

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.02.032>
УДК 549.493 (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>

І.М. Луньова, канд. геол. наук, наук. співроб.
E-mail: gerasimetsirina@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4670-0216>
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, просп. Акад. Палладіна, 34

ЛІТІЙ У НАДРАХ УКРАЇНИ

Частина 2. Мінералогія літієносних об'єктів: кварц

Друга частина публікації "Літій у надрах України" висвітлює мінералогію породоутворювального кварцу з літієносних об'єктів України: камерних пегматитів Коростенського плутону, Пержанського рудного вузла, рідкіснометалевих гранітів і пегматитів Приазов'я, рідкіснометалевих пегматитів Інгульського мегаблоку, гідротермалітів Нагольного кряжу (Донецький басейн). У всіх цих об'єктах кварц охарактеризований здебільшого під кутом зору його типоморфного значення. Зроблено висновок: габітус кристалів кварцу має типоморфне значення, але не може бути описаний для всіх генетичних ситуацій однією схемою еволюції простих форм, тому основна типоморфна інформація "захована" всередині кристалів кварцу. Найбільше значення мають точкові дефекти його кристалічної структури, передусім найпоширеніші в мінералі Al-O⁻ центри та водневі дефекти. Вони найкраще вивчені в кристалах камерних пегматитів і гідротермальних жил Нагольного кряжу. З'ясована залежність цих дефектів від дії зовнішніх чинників. Зокрема, у камерних пегматитах, на відміну від кристалієносних жил, має місце парадокс: зі зниженням температури росту кварцу, яке супроводжується підвищенням в середовищі мінералоутворення концентрації (активності) Li, зменшується кількість літієво-водневих дефектів у пізніх зонах кварцу. Передбачається, що в продуктивних пегматитах це пов'язано з конкуруючою дією літієвих слюд — основних поглиначів Li, роль яких зростала зі зниженням температури розчинів і збільшенням їхньої рН. У кварці рідкіснометалевих пегматитів встановлена висока концентрація Al-Li центрів, яка сягає максимуму у кварці центральних зон і тому є критерієм ступеня диференціації пегматитів. Незвичними є люмінесцентні, як і інші, властивості кварцу з петалітових пегматитів Інгульського мегаблоку, спричинені накладеними метасоматичними процесами та метаморфізмом.

Ключові слова: кварц, літієва мінералізація, літієносні об'єкти, точкові дефекти кварцу, Al-O⁻ центри, водневі дефекти, типоморфізм мінералів.

Вступ. Широку тему "Мінералогія літієносних об'єктів" ми вирішили розділити на декілька частин, тому мінералогію породоутворювального кварцу висвітлюємо у цій статті, а польовим шпатам і слюдам, які

асоціюють із літієвою мінералізацією, і власне мінералогії літію будуть присвячені наступні матеріали.

Нині немає потреби обґрунтовувати актуальність знання типоморфізму породоутво-

Цитування: Павлишин В.І., Чернієнко Н.М., Луньова І.М. Літій у надрах України. Частина 2. Мінералогія літієносних об'єктів: кварц. *Мінерал. журн.* 2023. 45, № 2. С. 32—48. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.02.032>

© Видавець ВД "Академперіодика" НАН України, 2023. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

рювальних мінералів для вирішення генетичних і прикладних завдань, у нашому випадку пов'язаних із мінералогією, геохімією, практичними аспектами оцінювання відомих і пошуку майбутніх родовищ Li. Ці шляхетні завдання не можуть бути ефективно виконані без фундаментальних знань, які напрацьовані й продовжують народжуватись у процесі вивчення мінералогії всюдисущого кварцу.

Мета статті — проаналізувати та систематизувати розкиданий літературний і наш матеріал з мінералогії кварцу, доповнити його новими даними і на нових засадах створити (це робиться уперше) оригінальне компактне узагальнення з мінералогії, передусім типоморфізму кварцу літієносних об'єктів України.

Продовжимо висвітлювати тему за схемою, наведеною в частині 1 (*Мінерал. журн.* № 1, 2023), яка передбачає таку послідовність викладу мінералогічного матеріалу: пегматити Коростенського плутону, Пержанський рудний вузол, рідкіснометалеві граніти та пегматити Приазов'я, рідкіснометалеві пегматити Інгульського мегаблоку, гідротермаліти Нагольного кряжу. Тут мова йде про літієносні об'єкти України, які виокремились насамперед за такими ознаками: підвищеним вмістом Li (зазвичай у 10 і більше разів, порівняно з його кларком) і наявністю мінералів літію.

Кварц. Це особливий мінерал у світі й у Коростенському плутоні [5, 16, 17, 25, 42], король неорганічного світу, мінерал-революціонер: *"Таким є кварц, цей справді благородний мінерал, такий простий, повсюдний і звичайний, такий дивовижний і незвичайний за різноманітністю своїх властивостей, такий могутній і вірний друг і слуга людини"* (переклад авт.) [40], золотими літерами вписаний в українську та світову історію каміння, науки, техніки, релігії [42, 44], єдиний мінерал, якому присвячено декілька потужних спеціальних наукових форумів, зокрема міжнародний [16, 39].

В обширній невиправдано не узагальненій мінералогії кварцу України є чимало інформації, яка стосується теми цієї статті, але вона не систематизована, нерідко суперечлива. В силу обставин висвітлюємо на нових

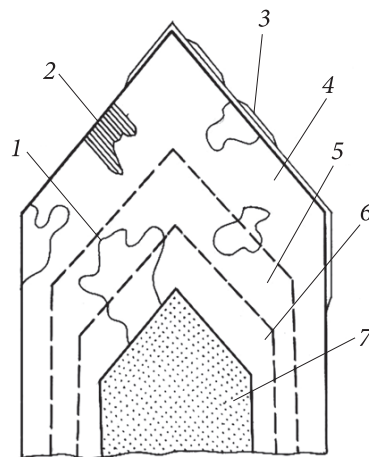


Рис. 1. Узагальнена схема анатомії кристала-гіганта кварцу з камерних пегматитів Волині: 1 — контур дофінейського двійника; 2 — контур бразильського двійника; 3 — безбарвний кварц з наростами аметисту; 4 — моріон; 5 — димчастий кварц; 6 — гірський кришталь; 7 — стільниковий кварц [28]

Fig. 1. Generalized diagram of the anatomy of a quartz giant crystal from the Volyn chamber pegmatites: 1 — contour of Dauphine twin; 2 — contour of Brazil twin; 3 — colorless quartz with amethyst growths; 4 — morion; 5 — smoky quartz; 6 — rock crystal; 7 — honeycomb quartz [28]

засадах здебільшого два актуальні питання — геохіміко-генетичний зв'язок SiO_2 і Li, зафіксований відповідними дефектами в конституції кварцу, і типоморфні ознаки кварцу.

У **Коростенському плутоні** кварц представлений зернистими агрегатами різного розміру, іхтіогліптами і кристалами-багатогранниками. Далі в центрі уваги буде кварц камерних пегматитів.

Особливе місце в мінеральному царстві посідають великі та гігантські (мегамінерали, за термінологією М.П. Юшкіна) кристали кварцу (найбільший з них важив 20 т) із камерних пегматитів Волині [22], які не збереглись, оскільки були розтрощені й використані для розвитку воєнної й космічної галузей СРСР.

З давніх-давен вчених і практиків цікавило питання — як і чому в природі росли кристали-гіганти? Стисла відповідь така: камерні пегматити приурочені загалом до невеликих глибин (1,5—3,5 км) земної кори, тому мінералоутворювальні флюїди в період росту кристалів у порожнинах вільного росту мають спільні риси еволюції. Унаслідок зниження температури й розряджання тек-

Рис. 2. Морфологія дофінейських двійників кварцу з камерних пегматитів Волині (фото В.В. Кушеєва, тлумачення авторів): *a* — секторіальний тип; *b* — плямистий тип; на периферії проглядаються бразильські двійники. Кристали програвлено HF

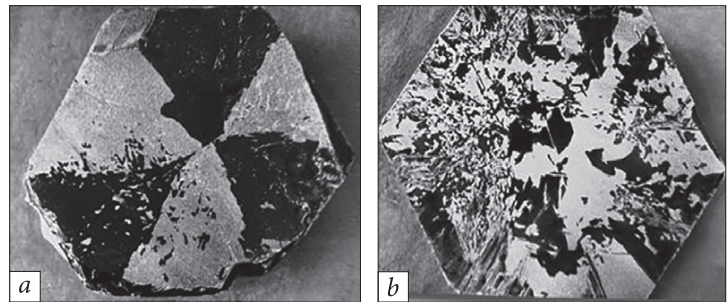


Fig. 2. Morphology of Dauphine quartz twins from the Volyn chamber pegmatites (photo by V.V. Kusheiev, author's interpretation): *a* — sectorial type; *b* — spotted type; Brazil twins can be seen on the periphery. The crystals were etched with HF

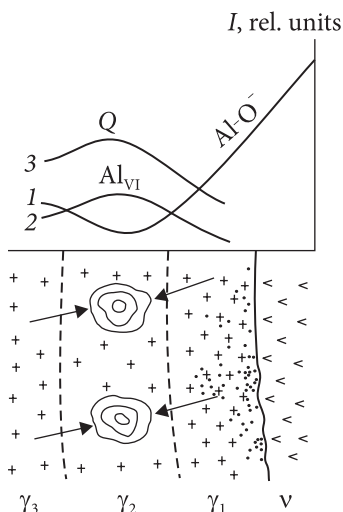


Рис. 3. Схема змін типоморфних ознак кварцу на вертикальному розрізі пегматитоносної ділянки Волинського пегматитового району: *v* — основні породи, γ_1 — гіпідіо- та алотріоморфнозернисті граніти з різним ступенем гібридизації (показано крапом), γ_2 — граніти пегматитоносні аплітової структури, γ_3 — пегматоїдні граніти з міароловими порожнинами; 1 — зміна вмісту Al-O⁻ центрів у кварці порід, які показані на розрізі; 2 — зміна глиноземистості (al_{VI}) біотитів; 3 — зміна ідіоморфізму кварцу (*q*). На вертикальній осі в умовному масштабі показано збільшення Al-O⁻ центрів, al_{VI} і ступінь ідіоморфізму кварцу, стрілками — напрям руху летких компонентів, колами — місця зародження пегматитового розплаву та пегматитів

Fig. 3. Scheme of changes in typomorphic features of quartz on a vertical section of the pegmatite-bearing section of the Volyn Pegmatite District. *v* — basic rocks, γ_1 — hypidite- and allotriomorphic-grained granites with different degrees of hybridization (shown by a dot), γ_2 — pegmatite-bearing granites of aplite structure, γ_3 — pegmatoid granites with miarolitic cavities; 1 — change in the content of Al-O⁻ centers in the quartz of the rocks shown in the section; 2 — change in alumina content (al_{VI}) of biotites; 3 — change of quartz idiomorphism (*q*). On the vertical axis, on a conventional scale, the increase of Al-O⁻ centers, al_{VI} and the degree of quartz idiomorphism are shown, arrows indicate the direction of movement of volatile components, circles indicate the nucleation sites of pegmatite melt and pegmatites

тональних динамічних напружень збільшується пористість і проникність гранітів і порід, що вміщують пегматити. Їхнє збільшення зменшує ступінь герметичності камер, що зумовлює зміну гідродинамічного стану мінералоутворювальної системи: вона із закритої через перехідну стає відкритою. Тобто відбувається закономірний перехід флюїдного тиску від літостатичного через проміжний до гідростатичного. Ріст великих і гігантських кристалів відбувається за умов тривалого стану мінералоутворювальної системи, *PT* параметри якої близькі до літостатичних або дещо менші. Такі умови можуть виникнути під час росту кристалів у потоці мінералоутворювального водного флюїду (H₂O, CO₂, F та ін.) [6].

Типоморфне значення габітусу кристалів кварцу в камерних пегматитах остаточно не

з'ясовано: "Габітус кристала кварцу залежить від умов, що існують у процесі кристалізації, проте ні експериментальні дані, ні особливості знаходження кварцу в природі не дають змоги поки хоч якось відповісти на це питання" (переклад авт.) [8]. Висновок такий [28]: а) габітус кристалів кварцу має типоморфне значення, але не може бути описаний для всіх генетичних ситуацій однією простою схемою еволюції простих форм; б) основна типоморфна інформація "захована" всередині кристалів кварцу, тобто в їхній анатомії.

Отже, заглянемо всередину кристалів кварцу. Тут ми побачимо гетерогенну зональну (рис. 1), інколи зонально-секторальну будову, зазвичай ускладнену дофінейськими та бразильськими двійниками (рис. 2). Така картина неодноразово описана в літературі

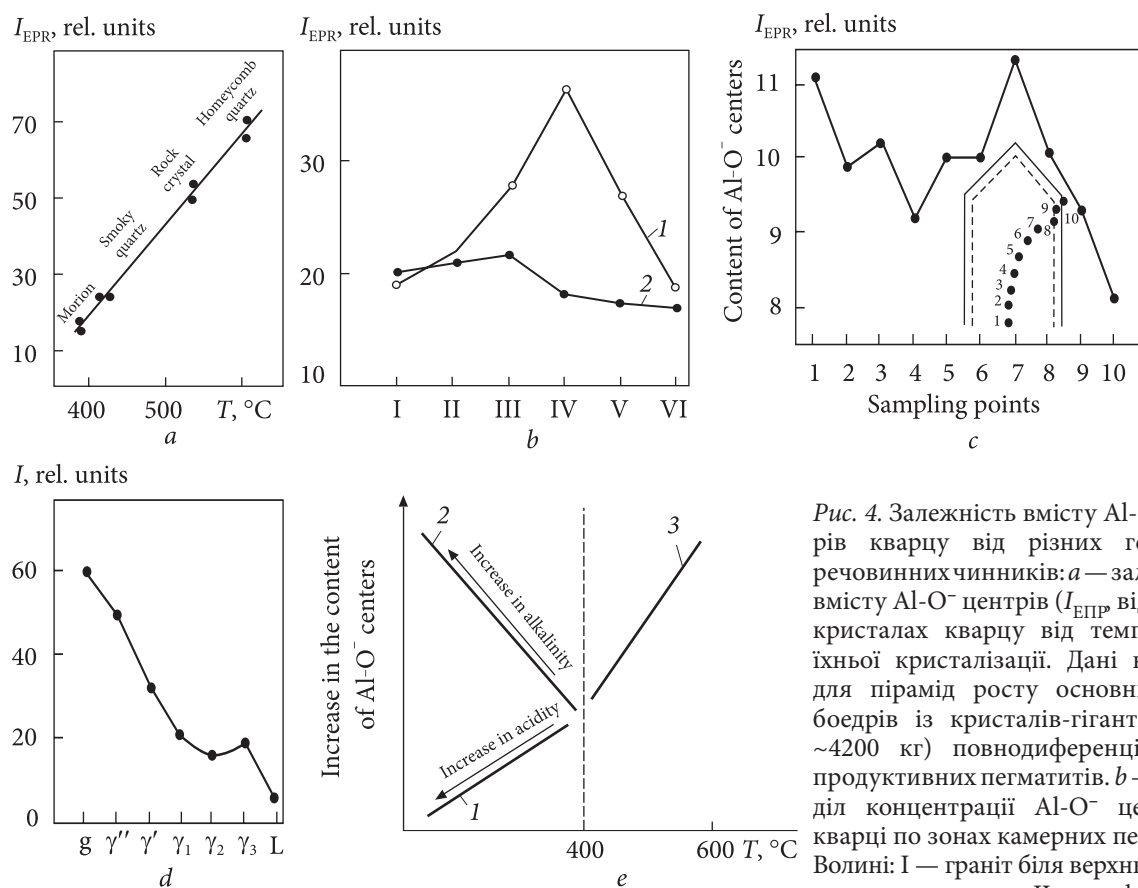


Рис. 4. Залежність вмісту Al-O⁻ центрів кварцу від різних генетико-речовинних чинників: *a* — залежність вмісту Al-O⁻ центрів (I_{EPR} відн. од.) у кристалах кварцу від температури їхньої кристалізації. Дані наведено для пірамід росту основних ромбоєдрів із кристалів-гігантів (маса ~4200 кг) повнодиференційованих продуктивних пегматитів. *b* — розподіл концентрації Al-O⁻ центрів у кварці по зонах камерних пегматитів Волині: I — граніт біля верхнього контакту з пегматитом; II — графічна зона над заноришем; III — пегматоїдна зона над заноришем; IV — кварцова зона; V — різноструктурні утворення у нижній частині пегматитів; VI — змінений граніт під пегматитом; *пегматити*: 1 — неповнодиференційований; 2 — повнодиференційований; *c* — зміна вмісту Al-O⁻ центрів у процесі росту кристала-гіганта (маса 2900 кг) із непродуктивного пегматиту. Пунктирна лінія на розрізі кристала розмежовує гірський кришталь і димчастий кварц (периферія кристала); *d* — зміна концентрації Al-O⁻ центрів у кварці залежно від кремнекислотності порід (Коростенський плутон): *g* — габро; γ_1^{II} — граніт γ_1 — гібридизований поблизу габро; γ_1^I — граніт γ_1 дещо віддалений від габро; γ_1 — граніт слабогібридизований; γ_2 — граніт пегматитовмісний; γ_3 — граніт порфіроподібний; L — граніт лізниківський; *e* — тенденції зміни вмісту Al-O⁻ центрів у кристалах кварцу: 1 — гірський кришталь, цитрин, аметист з камерних пегматитів і гідротермальних жил; 2 — кристали з гідротермальних жил і низькотемпературних кварцових гнізд у карбонатних породах Донбасу; 3 — зональні кристали-гіганти із повнодиференційованих камерних пегматитів [28]

зона над заноришем; IV — кварцова зона; V — різноструктурні утворення у нижній частині пегматитів; VI — змінений граніт під пегматитом; *пегматити*: 1 — неповнодиференційований; 2 — повнодиференційований; *c* — зміна вмісту Al-O⁻ центрів у процесі росту кристала-гіганта (маса 2900 кг) із непродуктивного пегматиту. Пунктирна лінія на розрізі кристала розмежовує гірський кришталь і димчастий кварц (периферія кристала); *d* — зміна концентрації Al-O⁻ центрів у кварці залежно від кремнекислотності порід (Коростенський плутон): *g* — габро; γ_1^{II} — граніт γ_1 — гібридизований поблизу габро; γ_1^I — граніт γ_1 дещо віддалений від габро; γ_1 — граніт слабогібридизований; γ_2 — граніт пегматитовмісний; γ_3 — граніт порфіроподібний; L — граніт лізниківський; *e* — тенденції зміни вмісту Al-O⁻ центрів у кристалах кварцу: 1 — гірський кришталь, цитрин, аметист з камерних пегматитів і гідротермальних жил; 2 — кристали з гідротермальних жил і низькотемпературних кварцових гнізд у карбонатних породах Донбасу; 3 — зональні кристали-гіганти із повнодиференційованих камерних пегматитів [28]

Fig. 4. Dependence of the content of Al-O⁻ centers of quartz on various genetic and material factors: *a* — dependence of the content of Al-O⁻ centers (I_{EPR} , relative units) in quartz crystals on their crystallization temperature. The data are given for the growth pyramids of the main rhombohedrons from giant crystals (mass ~4200 kg) of fully differentiated productive pegmatites. *b* — distribution of the concentration of Al-O⁻ centers in quartz in the zones of chamber pegmatites of the Volyn: I — granite near the upper contact with the pegmatite; II — the graphic zone above the zanorush; III — pegmatoid zone above the zanorich; IV — quartz zone; V — various structural formations in the lower part of pegmatites; VI — altered granite under pegmatite; *pegmatites*: 1 — incompletely differentiated; 2 — fully differentiated; *c* — change in the content of Al-O⁻ centers during the growth of a giant crystal (mass 2900 kg) from an unproductive pegmatite. The dotted line on the crystal section separates rock crystal and smoky quartz (periphery of the crystal); *d* — change in the concentration of Al-O⁻ centers in quartz depending on the silicic acidity of the rocks (Korostensky pluton): *g* — gabbro; γ_1^{II} — hybridized granite γ_1 near gabbro; γ_1^I — is somewhat distant granite γ_1 from the gabbro; γ_1 — weakly hybridized granite; γ_2 — pegmatite-bearing granite; γ_3 — porphyry-like granite; L — Lizniki granite; *e* — trends in the content of Al-O⁻ centers in quartz crystals: 1 — rock crystal, citrine, amethyst from chamber pegmatites and hydrothermal veins; 2 — crystals from hydrothermal veins and low-temperature quartz nests in carbonate rocks of Donbas; 3 — zonal giant crystals from fully differentiated chamber pegmatites [28]

[8, 17]. Ми звертаємо увагу на типоморфне значення дофінейських двійників (рис. 2): секторальний тип — стабільні, плямистий — нестабільні умови росту.

Літературні дані й наш досвід засвідчили, що для глибшого з'ясування типоморфізму кварцу нині найбільше значення мають точкові дефекти його кристалічної структури, передусім найпоширеніші в мінералі Al-O⁻ центри [4, 14, 28, 32—34, 36]. Реалізуючи наше завдання, ми зіставили та розтлумачили зміну вмісту Al-O⁻ центрів у кварці у зв'язку з його ідіоморфізмом, вмістом Al в сингенетичних слюдах, належністю до певного типу порід (рис. 3), температурою кристалізації, продуктивністю пегматитів, кремнекислотністю порід, належністю кварцу до конкретних зон камерних пегматитів, режимом кислотності-лужності кварцутворювальних розчинів (рис. 4).

Аналіз рис. 3 і 4, літературних і наших даних призвів до таких висновків:

1. У магматитах варіації вмісту Al-O⁻ центрів віддзеркалюють здебільшого кислотність-лужність кварцутворювального середовища (пряма залежність від pH), вміст легких компонентів (зворотна) і швидкість кристалізації (зворотна).

2. У Коростенському багатопазовому плутоні мінімальна концентрація Al-O⁻ центрів припадає на кварц гранітів, які викристалізувались із магми з підвищеним вмістом легких компонентів. Такі граніти зазвичай рудоносні.

3. У камерних пегматитах виявлено два основні типи розподілу Al-O⁻ центрів у їхтіогліптах і зернистих агрегатах: а) із поступовим нарощуванням концентрації від ранніх до пізніх генерацій; б) із приблизно однаковим рівнем значень по всьому зрізу. Формування пегматитів із першим типом розподілу здійснювалось переважно протягом магматичної стадії, з другим — відрізнялось інтенсивним проявом ще післямагматичних процесів.

4. В гідротермальних умовах збільшення pH сприяє збільшенню концентрації Al в кристалах, збільшення кислотності — зменшенню його вмісту. Орієнтовно в інтервалі 600—400 °C ступінь заміщення Si ← Al в кристалах кварцу корелює з температурою

кристалізації (пряма залежність). Відхилення від цієї залежності — ознака порушення еволюційного мінералоутворення в занориші.

5. Досліджено типи і концентрації парамагнітних центрів у зональному та інших кристалах кварцу з пегматитових тіл. З'ясовано, що концентрації електронних E₁'-центрів і діркових O₂³⁻-центрів відображають температуру кристалізації кварцу, pH і хімічний склад мінералоутворювального флюїду. Виявлено, що між концентраціями електронних і діркових центрів по зонах кристала кварцу є кореляційні залежності, які розрізняються для α- і β-кварцу [14].

Водночас зауважимо, що у нашій практиці траплялись випадки, коли радіоспектроскопічні дані для кварцу було складно інтерпретувати. Можна говорити лише про найзагальніші тенденції розподілу електронно-діркових центрів із частими відхиленнями у конкретних зразках.

Наприклад, на діаграмі "Al-O⁻ — O₂³⁻ центри" фігуративні точки утворюють досить широке поле, витягнуте уздовж вертикальної осі (Al-O⁻ центри). У його нижній частині концентруються точки, які відповідають топазовим пегматитам, у середній — продуктивні тіла з кварцом, у верхній — непродуктивні неповнодиференційовані пегматити. Однак у цій емпіричній закономірності невеликий інтервал середніх значень і велика дисперсія, які не відкривають можливість ефективно використовувати цю закономірність для оцінки камерних пегматитів.

Ще один тип генетично інформативних точкових дефектів кварцу — водневі, які досліджували здебільшого двома методами — ІЧ-спектроскопії й протонного магнітного резонансу.

Спочатку два застереження: 1) надалі будемо використовувати не ІЧ-спектри, а коефіцієнти поглинання основних смуг поглинання ІЧ-спектрів кристалів кварцу [31]; 2) інтерпретація результатів ІЧ-дослідження здійснюватиметься з урахуванням даних А. Каца [43] про кислотне походження водню в кварці. Наведені ілюстрації (рис. 5) і новітні дослідження дають змогу зробити такі висновки:

1. Установлена зворотно пропорційна залежність між величиною pH і значенням

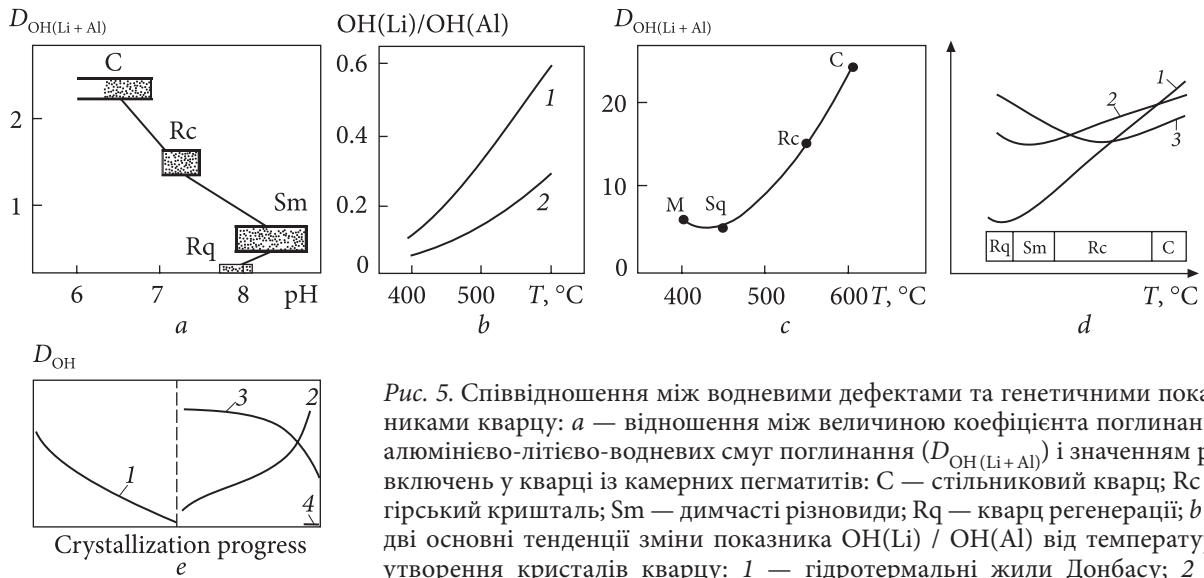


Рис. 5. Співвідношення між водневими дефектами та генетичними показниками кварцу: *a* — відношення між величиною коефіцієнта поглинання алюмінієво-літієво-водневих смуг поглинання ($D_{\text{OH(Li+Al)}}$) і значенням pH включень у кварці із камерних пегматитів: C — стільниковий кварц; Rc — гірський кришталь; Sm — димчасті різновиди; Rq — кварц регенерації; *b* — дві основні тенденції зміни показника $\text{OH(Li)} / \text{OH(Al)}$ від температури утворення кристалів кварцу: 1 — гідротермальні жили Донбасу; 2 — камерні пегматити Волині; *c*, *d* — залежність коефіцієнта поглинання

алюмінієво-літієво-водневих смуг ($D_{\text{OH(Li+Al)}}$) від температури утворення кристалів кварцу (T , °C): *c* — у процесі росту зонального кристала-гіганта камерних пегматитів Волині (M — моріон, Sq — димчастий кварц, Rc — гірський кришталь; C — стільниковий кварц); *d* — у процесі формування кристалів із пегматитів різної продуктивності (Rq — кварц регенерації; Sm — димчасті різновиди; Rc — гірський кришталь; C — стільниковий кварц; 1 — продуктивні пегматити; 2 — низькопродуктивні; 3 — непродуктивні); *e* — узагальнена схема зміни концентрації H^+ (виражений через коефіцієнт поглинання OH-смуг на ІЧ-спектрах) у процесі росту кристалів кварцу (1 — в камерних пегматитах (орієнтовно в інтервалі 600—400 °C); в гідротермальних жилах: 2 — ймовірно післямагматичного походження; 3 — Донецького басейну; 4 — утворених у вуглеводневому середовищі [28]

Fig. 5. Correlation between hydrogen defects and genetic indicators of quartz: *a* — the ratio between the value of the absorption coefficient of aluminum-lithium-hydrogen absorption bands ($D_{\text{OH(Li+Al)}}$) and the pH value of inclusions in quartz from chamber pegmatites: C — cellular quartz; Rc — rock crystal; Sm — smoky varieties; Rq — regeneration quartz; *b* — two main trends in the change of the $\text{OH(Li)} / \text{OH(Al)}$ index depending on the temperature of quartz crystal formation: 1 — hydrothermal veins of Donbas; 2 — the Volyn chamber pegmatites; *c*, *d* — dependence of the absorption coefficient of aluminum-lithium-hydrogen bands ($D_{\text{OH(Li+Al)}}$) on the temperature of quartz crystals formation (T , °C): *c* — in the process of growth of a zonal giant crystal of the Volyn chambered pegmatites (M — morion, Sq — smoky quartz, Rc — rock crystal; C — cellular quartz); *d* — in the process of crystal formation from pegmatites of different productivity (Rq — regeneration quartz; Sm — smoky varieties; Rc — rock crystal; C — cellular quartz; 1 — productive pegmatites; 2 — low-productive; 3 — non-productive); *e* — generalized scheme of changes in H^+ concentration (expressed in terms of the absorption coefficient of OH bands on IR spectra) during the growth of quartz crystals (1 — in chamber pegmatites (approximately in the interval of 600—400 °C); in hydrothermal veins: 2 — probably of post-magmatic origin; 3 — of the Donetsk Basin; 4 — formed in a hydrocarbon environment) [28]

$D_{\text{OH(Li+Al)}}$ для зон кристалів (стільниковий кварц, гірський кришталь, димчасті різновиди), які виростили в інтервалі 600—380 °C у повнодиференційованих пегматитах (див. рис. 5, *a*). Цей рисунок також засвідчує порушення еволюційного мінералоутворення — під час переходу до кварцу регенерації, яке фіксується також спадом концентрації $\text{Al-O}^-(\text{Na})$ центрів димчастого забарвлення.

2. Зіставлення температур кристалізації кварцу [15] і значення відношення $\text{OH(Li)} / \text{OH(Al)}$ засвідчило пряму залежність цього показника від температури кристалізації кварцу (рис. 5, *b*).

3. У камерних пегматитах, на відміну від кристаленосних жил [19], має місце парадокс: з пониженням температури росту кварцу, яке супроводжується підвищенням в середовищі мінералоутворення концентрації (активності) Li, зменшується кількість літієво-водневих дефектів у пізніших зонах і зародженнях кварцу. Передбачається, що в продуктивних пегматитах це пов'язано з конкуруючою дією літієвих слюд — основних поглиначів Li, роль яких зростає зі зниженням температури розчинів і збільшенням їхніх pH.

I, rel. units

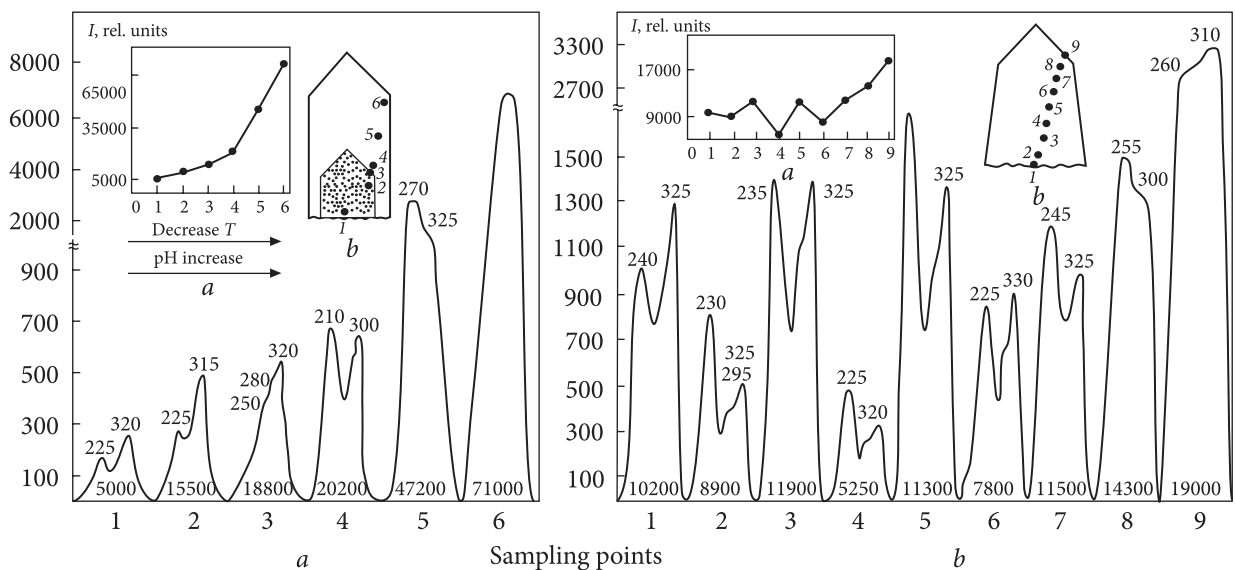


Рис. 6. Зміна термолюмінесцентних (ТЛ) властивостей кристалів кварцу, які вирости в умовах еволюційної (а) і стрибкоподібної (б) зміни зовнішніх умов мінералоутворення в заноришах: а) а — зміна інтенсивності свідчення максимуму за температури $\sim 180^\circ\text{C}$ (його значення наведено всередині кожної кривої — графік внизу) залежно від температури та рН середовища мінералоутворення; б — приблизна схема опробування кристала для ТЛ-досліджень: 1—3 — стільниковий кварц; 4 — гірський криштал; 5, 6 — відповідно димчастий й темно-димчастий кварц; б) а — зміна інтенсивності свідчення максимуму за температури $\sim 180^\circ\text{C}$ (його значення наведено всередині кожної кривої — графік внизу) залежно від місця відбору проб; б — приблизна схема опробування кристала: 1—7 — гірський криштал; 8, 9 — димчастий кварц. Криві ТЛ записані В.А. Стешиним для зразків, опромінених рентгенівськими променями [28]

Fig. 6. Change in the thermoluminescent (TL) properties of quartz crystals that grew under the conditions of evolutionary (a) and sudden (b) changes in the external conditions of mineral formation in sinkholes: a) a — change in the intensity of the indication of the maximum at a temperature of $\sim 180^\circ\text{C}$ (its value is given inside each curve — graph below) depending on the temperature and pH of the environment of mineral formation; b — approximate scheme of crystal testing for TL-studies: 1—3 — cellular quartz; 4 — rock crystal; 5, 6 — smoky and dark-smoky quartz, respectively; b) a — change in the intensity of the maximum glow with temperature of $\sim 180^\circ\text{C}$ (its value is given inside each curve — graph below) depending on the place of sampling; b — approximate scheme of crystal testing: 1—7 — rock crystal; 8, 9 — smoky quartz. TL curves recorded by V.A. Steshin for samples irradiated with X-rays [28]

4. Показник $D_{\text{OH}(\text{Li}+\text{Al})}$ у процесі росту кристалів кварцу плавно зменшується і на заключній стадії — в період росту моріонової зони — слабо зростає (див. рис. 5, c, d), але по-різному у неоднакових за продуктивністю пегматитах (рис. 5, d).

5. Концентрація H^+ , виражена через коефіцієнт поглинання ОН-смуг на ІЧ спектрах кварцу, віддзеркалює його різні умови росту (рис. 5, e).

Фізичні властивості кварцу, насамперед забарвлення й люмінесценція, теж мають неабияке типоморфне значення. Про димчасте забарвлення кварцу, спричинене центрами $\text{Al-O}^-(\text{Na})$, ми згадували вище. Тут згадаємо цитрин, забарвлений центрами $\text{Al-O}^-(\text{Li}^+, \text{H}^+)$, який зазвичай знаходиться всередині

кристалів, але візуально не проявлений, оскільки затушований центрами димчастого забарвлення. Поява в кристалах жовтого кварцу (цитрину) — ознака підвищення активності Li й рН кварцутворювальних розчинів.

Широкого розвитку набуло люмінесцентне дослідження пегматитових мінералів [21]. Із всього розмаїття люмінесцентних даних, які стосуються кварцу, тут звернемо увагу на типоморфізм ТЛ властивостей кристалів кварцу із камерних пегматитів:

1. Кварц камерних пегматитів успадкував дефекти (відповідальні за його ТЛ) кварцу материнських гранітів. Високотемпературні граніти (температура гомогенізації розплавлених включень 830°C) і слабо перекристалізовані пегматити (з переважно магматич-

ним матеріалом) містять кварц із інтенсивним світінням за 220—250, 290—320 і 330—370 °С, ймовірно, пов'язаними з алюмінієвими, титановими і Е-центрами. У більш низькотемпературних гранітах і повнодиференційованих пегматитах, які інтенсивно розвивались у післямагматичну стадію, кварц інтенсивно світиться за 260—280 і 220—250 °С. Це світіння, вірогідно, пов'язано з літієвими і натрієвими центрами захоплення. Підвищення концентрації літієвих центрів захоплення у кварці повнодиференційованих пегматитів узгоджується з уявленнями про їхню кристалізацію з розплаву, збагаченого легкими компонентами та рідкісними елементами, серед яких одним із провідних був літій. Залежно від умов росту кристалів виокремлюються два крайні типи зміни їхнього термовисвітчування: перший — індивіди, які виросли в умовах спокійного режиму мінералоутворення в занориші (рис. 6, *a*), другий — кристали, які росли в середовищі зі стрибкоподібною зміною зовнішніх умов (рис. 6, *b*).

2. Основні особливості ТЛ кристалів першого типу: домінування за інтенсивністю високотемпературного максимуму (315—325 °С) над середньотемпературними (220—260 °С) у кристалах, утворених за температури ≥ 600 °С (стільниковий кварц); б) загальне зростання світимості під час переходу від ранніх зон до пізніх, яке відповідає зниженню температури від 600 до 350—400 °С і збільшенню рН; в) більше ніж десятикратне зростання (у цьому напрямку) інтенсивності низькотемпературного максимуму (~ 180 °С), яке корелює зі збільшенням рН і зменшенням температури.

3. Для другого ТЛ типу кристалів кварцу характерна, як зазначено вище, стрибкоподібна зміна ТЛ параметрів (див. рис. 6, *b*), яка нагадує картину розподілу в них Al-O⁻ центрів (див. рис. 4, *c*).

У кварці камерних пегматитів також з'ясовано, що перехідний процес — "розгорання" люмінесценції до значення стаціонарної РЛ для Al-Li центрів — пов'язаний із якістю (досконалістю анатомії) кристалів кварцу. Швидкість V (ум. од./хв) зростає зі збільшенням досконалості кристалів, що дає змогу рекомендувати цей параметр як критерій якості п'єзооптичної сировини [21].

Кварц з точки зору РЛ-властивостей менш інформативний, ніж польові шпати. Чітко виокремлюється лише кварц із внутрішніх зон диференційованих пегматитів, в якому, окрім звичайних Al-Na центрів, присутні аналогічні Al-Li центри зі смугою випромінювання в області 470—480 нм. Висока концентрація Al-Li центру, яка сягає максимуму в кварці центральних зон, слугує критерієм ступеня диференціації. Максимальні концентрації Al-Li центрів зростають в ряду: мусковітові — камерні — рідкіснометалеві пегматити.

Несе в собі генетичний і прикладний сенс співвідношення концентрацій Al-Na- і Al-Li- центрів у вигляді коефіцієнта K_f (див. рис. 8), який зростає в ряду: керамічні — камерні — рідкіснометалеві пегматити.

У **Пержанському рудному вузлі** різко домінує кварц у вигляді зернистих агрегатів. Вміст його у пержанських гранітах різний — 30—40 %, у метасоматитах — 20—90 %; розподілений дуже нерівномірно. Представлений декількома генераціями [1].

За допомогою сучасних фізичних методів кварц цієї структури досліджували дуже мало. Наприклад, є незначна кількість даних про вміст Al-O⁻ центрів у кварці [28, 36], з яких складно зрозуміти типоморфне значення мінералу.

ІЧ-спектри напівпрозорого і непрозорого кварцу [7] характеризуються наявністю досить інтенсивних дифузних смуг поглинання в діапазоні частот 2900—3900 см^{-1} з максимумом поглинання 3450 см^{-1} . Конфігурація смуг і їхнє спектральне положення збігаються з ІЧ-спектрами молекул води, яка знаходиться у рідкому стані. За температури 77 К ця вода замерзає — виникає одна з модифікацій льоду. Виділимо окремо спектр рудноносного жильного кварцу з чітко вираженою асиметрією смуг поглинання в діапазоні частот 3000—3800 см^{-1} (максимум 3500 см^{-1}) (рис. 7).

У Пержанському рудному вузлі [26], зокрема в апогранітах, поширений дрібнозернистий кварц, який, на нашу думку, виник унаслідок високотемпературної рекристалізації (грануляції) зерен кварцу. В цьому процесі кварц губить Al-O⁻, Ti^{3+} та інші точкові дефекти, збагачується об'ємними дефектами

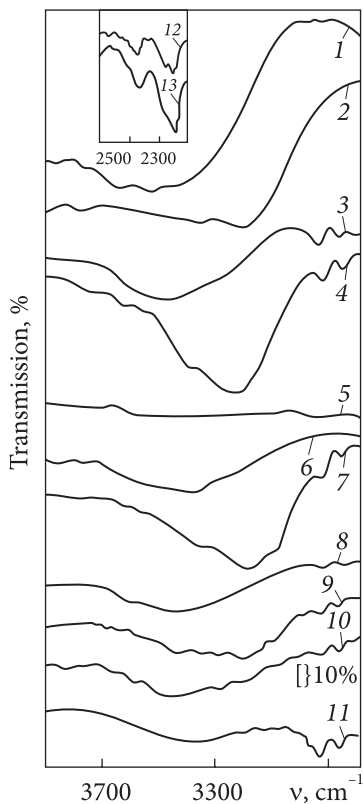


Рис. 7. Характерні ІЧ-спектри кварцу з метасоматично змінених порід: 1 — сірий масивний кварц із рудної жили, Пержанське родовище; 2 — те саме, знято за 77 К; 3 — сірий масивний кварц із мономінеральної (безрудної) жили в гранітах сырницького типу; 4 — те саме, знято за 77 К; 5 — те саме, але знята таблетка з КВч за кімнатної температури; 6 — жильний кварц з рибекітом, Криворізький басейн; 7 — те саме, знято за 77 К; 8 — сірий кварц із прожилків у лужних метасоматитах, Криворізький басейн; 9 — те саме, знято за 77 К; 10 — те саме, бездефектна частина пластинки; 11 — те саме, знято за кімнатної температури, таблетка зразка 10. Згори — фрагменти ІЧ-спектрів кварцу (Пержанське родовище), на яких зафіксовано смуги поглинання вуглекислоти: 12 — кварц рудоносного метасоматиту; 13 — мономінеральний прожилок у граніті. На графіку фрагменти позначено [}10% [7]

Fig. 7. Characteristic IR spectra of quartz from metasomatically altered rocks: 1 — gray massive quartz from an ore vein, Perzhansk deposit; 2 — the same, taken at 77K; 3 — gray massive quartz from a monomineralic (ore-free) vein in granites of the Syrnytsya type; 4 — the same, taken at 77K; 5 — the same, but removed the tablet with KVh at room temperature; 6 — vein quartz with riebeckite, Kryvyi Rih Basin; 7 — the same, taken at 77K; 8 — gray quartz from veins in alkaline metasomatites, Kryvyi Rih Basin; 9 — the same, taken at 77K; 10 — the same, defect-free part of the plate; 11 — the same, taken at room temperature, tablet of sample 10. From above — fragments of IR spectra of quartz (Perzhansk deposit), on which carbon dioxide absorption bands are recorded: 12 — quartz of ore-bearing metasomatite; 13 — monomineral vein in granite. On the graph, the fragments is marked [}10% [7]

(включеннями) з газово-рідкими розчинами, зменшує об'ємну масу, стає все більш пористим і проникливим для подальших порцій метасоматизувальних розчинів. Це одна з причин супроводження апогранітів рудними метасоматитами.

У **рідкіснометалевих гранітах Приазов'я** кварц поширений повсюдно, але сучасними методами не досліджений [27, 35, 41]. Зазвичай представлений сірими ксеноморфними неправильної форми зернами, зрідка ідіоморфними кристалами. За даними Б.В. Заціхи [10, 11], фізико-хімічні умови кристалізації кварцу кам'яномогильського комплексу були такі: 1) раннє окварцювання в процесі грейзенізації відбулось за 430—340 °С; 2) регенерація кварцу та пізня альбітизація — за 290—200 °С, рН розчинів — 7,5—8,5; 3) ріст пізнього кварцу — за 190—160 °С, рН розчинів — 8,5; 4) утворення халцедоноподібного кварцу — за 125—90 °С.

В онтогонітах Приазов'я кварц утворює ізометричні вкраплиники розміром до 1 см, інколи з елементами кристалографічної огранки. Вони приурочені здебільшого до центру жил. Навколо вкраплиників спостерігається зменшення розміру зерен основної

маси породи. У кварці містяться дрібні включення і заповнені тріщини [24].

Кварц рідкіснометалевих пегматитів досліджено нерівномірно [3, 4, 9, 12, 18, 21, 30]. У **рідкіснометалевих пегматитах Приазов'я**, зокрема, у пегматитовому полі Крута Балка [12, 37] він по-різному представлений в основних зонах пегматитів, %: графічна кварц-альбіт-мікроклінова — 23,99; мусковіт-кварц-альбітова — 34,88; блокового мікрокліну — 4,81; блокового кварцу — 90,44; дрібно-зерниста кварц-альбітова — 39,28; апографічна кварц-альбіт-мікроклінова — 28,28; клеवलандиту — 7,69; цукроподібного альбіту — 20,44; кварц-мусковітова — 36,27; блокового мікрокліну — 12,64; блокового кварцу — 4,21. У балансі рудних тіл кварц становить 25—35 %.

Морфологія виділень кварцу розмаїта, проте переважають дрібнозернисті агрегати. У зоні блокового кварцу (кварцове ядро) він, наприклад як у родовищі Крута Балка, зазвичай представлений досить великими напівпрозорими біло-сірими ксеноморфними виділеннями [36]. У всіх рідкіснометалевих родовищах виділяють по декілька генерацій кварцу [13], які належним чином не завжди обґрунтовані. Характерні зростки зі споду-

меном у вигляді ізольованих зерен неправильної форми розміром від часток міліметра до 1 см. Численні вclusions кварцу в одному зерні сподумену згасають одночасно. Круглі вclusions кварцу розміром до 1 мм трапляються також у мікрокліні й петаліті. Підвищений вміст Li_2O (0,0161–0,023 %) у кварці пов'язаний, імовірно, з тонкими вrostками сподумену [13].

Радіоспектроскопічно кварц досліджували обмежено — винятково з метою напрацювання критеріїв рудоносності гранітів і пегматитів [30], які потрапляють в останню частину публікації "Літій у надрах України". Тут ми зазначимо лише таке:

1. За допомогою електронного парамагнітного резонансу В.В. Мазикін у наших зразках кварцу з рідкіснометалевих пегматитів виявив такі електронно-діркові центри: Al-O^- ; $\text{Ti}^{3+}(\text{Ti}^{4+} \rightarrow \text{Ti}^{3+} + e^-)$, дефіцит заряду компенсується H^+ , Li^+ , Na^+ : $\text{Ti}^{3+}(\text{Li})$, $\text{Ti}^{3+}(\text{H}^+)$, $\text{Ti}^{3+}(\text{Na})$; центр $\text{O}_2^{3-} : \text{O}_2^{3-}(\text{H})$, $\text{O}_2^{3-}(\text{Li})$.

2. Прогрів кварцу до 1000 °C з подальшим опроміненням дозою 10 кГр збільшує інтенсивність центру $\text{Ti}^{3+}(\text{Li})$ у декілька разів порівняно з опроміненим, але не прогрітим зразком кварцу. Окрім того, прогріт і опромінення провокують появу нового центру Ti^{3+} (О.К.) — з об'ємною компенсацією заряду.

3. Виявлено тісний зв'язок центрів Ti^{3+} (О.К.) і $\text{O}_2^{3-}(\text{Li})$ з літієносністю пегматитів.

Досить інтенсивними були люмінесцентне, а також рентгенолюмінесцентне (РЛ) дослідження кварцу [21, 30]. Відзначимо найцікавіший результат: за даними цих досліджень виокремлюється кварц із внутрішніх зон диференційованих рідкіснометалевих пегматитів, у спектрах якого, окрім звичайних Al-Na центрів, наявні аналогічні комплексні Al-Li центри зі смугою випромінювання в області 470–480 нм (рис. 8). Висока концентрація Al-Li центрів, яка сягає максимуму у кварці центральних (ядерних) зон, є критерієм ступеня диференціації, тобто продуктивності пегматиту. Максимальні концентрації Al-Li центрів зростають у ряду: мусковітові — камерні — рідкіснометалеві пегматити.

Процес розвитку класичних (диференційованих) рідкіснометалевих пегматитів су-

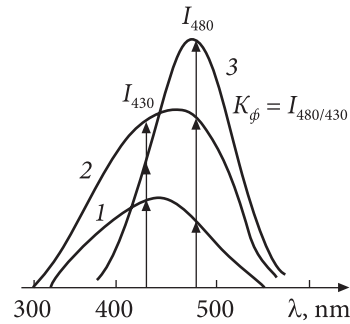


Рис. 8. Варіації коефіцієнта форми (K_ϕ) рентгенолюмінесценції генерацій кварцу (1–3) [21]

Fig. 8. Variations of the shape coefficient (K_ϕ) of the X-ray luminescence of quartz generations (1–3) [21]

проводжувався адекватним зростанням I_m (інтенсивність люмінесценції, обумовленої загальним комплексом ґраткових центрів випромінювання Li-Al -, Na-Al - та Li -центрами) і f_L ("літєвий" фактор, що відображає відносну роль літєвих центрів Li-Al в загальному комплексі всіх центрів) під час переходу від зовнішніх зон до внутрішніх, що відповідає також зростанню маси рідкісних металів у пегматитах [21].

У рідкіснометалевих пегматитах Інгульського мегаблоку, де зазвичай петаліт домінує над сподуменом, вміст кварцу дещо нижчий (на ~10 %), ніж у класичних сподуменових пегматитах, що може бути наслідком реалізації твердофазового перетворення: сподумен + $2\text{SiO}_2 \rightarrow$ петаліт [3]. Також виявлено реліктові зразки пегматиту графічної й пегматоїдної структури, в яких зафіксовано відносно малі виділення кварцу (до 0,5 см). Морфологія виділень кварцу різноманітна. До певної міри вона схожа із зернистою морфологією кварцу класичних пегматитів, хоча домінують зернисті агрегати, що різною мірою зазнали грануляції (рекристалізації), яка істотно змінила якісно-кількісний склад електронно-діркових центрів та інших дефектів.

Незвичними є і люмінесцентні властивості кварцу з петалітових пегматитів. Наприклад, у Полохівському родовищі наведена вище закономірність практично не проявлена, зокрема, люмінесцентні характеристики кварцу також свідчать про відносно низьку концентрацію в ньому літєвих центрів — структурної домішки Li ($\text{Si} \leftarrow \text{Al} + \text{Li}$), яка не вкладається в межі вмісту цих центрів у кварці класичних рідкіснометалевих пегма-

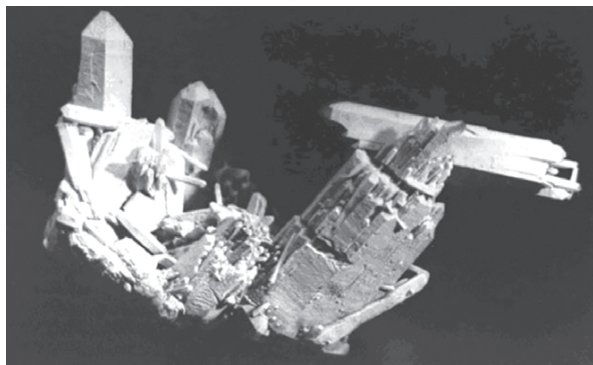


Рис. 9. Друза кристалів кварцу, які зазнали крихкої деформації й частково регенеровані (розмір зменшено в 1,5 рази). Гідротермальні жили Нагольного кряжу. Донецький басейн [23]

Fig. 9. Druze of quartz crystals that have undergone brittle deformation and are partially regenerated (the size is reduced by 1.5 times). Hydrothermal veins of the Nagolny ridge, Donetsk basin [23]

титів, але сумірна з вмістом їх у кварці гранітів [2, 3] (таблиця).

Кварц петалітових пегматитів містить тверді включення інших мінералів — петаліту, кордієриту, альбіту, сподумену, рутилу [3]. Найхарактернішим є петаліт, дрібні включення якого (від 2 до 40—50 мкм) іноді густо і рівномірно насичують зерна кварцу. Коли мікрровключення петаліту становлять уперек 3—5 і довжиною 5—8 мкм, то розміщення їх у кварці закономірне: за видовженням включення співпадають з L_3 кварцу. Такі монокристали на периферії мають облямівку без

мікрровключень петаліту (порожня зона), потужність якої становить 50—60 мкм. Якщо ж розмір включень зростає від 10—20 до 40—50 мкм, то збільшується і потужність цієї облямівки.

Рівномірно й закономірно орієнтовані мікрровключення петаліту в кварці є, імовірно, наслідком розпаду твердого розчину кварцу, на що безпосередньо вказує відносно низька концентрація структурного Li. Цим він відрізняється від кварцу класичних рідкіснометалевих пегматитів. Рутит у вигляді сієнітової ґратки свідчить про первісно високу концентрацію Ti й температуру кристалізації кварцу з подальшим розпадом його як твердого розчину.

Кварц відносно збіднений флюїдними включеннями, особливо включеннями водного розчину. Останні виникають на місці часткового або повного вилугування включень петаліту, але зазвичай зберігається їх форма. Зафіксовано таку температуру гомогенізації газопо-рідких (рідини 70—90 %) включень, °C: 320—310; 260; 200—195; 150—120 [3].

Отже, кварц у досліджуваних петалітових об'єктах не відіграє тієї структуроутворювальної ролі породи, яку він має під час формування зон (графічної, пегматоїдної, кварцової та ін.) повнодиференційованих рідкіснометалевих пегматитів. Ця морфологічна роль кварцу переважно знищена накладеними метасоматичними процесами і метамор-

Значення основних люмінесцентних характеристик калієвого польового шпату (КПШ) і кварцу з рідкіснометалевих об'єктів України The value of the main luminescent characteristics of potassium feldspar and quartz from rare metal objects in Ukraine

Родовище, порода	КПШ			Кварц		
	T	T/A	Кількість зразків	I_m	f_L	Кількість зразків
Полохівське, пегматити	21—54	0,05—0,22	8	80—170	0,62—0,76	4
Те саме, вмісні породи	13	0,01	1	58—65	0,56	2
Липнязький рудопрояр, пегматити	10—78	0,099—0,1	10	52—110	0,79—0,92	7
Шевченківське, пегматити	30—127	0,08—0,40	7	6—60	0,71—0,88	5
Балка Крута, пегматити	10—120	0,15—0,6	15	12—80	1—2	15
Жовторіченське, пегматити	70—310	0,15—8,0	11	20—820	0,97—4,5	9

Примітка. T — центр рентгенолюмінесцентного випромінювання Tl^+ , A — те саме, AlO_4^{4-} ; I_m, f_L — див. текст. Цифри відповідають відносним концентраціям центрів випромінювання. Таблицю запозичено зі статті [3, с. 25].

Note. T — is the center of X-ray luminescent radiation Tl^+ , A — is also, AlO_4^{4-} ; I_m, f_L — see text. The numbers correspond to the relative concentrations of the radiation centers. The table is borrowed from the article [3].

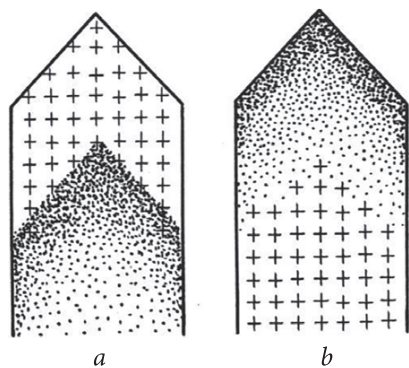


Рис. 10. Спрощена схема анатомії кристалів кварцу: *a* — з гідротермальних жил післямагматичної природи; *b* — складнішого походження. Показано димчате забарвлення кварцу (крапки); хрестики — жовте (цитринове) [29]

Fig. 10. A simplified diagram of the anatomy of quartz crystals: *a* — from hydrothermal veins of a post-magmatic nature; *b* — of a more complex origin. Dots show the smoky color of quartz, crosses show yellow (citrine) [29]

фізмом. Унаслідок цих процесів кварц як твердий розчин втрачає значну частину центрів люмінесценції й інших дефектів, ізоморфних, домішок типоморфних для рідкіснометалевих пегматитів [3].

У гідротермалітах Нагольного кряжу кварц є найпоширенішим і добре вивченим мінералом (рис. 5, 9—13), зокрема як типоморфний. Аналіз здебільшого наших результатів його дослідження [20, 23, 28, 31, 32, 38], частково наведених на рис. 10—13 і рис. 5, *e*, свідчить про таке:

1. Для гідротермальних літієносних жил Нагольного кряжу напрацьовано закономірності взаємозв'язку морфології й умов кристалізації кварцу [23, 28].

2. Al-O⁻ центри кварцу представлені такими підтипами: I. Al-O⁻/H⁺; II. Al-O⁻/(Li⁺, H⁺); III. Al-O⁻/(Na⁺, Li⁺, H⁺). Вміст центрів характеризує концентрацію Al в середовищі мінералоутворення (пряма залежність), рН середовища (пряма залежність), швидкість росту (зазвичай обернена залежність), температуру кристалізації (зафіксована кореляція в інтервалі 600—400 °C еволюційного мінералоутворення лише в камерних пегматитах, пряма залежність). Перехід від підтипу I до підтипу III — підвищення рН.

3. Візуально рудоносний кварц виокремлюється рівномірно розподіленим у кристалі

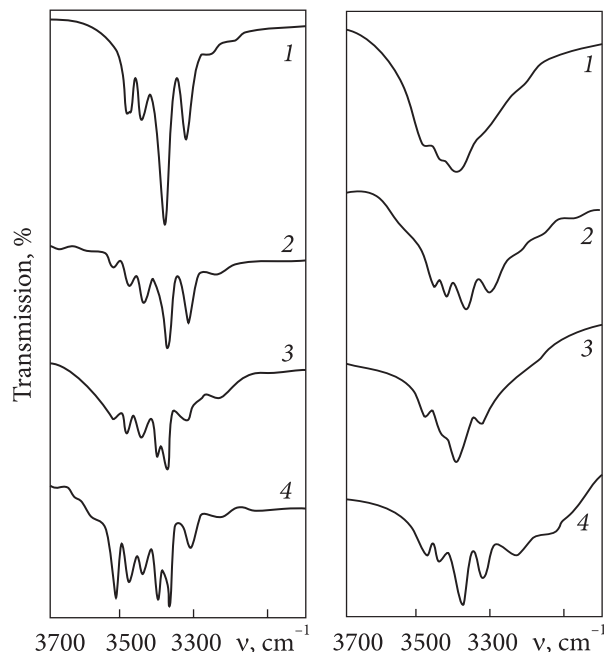


Рис. 11. ІЧ-спектри кристалів нерудоносного кварцу з цитриновим забарвленням з гідротермальних жил Донбасу: 1, 2 — Балка Шевцова; 3 — Гострий Бугор; 4 — жила "Оріхівська". Всі зразки знято за 77 К [31]

Fig. 11. IR spectra of non-ore-bearing quartz crystals with citrine color from hydrothermal veins of Donbas: 1, 2 — Shevtsova beam; 3 — Hostryy Buhor; 4 — "Orihivska" vein. All samples were taken at 77 K [31]

Рис. 12. ІЧ-спектри кристалів рудоносного кварцу з кварц-сульфідних жил Єсаулівки (Донбас): 1 — призматичний кристал з включеннями буланжериту; 2 — те саме, знято за 77 К; 3 — те саме, але без буланжериту; 4 — те саме, 77 К [31]

Fig. 12. IR spectra of ore-bearing quartz crystals from quartz-sulfide veins of Yesaulivka (Donbas): 1 — prismatic crystal with boulangerite inclusions; 2 — the same, taken at 77 K; 3 — the same, but without boulangerite; 4 — the same, 77 K [31]

димчато-цитриновим забарвленням, густина якого не змінюється або поступово збільшується до головки. Нерудоносний кварц має чітко виражене зональне забарвлення — цитринове внизу і димчате в головці — або лише зонально-димчате. Так чи інакше центри цитринового забарвлення кварцу (II тип) є критерієм літієносності жил. Це блискучий приклад зближеної історії Li й SiO₂.

4. Рудоносний і нерудоносний кварц розрізняються за спектрами оптичного поглинання (рис. 13), розтлумаченими в [28, 38].

5. За термолюмінесцентними характеристиками (ТЛ) [38], рудоносний кварц виокрем-

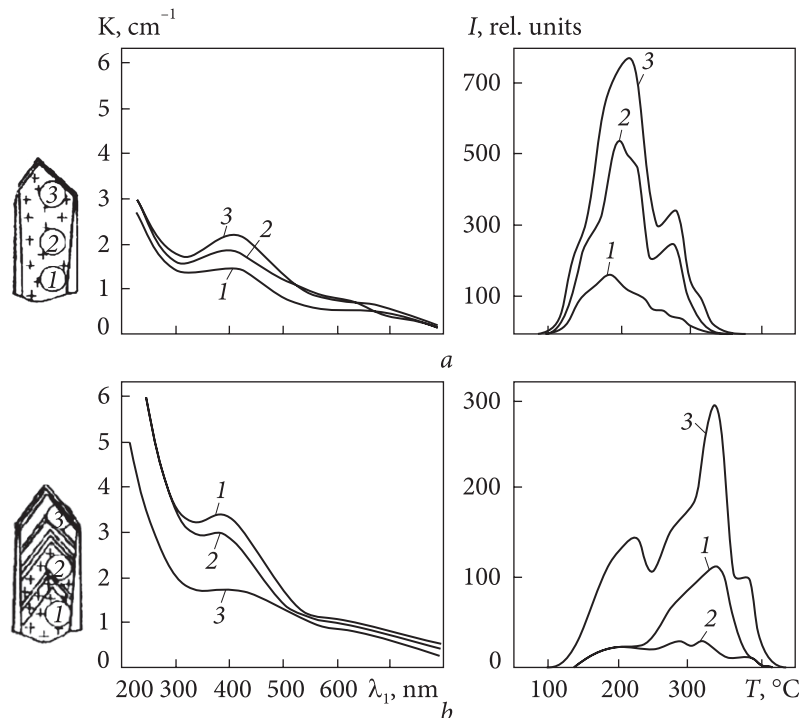


Рис. 13. Розподіл забарвлення, спектри поглинання і криві термолюмінесценції кварцу Донбасу: *a* — рудоносного, *b* — нерудоносного; 1–3 — місця відбору зразків для дослідження та відповідні їм криві [38]

Fig. 13. Color distribution, absorption spectra and thermoluminescence curves of ore-bearing (*a*) and non-ore-bearing (*b*) quartz of Donbas; 1–3 — sampling sites for research and their corresponding curves [38]

люється високою інтенсивністю низькотемпературних максимумів (180–220 °C), водночас як для нерудоносного кварцу доміантними є високотемпературні (320–350 °C) піки (рис. 13), тобто рудоносні й нерудоносні кварци розрізняються за концентрацією різних центрів захоплення за відносно близького набору центрів випромінювання.

6. Типоморфні ознаки (забарвлення, ТЛ, вміст водневих ОН-дефектів) рудоносного кварцу в процесі росту кристалів якісно зберігаються або проявляються з усе більшою інтенсивністю, засвідчуючи еволюційний розвиток мінералоутворювального процесу. Для нерудоносного кварцу (рис. 13, *b*) ці ознаки не витримані ані якісно, ані кількісно, віддзеркалюючи стрибкоподібну зміну параметрів середовища мінералоутворення.

Висновки. Зроблено спробу пов'язати геохімічну історію Li з мінералогічною (здебільшого онтогенічною) історією кварцу у літєносних об'єктах надр України. Акцентовано увагу на типоморфних ознаках кварцу, які відображають умови його кристалізації: 1) габітус кристалів кварцу має типоморфне значення, але обмежене; 2) найбільше генетичне значення мають точкові дефекти його кристалічної структури, насамперед найпоширеніші Al-O⁻ центри та водневі дефекти;

3) зокрема, Al-O⁻ центри відображають рН кварцутворювального середовища, вміст летких компонентів (магматичні системи), швидкість і температуру кристалізації, грануляцію кварцу, яка супроводжується зменшенням концентрації точкових дефектів (петалітові пегматити); водневі дефекти віддзеркалюють здебільшого рН і температуру кристалізації кварцу у водному середовищі.

Якісно з'ясовано зв'язок точкових дефектів із літєносністю пегматитів і гідротермальних жил. Зокрема, у камерних пегматитах, на відміну від гідротермальних жил, має місце парадокс: зі зниженням температури кристалізації кварцу, яке супроводжується підвищенням у середовищі мінералоутворення активності Li, зменшується концентрація літєво-водневих дефектів у пізніших зонах кристалів кварцу, засвідчуючи конкурувальну роль літєвих слюд — основних поглиначів Li. Яскраво також проявлений зв'язок парамагнітних O₂³⁻ і люмінесцентних Al-Li центрів з літєносністю сподуменових рідкіснометалевих пегматитів.

Незвичними є люмінесцентні, як і інші властивості кварцу з петалітових пегматитів Інгульського мегаблоку, спричинені накладеними метасоматичними процесами і метаморфізмом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безпалько Н.А. Петрологія і акцесорні мінерали гранітів та метасоматитів Північної Волині. Київ: Наук. думка, 1970. 164 с.
2. Возняк Д.К., Бугаєнко В.М., Галабурда Ю.А. та ін. Особливості мінерального складу та умов утворення рідкіснометалевих пегматитів Кіровоградського блоку (Український щит). *Допов. НАН України*. 2000. № 7. С. 131—136.
3. Возняк Д.К., Бугаєнко В.М., Галабурда Ю.А., Мельников В.С., Павлишин В.І., Бондаренко С.М., Сьомка В.О. Особливості мінерального складу та умов утворення рідкіснометалевих пегматитів західної частини Кіровоградського блоку (Український щит). *Мінерал. журн.* 2000. 22, № 1. С. 21—41.
4. Возняк Д.К., Калініченко А.М., Павлишин В.І., Багмут М.М. Парамагнітні центри в кварці як індикатори його генезису (на прикладі зонального кварцу заноришевих пегматитів Волині). *Мінерал. зб.* 2002. № 52, Вип. 1. С. 109—114.
5. Возняк Д., Матковський О., Павлишин В. Великі й гігантські кристали як критерії генезису камерних пегматитів. *Мінерал. зб.* 2012. № 62, вип. 1. С. 36—46.
6. Возняк Д.К., Павлишин В.І. Фізико-хімічні умови формування та особливості локалізації заноришевих пегматитів Волині (Український щит). *Мінерал. журн.* 2008. 30, № 1. С. 5—20.
7. Галабурда Ю.А., Павлишин В.І., Красильщикова О.А. Типоморфные особенности кварца из метасоматических образований (на примере метасоматитов северо-западной части УЩ и Криворожского бассейна). *Регион. и генетич. минералогия*. 1978. Вип. 1. С. 48—58.
8. Дэна Дж., Дэна Э.С., Фрондель К. Система минералогии. Минералы кремнезема. Москва: Мир, 1966. 430 с.
9. Еременко Г.К., Иванов Б.Н., Белых Н.А., Кузьменко А.В., Макивчук О.Ф. Минералогические особенности и условия образования литиевых пегматитов Кіровоградского блока (Украинский щит). *Мінерал. журн.* 1996. 18, № 1. С. 48—57.
10. Зацixa Б.В. Постмагматическая минерализация Приазовья: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Львов, 1969. 35 с.
11. Зацixa Б.В. Постмагматическая минерализация гранитоидов Каменных Могил (Приазовье). В сб.: Рудообразующая среда по включениям в минералах. Москва: Наука, 1972. С. 178—184.
12. Ісаков Л.В. Поля гранітних пегматитів Західного Приазов'я. Київ: УкрДГРІ, 2007. 134 с.
13. Ісаков Л.В. Геолого-структурні закономірності формування полів гранітних пегматитів Східноукраїнської пегматитової області: автореф. дис. ... д-ра геол. наук. ЛНУ ім. Івана Франка. Львів, 2009. 40 с.
14. Калініченко А., Возняк Д., Калініченко О., Павлишин В., Багмут М. Електронно-діркові парамагнітні центри у кварці — індикатори умов його утворення. *Мінерал. зб.* 2007. № 57, вип. 1. С. 39—51.
15. Калюжний В.А., Возняк Д.К., Гігашвілі Г.М., Калюжна К.М., Лазаренко О.Є., Булгаков В.С., Сорокін Ю.Г. Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів заноришевого типу України (рідкі включення, термобарометрія, геохімія). Київ: Наук. думка, 1971. 216 с.
16. Кварц-кремнезем. Матеріали междунар. семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 350 с.
17. Кварц. Справочник "Минералы". Т. II. Вып. 2. Простые силикаты. Москва: Наука, 1965. С. 143—209.
18. Кичурчак В.М. Закономерности локализации, строение и происхождение пегматитов в одном из регионов Украинского щита: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Киев, 1988. 14 с.
19. Комов И.Л. Геохимия и методы перспективной оценки гидротермальных месторождений горного хрусталя: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Москва, 1975. 49 с.
20. Красильщикова О.А., Павлишин В.І., Таращан А.Н., Платонов А.Н. Термолюминесцентные особенности жильного кварца Донецкого бассейна и их геологическое значение. *Геол. журн.* 1976. № 2. С. 65—76.
21. Кузнецов Г.В., Таращан А.Н. Люминесценция минералов гранитных пегматитов. Киев: Наук. думка, 1988. 180 с.
22. Лазаренко Е.К., Павлишин В.І., Латыш В.Т., Сорокін Ю.Г. Минералогия и генезис камерных пегматитов Волини. Киев: Наук. думка, 1973. 359 с.
23. Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Павлишин В.І. Минералогия Донецкого бассейна. Ч. II. Киев: Наук. думка, 1975. 502 с.
24. Литвин А.Л., Возняк Д.К., Мельников А.С., Раздорозный В.Ф. Онгониты Украины и условия их кристаллизации. *Геол. журн.* 1988. № 5. С. 112—118.
25. Матковський О., Павлишин В., Сливко Є. Основи мінералогії України. Підручник. Львів: Вид. центр Львів. нац. ун-ту ім. Івана Франка, 2009. 856 с.
26. Металиди С.В., Нечаев В.С. Суццано-Пержанская зона (геология, минералогия, рудоносность). Киев: Наук. думка, 1983. 135 с.
27. Минералогия Приазовья. Е.К. Лазаренко, Л.Ф. Лавриненко, Н.И. Бучинская, Д.К. Возняк, Ю.А. Галабурда, Б.В. Зацixa, А.В. Иванова, В.Н. Квасница, А.А. Кульчицкая, В.П. Куц, В.С. Мельников, В.І. Павлишин, Г.І. Туркевич. Киев: Наук. думка, 1981. 432 с.
28. Павлишин В.І. Типоморфизм кварца, слюд и полевых шпатов в эндогенных образованиях. Киев: Наук.

- думка, 1983. 232 с.
29. Павлишин В.І. Анатомия кристаллов кварца — возможный критерий происхождения гидротермальных жил. *Материалы XIII конгр. Междунар. минерал. ассоциации*. Кн.: *Морфология и фазовые равновесия минералов*. Варна, 1982. София: Изд-во БАН, 1982. С. 81—85.
 30. Павлишин В.І., Багмут Н.Н., Возняк Д.К., Галабурда Ю.А., Егорова Л.Н., Кузнецов Г.В., Кульчещкая А.А., Мазыкин В.В., Мельников В.С. Минералогические критерии рудоносности гранитов и пегматитов (на примере месторождений и рудопроявлений Украины). *Минерал. журн.* 1991. **13**, № 3. С. 3—24.
 31. Павлишин В.І., Геворкян С.В., Возняк Д.К. Типоморфные особенности кварца Украины по данным ИК-спектроскопии (на примере кварца камерных пегматитов, гидротермальных жил и редкометалльных метасоматитов). *Регион. и генетич. минералогия*. 1978. Вып. 1. С. 26—47.
 32. Павлишин В.І., Мазыкин В.В., Матяш И.В., Возняк Д.К. Тенденция изменения содержания структурной примеси алюминия в процессе роста кристаллов кварца. *Геохимия*. 1978. № 2. С. 265—275.
 33. Павлишин В.І., Мазыкин В.В., Матяш И.В., Швеиц Д.И. Тенденция изменения содержания структурной примеси алюминия в зернистых агрегатах кварца. *Геохимия*. 1979. № 8. С. 1159—1165.
 34. Павлишин В.І., Мельников В.С., Вовк П.К. Типоморфизм минералов и происхождение камерных пегматитов. В сб.: *Геология и генезис пегматитов*. Ленинград: Наука, 1983. С. 131—144.
 35. Петрология, геофизика и рудоносность редкометалльных гранитов Приазовья (Украинский щит). Е.М. Шеремет, Е.В. Седова, С.Н. Стрекозов, С.Г. Кривдик, П.И. Пигулевский. Донецк: Ноулидж, 2013. 214 с.
 36. Матяш И.В., Брик А.Б., Заяц А.П., Мазыкин В.В. Радиоспектроскопия кварца. Киев: Наук. думка, 1987. 168 с.
 37. Розанов К.И., Лавриненко Л.Ф. Редкометалльные пегматиты Украины. Москва: Наука, 1979. 140 с.
 38. Стешин В.А., Павлишин В.І. Типоморфизм спектроскопических свойств кристаллов кварца из гидротермальных жил Донбасса. *Конституция и свойства минералов*. 1978. Вып. 12. С. 68—76.
 39. Типоморфизм кварца Украины. Отв. ред. Е.К. Лазаренко. Киев: Наук. думка, 1974. 124 с.
 40. Ферсман А.Е. Рассказы о самоцветах. Москва: Наука, 1974. 254 с.
 41. Шеремет Е.М., Кривдик С.Г., Седова Е.В. Редкометалльные граниты Украинского щита (петрология, геохимия, геофизика и рудоносность). Донецк: Ноулидж, 2014. 250 с.
 42. Юшкин Н.П. Минералогические проблемы кремнезема. В сб.: *Кварц. Кремнезем. Материалы Междунар. семинара*. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С. 7—8.
 43. Kats A. Hydrogen in α -quartz. *Philips Res. Repts.* 1962. **17**. P. 133—195.
 44. Pavlishin V.I., Dovgyi S.A. Mineralogy of the Volynian chamber pegmatites, Ukraine. *Mineralogical Almanac*. 2007. **12**. 125 p.

Надійшла 28.02.2023

REFERENCES

1. Bezpalko, N.A. (1970), *Petrology and accessory minerals of granites and metasomatites of Northern Volyn*, Nauk. dumka, Kyiv, 164 p. [in Ukrainian].
2. Voznyak, D.K., Bugaenko, V.M., Galaburda, Yu.A. and etc. (2000), *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 7, pp. 131-136 [in Ukrainian].
3. 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. 12, No. 1, pp. 21-41 [in Ukrainian].
4. Voznyak, D.K., Kalinichenko, A.M., Pavlyshyn, V.I. and Bagmut, M.M. (2002), *Mineral. coll.*, Vol. 52, Iss. 1, Lviv, UA, pp. 109-114 [in Ukrainian].
5. Voznyak, D., Matkovskiy, O. and Pavlyshyn, V. (2012), *Mineral. coll.*, Vol. 62, Iss. 2, Lviv, UA, pp. 36-46 [in Ukrainian].
6. Voznyak, D.K. and Pavlyshyn, V.I. (2008), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 30, No. 1, pp. 5-20 [in Ukrainian].
7. Galaburda, Yu.A., Pavlyshyn, V.I. and Krasilshchikova, O.A. (1978), *Regional and genetic mineralogy*, Vol. 1, pp. 48-58 [in Russian].
8. Dena, J., Dena, E.S. and Frondel, K. (1966), *System of mineralogy: Minerals of silica*, Mir, Moscow, 430 p. [in Russian].
9. Eremenko, G.K., Ivanov, B.N., Belykh, N.A., Kuzmenko, A.V. and Makivchuk, O.F. (1996), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 18, No. 1, pp. 48-57 [in Russian].
10. Zatsikha, B.V. (1969), *Post-magmatic mineralization of the Azov region*, Abstr. of diss. cand. geol.-min. sci., Lviv, 35 p. [in Russian].
11. Zatsikha, B.V. (1972), in: *Ore-forming environment on inclusions in minerals*, Nauka, Moscow, pp. 178-184 [in Russian].
12. Isakov, L.V. (2007), *Fields of granite pegmatites of the Western Azov region*, UkrDGRI, Kyiv, 134 p. [in Ukrainian].
13. Isakov, L.V. (2009), *Geological and structural regularities of the formation of granite pegmatite fields of the East*

- Ukrainian pegmatite region*, Abstr. of Dr.Sc. geol. diss., LNU named after Ivan Franko, Lviv, 40 p. [in Ukrainian].
14. Kalinichenko, A., Voznyak, D., Kalinichenko, O., Pavlyshyn, V. and Bagmut, M. (2007), *Mineral. coll.*, No. 57, Iss. 1, Lviv, UA, pp. 39-51 [in Ukrainian].
 15. Kalyuzhnyi, V.A., Voznyak, D.K., Gigashvili, G.M., Kalyuzhna, K.M., Lazarenko, O.Ye., Bulgakov, V.S. and Sorokin, Yu.G. (1971), *Mineraloutvoryuyuchi flyuyidy ta paragenезysy mineraliv pegmatytiv zanoryshevogo typu Ukrayiny (ridki vklyuchennya, termobarometriya, geokhimiya)*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 216 p. [in Ukrainian].
 16. (2004) *Quartz-silica. Materials of the Int. seminar*, Geoprint, Syktyvkar, 350 p. [in Russian].
 17. (1965) *Quartz. Handbook "Minerals"*, Vol. II, Iss. 2, *Simple silicates*, Nauka, Moscow, pp. 143-209 [in Russian].
 18. Kichurchak, V.M. (1988), *Patterns of localization, structure and origin of pegmatites in one of the regions of the Ukrainian Shield*, Abstr. of diss. cand. geol.-min. sci., Kyiv, 14 p. [in Russian].
 19. Komov, I.L. (1975), *Geochemistry and methods of prospective assessment of hydrothermal deposits of rock crystal*, Abstr. of Dr.Sc. geol.-min. diss., Moscow, 49 p. [in Russian].
 20. Krasilshchikova, O.A., Pavlishin, V.I., Tarashchan, A.N. and Platonov, A.N. (1976), *Geol. Journ.*, No. 2, Kyiv, pp. 65-76 [in Russian].
 21. Kuznetsov, G.V. and Tarashchan, A.N. (1988), *Luminescence of granite pegmatite minerals*, Nauk. dumka, Kyiv, 180 p. [in Russian].
 22. Lazarenko, E.K., Pavlishin, V.I., Latysh, V.T. and Sorokin, Yu.G. (1973), *Mineralogy and genesis of chamber pegmatites of Volyn*, Nauk. dumka, Kyiv, 359 p. [in Russian].
 23. Lazarenko, E.K., Panov, B.S. and Pavlishin, V.I. (1975), *Mineralogy of the Donetsk basin*, Pt II, Nauk. dumka, Kyiv, 502 p. [in Russian].
 24. Litvin, A.L., Voznyak, D.K., Melnikov, A.S. and Razdorozhny, V.F. (1988), *Geol. journ.*, No. 5, Kyiv, pp. 112-118 [in Russian].
 25. Matkovskiy, O., Pavlyshyn, V. and Slyvko, Ye. (2009), *Basics of mineralogy of Ukraine*, Textbook, Publ. Center Lviv. Nat. Univ. Ivan Franko, Lviv, UA, 856 p. [in Ukrainian].
 26. Metalidi, S.V. and Nechaev, V.S. (1983), *Sushchano-Perzhansk zone (geology, mineralogy, ore content)*, Nauk. dumka, Kyiv, 135 p. [in Russian].
 27. Lazarenko, E.K., Lavrinenko, L.F., Buchinskaya, N.I., 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 Sea of Azov*, Nauk. dumka, Kyiv, 432 p. [in Russian].
 28. Pavlishin, V.I. (1983), *Typomorphism of quartz, micas and feldspars in endogenous formations*, Nauk. dumka, Kyiv, 232 p. [in Russian].
 29. Pavlishin, V.I. (1982), *Materials XIII Congr. Int. Mineral. Association. Book. Morphology and phase equilibrium of minerals*, Varna, 1982, BAN Publ. House, Sofia, pp. 81-85 [in Russian].
 30. Pavlishin, V.I., Bagmut, N.N., Voznyak, D.K., Galaburda, Yu.A., Egorov, L.N., Kuznetsov, G.V., Kulchetskaya, A.A., Mazykin, V.V. and Melnikov, V.S. (1991), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 13, No. 3, pp. 3-24 [in Russian].
 31. Pavlishin, V.I., Gevorkyan, S.V. and Voznyak, D.K. (1978), *Regional. and genetic mineralogy*, No. 1, pp. 26-47 [in Russian].
 32. Pavlishin, V.I., Mazykin, V.V., Matyash, I.V. and Vozniak, D.K. (1978), *Geochemistry*, No. 2, RU, pp. 265-275 [in Russian].
 33. Pavlishin, V.I., Mazykin, V.V., Matyash, I.V. and Shvets, D.I. (1979), *Geochemistry*, No. 8, RU, pp. 1159-1165 [in Russian].
 34. Pavlishin, V.I., Melnikov, V.S. and Vovk, P.K. (1983), in: *Geology and genesis of pegmatites*, Nauka, Leningrad, RU, pp. 131-144 [in Russian].
 35. Sheremet, E.M., Sedova, E.V., Strekozov, S.N., Kryvdik, S.G. and Pigulevsky, P.I. (2013), *Petrology, geophysics and ore content of rare-metal granites of the Sea of Azov (Ukrainian Shield)*, Knowledge, Donetsk, UA, 214 p. [in Russian].
 36. Matyash, I.V., Brik, A.B., Zayats, A.P. and Mazykin, V.V. (1987), *Radiospectroscopy of Quartz*, Nauk. dumka, Kyiv, 168 p. [in Russian].
 37. Rozanov, K.I. and Lavrinenko, L.F. (1979), *Rare-metal pegmatites of Ukraine*, Nauka, Moscow, 140 p. [in Russian].
 38. Steshin, V.A. and Pavlishin, V.I. (1978), *Constitution and properties of minerals*, No. 12, pp. 68-76 [in Russian].
 39. Lazarenko, E.K. (ed.) (1974), *Typomorphism of Ukrainian Quartz*, Nauk. dumka, Kyiv, 124 p. [in Russian].
 40. Fersman, A.E. (1974), *Stories about gems*, Nauka, Moscow, 254 p. [in Russian].
 41. Sheremet, E.M., Kryvdik, S.G. and Sedova, E.V. (2014), *Rare-metal granites of the Ukrainian Shield (petrology, geochemistry, geophysics and ore content)*, Knowledge publ., Donetsk, UA, 250 p. [in Russian].
 42. Yushkin, N.P. (2004), in: *Quartz. Silica. Materials of the Int. Seminar*, Geoprint, Syktyvkar, pp. 7-8 [in Russian].
 43. Kats, A. (1962), *Hydrogen in α -quartz*, *Philips Res. Repts.*, Vol. 17, pp. 133-195.
 44. Pavlishin, V.I. and Dovgyi, S.A. (2007), *Mineralogy of the Volynian chamber pegmatites, Ukraine*, Mineralogical Almanac, Vol. 12, 125 p.

Received 28.02.2023

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>

I.M. Lunova, PhD (Geology), Research Fellow
E-mail: gerasimetsirina@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4670-0216>

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 2. Mineralogy of Lithium-Bearing Objects: Quartz

The second part of the publication "Lithium in the subsoil of Ukraine" highlights the mineralogy of rock-forming quartz from lithium-bearing objects of Ukraine: chamber pegmatites of the Korosten pluton, Perzhansky ore district, rare-metal granites and pegmatites of the Azov region, rare-metal pegmatites of the Inhulsky megablock, hydrothermalites of the Nagolny Ridge (Donetsk basin). In all these objects, quartz is characterized mostly from the point of view of its typomorphic value. The conclusion was as follows: the habit of quartz crystals has a typomorphic value, but cannot be described for all genetic situations by one simple scheme of the evolution of simple forms; so the main typomorphic information is "hidden" in the middle of quartz crystals. Point defects of its crystal structure are of greatest importance, primarily Al-O⁻ centers and hydrogen defects, which are the most common in the mineral. They are best studied in crystals of chambered pegmatites and hydrothermal veins of the Nagolny ridge. The dependence of these defects on the action of external factors has been clarified. In particular, in chambered pegmatites, in contrast to crystal-bearing veins, a paradox occurs: with a decrease in the temperature of quartz growth, which is accompanied by an increase in the concentration (activity) of Li in the environment of mineralization, the number of lithium-hydrogen defects in the late zones of quartz decreases. It is assumed that in productive pegmatites this is due to the competing action of lithium micas — the main Li absorbers, the role of which increased with a decrease in the temperature of the solutions and an increase in their pH. In the quartz of rare-metal pegmatites, a high concentration of Al-Li centers has been established, which reaches a maximum in the quartz of the central zones and is therefore a criterion for the degree of differentiation of pegmatites. The luminescent properties of quartz from the petalite pegmatites of the Inhulsky megablock, caused by superimposed metasomatic processes and metamorphism, are unusual.

Keywords: quartz, lithium mineralization, lithium-bearing objects, quartz point defects, Al-O⁻ centers, hydrogen defects, mineral typomorphism.