4, Kyiv, pp. 225-227 [in Ukrainian].  
[Юрк, Ю.Ю., Марченко, Є.Я., Чашка, О.І. (1970), *Допов. АН УРСР. Сер. Б*, № 4. С. 225—227.]
- Zatsikha, B.V., Boychuk, M.D. and Bochkov, O.O. (1969), *Geol. Journ.*, Vol. 2, Kyiv, pp. 83-67 [in Ukrainian].  
[Заціха, Б.В., Бойчук, М.Д., Бочков, О.О. (1969), *Геол. журн.* Вип. 2. С. 83—67.]

Received 27.09.2023

V.I. Pavlyshyn, DrSc (Geology, Mineralogy), Prof.,  
Academician of the Higher School of Ukraine, Head of Department  
E-mail: V.I.Pavlyshyn@gmail.com; ResearcherID: D-6558-2019  
N.M. Cherniyenko, PhD (Geology), Senior Research Fellow  
E-mail: nata.cherniyenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1831-234X>  
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

## LITHIUM IN THE SUBSOIL OF UKRAINE

## Part 5. Mineralogy of lithium-bearing objects: lithium minerals

The fifth part of the publication "Lithium in the depths of Ukraine" is devoted to the mineralogy of lithium — silicates and phosphates, but without lithium micas, which, together with other micas, are described in Part 4. Here, the following lithium minerals are characterized in varying detail (the Li<sub>2</sub>O content of the mineral (mas. %) is given in parentheses after the formula): eucryptite — LiAl[SiO<sub>4</sub>] (11.80), elbaite Na(Al,Li)<sub>3</sub>Al<sub>6</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(F,OH)<sub>4</sub>[Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>] (1.1—1.4); spodumene — LiAl[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] (5.9—7.6); holmquistite Li<sub>3</sub>Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>[Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>] (2.1—3.5); petalite — Li[AlSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub>] (2.0—4.1); margarite — CaAl<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>[Si<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>10</sub>](Li,Be) (1.82); donbasite — Al<sub>2</sub>[(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub>·Al<sub>2,33</sub>(OH)<sub>6</sub> (0.1—3.0); cukeite (Al,Li)<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>[(SiAl)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>8</sub> (0.8—4.3); triphillite — Li(Fe<sup>2+</sup>,Mn<sup>2+</sup>)[PO<sub>4</sub>] (5.51—8.62); lithiophyllite — Li(Mn<sup>2+</sup>,Fe<sup>2+</sup>)[PO<sub>4</sub>] (5.50—8.60); amblygonite LiAl(F)[PO<sub>4</sub>] (6.4—9.0); montebrasite — LiAl(OH)[PO<sub>4</sub>] (10.7—11.1); simferite — Li(Mg,Fe<sup>3+</sup>,Mn<sup>3+</sup>)<sub>2,0</sub>[PO<sub>4</sub>] (5.35—5.45). The description of these minerals is supplemented by a summary table of the mineral composition of rare metal pegmatites, selected according to the quantitative ratio of the main ore minerals — spodumene and petalite. The latter are not the first phases of crystallization of the pegmatite melt, so their distribution in space is close to the following pattern: the highest content of ore minerals is concentrated between the peripheral zones and cores of pegmatites. Spodumene and petalite of Ukrainian pegmatites, in comparison with similar minerals of large global lithium deposits, differ in the following features: 1) smaller sizes of mineral individuals; 2) greater xenomorphism of mineral individuals; 3) a weaker manifestation of isomorphic substitutions of atoms.

**Keywords:** lithium, spodumene, petalite, eucryptite, elbaite, holmquistite, margarite, donbasite, cukeite, triphyllite, amblygonite, sympherite, genesis of ore minerals.