

УДК 549(477)

## БЕРИЛ У ГЕОЛОГІЧНИХ УТВОРЕННЯХ УКРАЇНИ

Є. Сливко

*Львівський національний університет імені Івана Франка  
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4  
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

Зведено відомості про поширення та різноманітні особливості бериллової мінералізації в породах України. Мінерал рідкісний, генетично і просторово пов'язаний з камерними й керамічними пегматитами Волині та керамічними й рідкіснометалевими пегматитами Приазов'я. Стисло проаналізовано фізичні й хімічні властивості берилу та його генетичні особливості.

*Ключові слова:* берил, морфологія кристалів, фізичні та хімічні властивості, генезис, Україна.

Праця продовжує цикл публікацій, в яких узагальнено відомості про головні особливості поширених та характерних рідкісних мінералів України, що слугуватиме основою для підготовки першого навчального видання з мінералогії України.

**Поширення.** Берил в Україні рідкісний. Як акцесорний мінерал він генетично і просторово пов'язаний з камерними й керамічними пегматитами Волинського мегаблока та керамічними й рідкіснометалевими пегматитами Приазовського, трапляється у грейзенах Українського щита й у розсипах. На теренах України відомі одне велике промислове родовище (Волинське – найбільше в Європі) та понад двадцять дрібних проявів берилу. Всі вони розташовані у Північно-Західному, Центральному та Приазовському районах щита й зачислені до геолого-промислових типів кристаловмісних заніркових, керамічних і рідкіснометалевих пегматитів, апографічних грейзенів та алювіальних розсипів. Берил уважають надійним критерієм для визначення типу і промислової цінності рідкіснометалевих пегматитів [9, 14, 16].

Берил досить поширений у камерних пегматитах Коростенського плутону. Причому в одних пегматитових тілах берил є, а в інших, розташованих поряд з берилоносними, в аналогічних геологічних умовах його нема. Мінерал трапляється спорадично і переважно в повнодиференційованих тілах центральної частини пегматитового поля. У незначній кількості виділення берилу наявні в зоні вилугування [7]. На Волинському родовищі за головними мінералами занірків серед інших виділяють кварц-бериллові пегматити. Берил у них міститься серед кристалів та уламків кварцу, польових шпатів і слюд (у нижній частині занірка), серед перекристалізованих, змінених пневматолітово-гідротермальними розчинами мінералів (під занірком) та серед кристалів польового шпату і слюд польовошпатової зони (над занірком та з його боків). Кристали в кількостях, що мають промислове значення, є тільки в пегматитах центральної частини родовища. В середньому берил трапляється в одному з десяти занірків. Обсяг берилу в пегматитах – від одного–чотирьох кристалів загальною масою 0,1–0,5 кг, іноді до перших десятків кілограмів. Винятком є

один пегматит-унікум горизонту 50–100 м, з якого видобуто берилу вищого сорту більше, ніж з усіх інших пегматитів родовища, разом узятих [19]. Акцесорна мінералізація берилу трапляється серед метасоматично змінених рапаківіподібних гранітів під пегматитами [13].

Акцесорний берил містять пегматити Коростишівського пегматитового поля, приурочені до північної екзоконтактової зони Коростишівського масиву сірих дрібнозернистих гранітів, та апліт-пегматоїдні граніти району м. Коростишева [15]. Характерний берил для пегматитів, які залягають у метаморфічних породах обох берегів р. Тетерів від с. Козіївка до с. Новогородецьке. У слабоальбітизованих пегматитах тут виявили кварц з кристалом берилу в центрі жили [3]. На південному фланзі Західноінгулецької зони в облямуванні Маліївського граносієнітового купола берил наявний у везувіанових скарнах [9].

У Приазов'ї прояви берилу пов'язані з диференційованими альбітовими пегматитами, які залягають серед метаморфогенних порід різного складу [10]. В акцесорній кількості він є в більшості пегматитових жил, де приурочений, головню, до кварцового ядра (блокового кварцу) та мусковіт-кварц-альбітових зон. У Західному Приазов'ї берил досить поширений у пегматитах Єлисеївського пегматитового поля (під час окупації України німці навіть видобували його кустарним способом). У Сорокінській зоні розташоване тантал-ніобієве родовище Балка Крута, в межах якого берил приурочений до мікроклін-альбітових, альбітових та альбіт-сподуменових пегматитів; тут виявлено кристали смарагду [6, 9]. Прожилки слюди з зеленим берилом містяться в пегматитовій жилі суттєво альбітового складу з виділеннями сірого кварцу. Прожилки мають потужність до 3–4 см, виповнюють розколини, утворюючи сплетіння й ланцюжки, з'єднані тонкими “провідниками”, іноді з незначними розширеннями. Зазвичай вони починаються від контакту ультрабазитів, що вміщують жили, і порід реакційної облямівки; всередину жили тягнуться на відстань до 2 м. З глибиною кількість жил зростає (на глибині до 230 м становлять близько 50 % керна) [16]. Вміст берилу в пегматитах альбітового типу такий: знаки – в мусковіт-кварц-альбітовій зоні; 0,01 % – у кварц-сподумен-альбітовій; 0,11 % – в апографічній кварц-альбіт-мікрокліновій; 0,16 % – у зоні блокового мікрокліну; 0,18 % – у зоні блокового кварцу; у пегматитах альбіт-сподуменового типу – знаки у зоні цукроподібного альбіту; 0,01 % – у зонах клеवलандиту і кварц-мусковітовій; 0,02 % – блокового мікрокліну; 0,03 % – кварц-альбіт-сподуменовій; 0,08 % – дрібнозернистій кварц-альбітовій; 0,10 % – блокового кварцу [14]. Найбільші кристали берилу приурочені до гнізд ясно-зеленого мусковіту, який утворився між великими блоками мікрокліну і кварцу [18]. У Східному Приазов'ї берил виявлено в центральній частині Катеринівського рудного поля, де він приурочений до мусковіт-біотит-альбіт-мікроклінових метасоматитів (грейзенів), у центральній частині Кам'яномогильського поля – до кварц-флюоритових жил [9].

**Форми прояву та морфологія.** Характерною особливістю кристалів берилу в камерних пегматитах Волині є його невизначене “залягання”, тобто точно не з'ясоване приростання індивідів до субстрату. За даними З.В. Бартошинського та ін. [1], кристали приурочені, головню, до повнодиференційованих пегматитових тіл, які мають чітку зональну будову. Вони зосереджені в занірковій ділянці, причому первинне їхнє положення в ній найчастіше порушене. Тут берил міститься серед глинисто-слюдисто-кварцової породи у вигляді різноорієнтованих індивідів або груп

кристалів: в одних пегматитових тілах мінерал є у пухкій глинистій масі каолінітового складу, в інших – у слюдисто-кварцовій породі. У разі інтенсивного розчинення берил може шезнути, і тоді про його минулу наявність свідчить тільки порожній простір у вигляді негативного кристала, оточений зональною слюдистою породою. Якщо розчинення зазнає група дрібних кристалів, то зональності в породі, яка їх заміщує, нема. У зоні вилуговування берил приурочений до альбіту ребристої будови, виповнює тріщини й порожнини вилуговування. Форма виділень неправильна, розмір не перевищує 0,5 см у поперечнику.

Розмір кристалів берилу коливається досить значно – від 3–4 см вздовж  $[0001]$  до декількох десятків сантиметрів, середня – 10–15 см за товщини 15–25 мм. Кристалам притаманні виняткове морфологічне різноманіття і багата скульптура граней. Голівок у більшості індивідів нема, а у вертикальному поясі розвинені майже винятково грані гексагональної призми  $\{10\bar{1}0\}$ , рідше призми  $\{11\bar{2}0\}$ ; в поодиноких випадках зафіксовано грані гексагональної біпіраміди  $\{11\bar{2}1\}$  і пінакоїда  $\{0001\}$ . Крім них, є багато дрібних граней, символи яких визначити важко. Обрис майже всіх кристалів стовпчастий, зрідка трапляється списоподібний (завдяки комбінації призматичних граней з розвиненими на місці голівок дигексагонально-дипірамідальними поверхнями). Майже всі кристали в перерізі, перпендикулярному до  $[0001]$ , представлені неправильними шестикутниками з опуклими боками. За обрисом кристалів, ступенем розвитку на них різних скульптур і візерунків та іншими ознаками в занірованих пегматитах виділено п'ять морфологічних типів берилу (рис. 1):

1) великі кристали призматичного габітусу (див. рис. 1, 1). Протилежні кінці осі  $[0001]$  притуплені раковистими поверхнями, субпаралельними до  $(0001)$ , рідше мають добре розвинені грані гексагональної біпіраміди  $\{11\bar{2}1\}$  і пінакоїда  $\{0001\}$ . Іноді матова плоска поверхня грані  $\{0001\}$  не є чітко перпендикулярною до  $[0001]$ , а утворює з нею кут  $\sim 84^\circ$ . До першого типу належать найбільші кристали, що видобути на Волинському родовищі і зберігаються в Музеї коштовного та декоративного каміння у Володарськ-Волинському. Найбільший кристал має розміри  $135 \times 19 \times 18$  см, його маса 66,60 кг. Інший кристал цього типу завдяки масі (15,30 кг) назвали “Пудовик”; його розміри  $40 \times 15 \times 14$  см;

2) великі довгопризматичні до стовпчастих кристали (див. рис. 1, 2). Призматичні грані сильно скульптуровані черепитчасто-жердинуватим візерунком і прямокутними западинами, а ребра між гранями  $\{10\bar{1}0\}$  лише вгадуються за сильно заокругленими грубоскульптурованими поверхнями. Типовими представниками другого типу є кристали “Володимир – князь київський”, “Академік Євген Лазаренко”, “Апостоли Петро і Павло”. Кристал “Володимир – князь київський” деякий час був експонатом Мінералогічного музею ВО “Кварцсамоцвіти”, нині його місцезнаходження невідоме. Розміри кристала  $55 \times 18 \times 16$  см, загальна маса 21,28 кг. Він складений з двох частин, одна з яких голубувато-зеленого кольору, прозора, у вигляді піраміди масою 6,690 кг (ювелірна сировина вищого гатунку). Кристал “Академік Євген Лазаренко” має розміри  $27 \times 10 \times 10$  см і масу 4,879 кг. Це високоякісний прозорий кристал оливково-зеленого кольору. Зросток кристалів берилу “Апостоли Петро і Павло” має розміри  $25 \times 10 \times 11$  та  $17 \times 8 \times 4$  см, його маса 6,009 кг. Це унікальний паралельний зросток двох прозорих кристалів оливково-зеленого кольору, які в нижній частині зливаються майже в монокристал;

3) списоподібні і призматично-списоподібні кристали, утворені комбінацією кривогранних дигексагонально-дипірамідальних поверхонь, які часто є в комбінації з грубоскульптурованими призматичними гранями (див. рис. 1, 3);

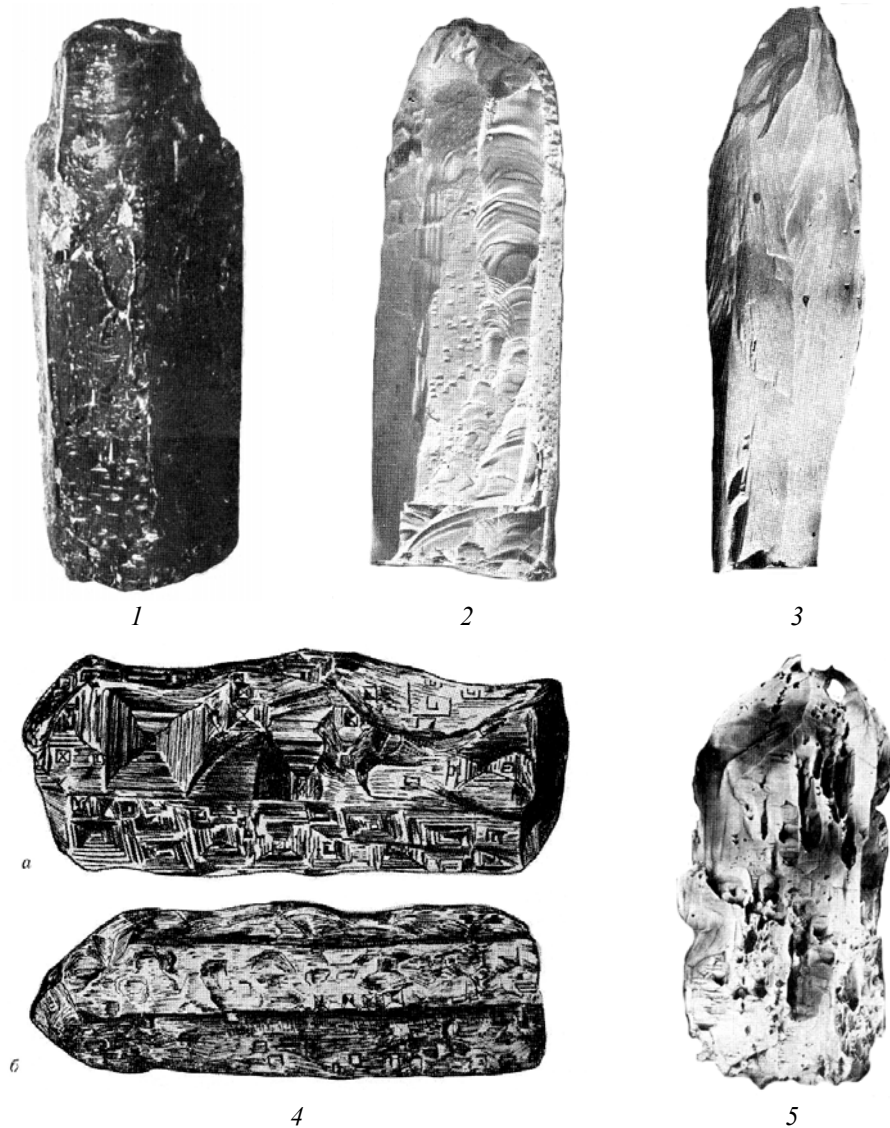


Рис. 1. Морфологічні типи кристалів берилу в камерних пегматитах Волині, за [7]:  
 1 – призматичний (перший морфологічний тип); 2 – грубоскульптурований призматичний (другий); 3 – призматично-списоподібний (третій); 4 – аквамарин (а) і зелено-салатовий берил (б) з грубою льодяниковою скульптурою (четвертий); 5 – розчинені кристали (п'ятий).

4) призматичні індивіди з грубим, схожим на льодяниковий, візерунком розчинення на гранях (див. рис. 1, 4б). До четвертого типу належить взірець аквамарину

розміром  $12 \times 5 \times 4,5$  см і масою 0,599 кг (див. рис. 1, 4a); кристал прозорий, призматичного габітусу, безголовий (фактично уламок, оскільки відбиті обидва кінці);

5) дрібні безформні зерна з деінде збереженими реліктами первинного огранування, у різних напрямках пронизані наскрізними кавернами розчинення неправильної форми (див. рис. 1, 5).

Між наведеними типами кристалів є ціла гама поступових переходів. Фігури розчинення за будовою відрізняються навіть на різних гранях одного кристала. На гранях призми  $\{10\bar{1}0\}$  кристалів першого морфологічного типу вони мають чотирикутну форму з прямо- або криволінійними обрисами, які поступово звужуються вглиб кристала. Іноді гранні заглиблення не утворюють замкнутої фігури, а виглядають як два вкладені один в одного напівквадрати з вигадливим візерунком у центрі фігури. На гранях пінакоїда  $\{0001\}$  переважають криволінійні западини, які конусоподібно сходяться вглиб грані. На окремих кристалах площина пінакоїда зберігається лише частково у вигляді острівків-останців між шестигранними лійкоподібними заглибленнями. Від багатьох лійок вглиб кристала відходять вузькі шестигранні каналці, які подекуди проходять крізь увесь кристал. На гранях призми  $\{10\bar{1}0\}$  лійкоподібні заглиблення не гексагональні, а неправильні, часто п'ятикутні. На біпірамідальних гранях наявні рівні шестикутні (у тім числі вигнуті колінчасті) та конусоподібні заглиблення. Усі заглиблення орієнтовані безладно щодо елементів симетрії кристала.

Головним морфологічним мотивом скульптури призматичних граней кристалів другого морфологічного типу є сполучення прямокутних западин з черепично-східчастим візерунком. Западини мають довжину до 30 мм за глибини до 5 мм, орієнтовані довгим боком як уздовж, так і впоперек грані  $\{10\bar{1}0\}$ . Скульптуровані ділянки кристала мають вигляд складної горбисто-заноюїстої поверхні.

Характер заглиблень на призматичних гранях кристалів третього типу дещо інший. Усі фігури видовжені перпендикулярно до головної осі кристала. Контури фігур прямо- і криволінійні, заглиблення мають чотири-, п'яти і шестигранну форму. На гранях виявлені також фігури росту (віцінальні утворення).

На поверхні кристалів берилу четвертого типу головним морфологічним мотивом є ознаки розчинення у вигляді льодяникової скульптури. Це система підвищень і заглиблень, між якими є плавні переходи і які пом'якшують та частково нівелюють усі раніше виділені скульптурні виступи й зниження, тому індивід має "оплавлений" вигляд. Подібна скульптура характерна і для аквамарину. Ще далі зайшов процес розчинення на кристалах п'ятого морфологічного типу. Їхня поверхня сильно ніздрювата, нагадує губку, вкриту великою кількістю прямокутних заглиблень і каверн неправильної форми, які наскрізь пронизують кристали. Звичайні прояви льодяникової скульптури.

Кристали акцесорного берилу в метасоматично змінених рапаківіподібних гранітах утворюють мономінеральні прожилки в зонах біотитової породи або виповнюють порожнини в сидерит-слюдистій породі. Характерні добре огранені кристали призматичного, рідше довгопризматичного обрису з розвиненими гранями призми й голівки. На кристалах налічують до восьми простих форм, серед яких переважають  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{0001\}$ ,  $\{11\bar{2}1\}$  та ін. Розмір кристалів за видовженням – 5–8 мм, у поперечнику – 1–3 мм, рідкісні індивіди довжиною до 1–2 см. Поверхні граней окремих кристалів покриті фігурами розчинення (кавернами, ребристими заглибленнями), які іноді призводять до повного щезання кристалографічних форм.

У пегматитах Приазов'я берил утворює призматичні гексагональні кристали, в огрануванні яких, крім габітусної форми  $\{10\bar{1}0\}$ , беруть участь пінакоїд  $\{0001\}$ , рідше призма  $\{11\bar{2}0\}$  і дипіраміда  $\{11\bar{2}1\}$ . Найчастіші кристали з недорозвиненими гранями, характерні паралельні зростання. Обрис видовжений, короткостовпчастий, іноді близький до ізометричного. Наявні як великі (до 10 см і більше), так і дрібні (до 1 см) індивіди. Дрібні кристали водяно-прозорого берилу та їхні зростки виповнюють порожнини в мікрокліні. Смарагдоподібний берил у пегматитах простраєє слюду у вигляді окремих різноорієнтованих кристалів, їхніх зростків або зернистих агрегатів. У біотит-флогопітовій облямівці крайової зони пегматиту виявлені порівняно великі (до 1,5–2,0 см) кристали яскраво-зеленого смарагду; дрібні (1–5 мм) кристалики наявні в ендоконтакті цієї зони. Кристали мають гексагонально-призматичний габітус, короткопризматичний обрис, характерні нерівномірно розвинені грані призми  $\{10\bar{1}0\}$  і добре розвинений пінакоїд  $\{0001\}$ , рідкісні грані дипіраміди  $\{11\bar{2}1\}$  нечіткі, з нерівною поверхнею. Розмір індивідів становить 5–20 мм за видовженням та 3–15 мм у поперечнику. Кристали дуже дефектні, містять численні включення альбіту, мусковіту, біотиту, зрідка турмаліну й циркону [16].

**Хімічний склад** різновидів берилу України наведено в таблиці. У камерних пегматитах Волині по-різному забарвлені кристали берилу слабо відрізняються за хімічним складом. Для них характерний низький вміст або відсутність  $\text{Fe}^{2+}$  за підвищеної кількості  $\text{Fe}^{3+}$ . За вмістом лужних елементів берил зачислено до безлужного різновиду. З елементів-домішок виявлені Ti, Mn, Ga (по  $\sim 0,001$ ), Nb ( $\sim 0,03$ ), Mo, Ba (по  $\sim 0,01$ ), Sc (0,0005–0,001), Cu ( $< 0,0003$ ).

Хімічні аналізи берилу Приазов'я відрізняються досить суттєвими коливаннями вмісту лугів, лужних земель, заліза та інших елементів. За вмістом лугів та їхнім складом берил у регіоні поділяють на чотири групи: безлужний, слабколужний, лужний та сильнолужний. Середній вміст у берилі Ta й Nb становить, відповідно,  $4 \cdot 10^{-4} \%$   $\text{Ta}_2\text{O}_5$  і  $8 \cdot 10^{-4} \%$   $\text{Nb}_2\text{O}_5$ . Вода в приазовському берилі міститься постійно (більше – в лужних різновидах). Наявні дані засвідчують, що найвірогідніші заміщення головних елементів-домішок у берилі відбуваються так: Mg,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , Mn, Sc (частково Li) заміщують  $^{6}\text{Al}$ ; Si може замішувати в тетраедрах Be, а луги (Na, K, Rb, Cs і, можливо, Ca), які слугують для компенсації заряду в разі гетеровалентного ізоморфізму, і молекули води звичайно розташовані в каналах кілець  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$ . Аномальність складу берилу Приазов'я полягає в тому, що поряд зі значною кількістю лугів наявні високі вмісти Ca, Mg, іноді Fe. Така особливість складу спричинена впливом вмісних порід (амфібол-біотитових гнейсів, амфіболітів, ультра- і метабазитів та ін.), а привнесення з них Cr супроводжується кристалізацією смарагду. Характерним для хімічного складу смарагдоподібного берилу Приазов'я є явно незакономірна хімічна негомogenousність кристалів – певна “плямистість” у розподілі хімічних елементів по об'єму мінералу (концентрація Cr і V в різних частинах кристала може відрізнятися майже удвічі, а Fe, Mg і Na – у півтора раза), а також досить низький вміст MgO та FeO. За ступенем і характером лужності мінерал належить до лужних натрових берилів, виявлені також калій і цезій ( $n \cdot 10^{-2} \%$ ).

Хімічний склад берилу України

Компонент	1	2	3	4	5	6

SiO <sub>2</sub>	64,64–66,04	65,70	63,00–64,02	64,79	64,26–64,60	64,03–66,09
TiO <sub>2</sub>				0,00	0,00–0,01	Сліди
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,04–20,16	18,48	18,20–18,35	16,31	17,57–18,48	17,57–18,33
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					0,00–сліди	0,04–0,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,64–1,48	0,22	0,00–2,00	0,00	0,00–2,71	0,14–2,71
FeO	0–0,07			1,17	0,22	0,17–0,43
MnO			0,00	0,00	0,01	0,00–0,08
BeO	12,24–14,10	13,50	13,20–17,65	13,07	8,20–12,47	8,20–13,90
MgO	0,04–0,24	0,46	0,00–0,10	0,48	0,29–0,70	0,00–0,93
CaO	0,24–0,70	1,05	0,28	0,50	0,00–0,56	0,00–2,92
Na <sub>2</sub> O	0,04–0,31	0,12	0,52	1,24	1,70–2,90	1,21–3,72
K <sub>2</sub> O	0,03–0,21	0,15	0,00–0,38	0,40	0,00–0,16	0,00–0,19
Li <sub>2</sub> O	0,03–0,06		0,02–0,65	0,14	0,00–0,64	0,00–0,30
CS <sub>2</sub> O					0,00–0,45	0,00–0,24
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,02–0,03		0,11	0,28	0,02–0,14	0,00–0,18
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,26–0,82	0,14	1,50	2,44	1,59–2,75	0,80–2,21

П р и м і т к и. Берил із: 1 – пегматитів Волині; 2–6 – пегматитів Приазов'я: 2 – безлужний; 3 – слабколужний; 4 – лужний; 5 – сильнолужний; 6 – смарагд.

В аналізі 1 визначено масовий вміст F у кількості 0,02–0,18 % та H<sub>2</sub>O – 0,06–0,18 %; в аналізі 4 – сліди P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; в аналізі 5 – 0,01 % Rb<sub>2</sub>O; в аналізі 6 – 0,09–0,20 % V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Рентгенометричних даних** стосовно берилу зовсім мало. На рентгенограмі берилу з камерних пегматитів Волині головні відбиття такі, нм: 0,78 (10); 0,323 (10); 0,284 (10); 0,1985 (7); 0,1505 (8); 0,1424 (7); 0,1274 (9); 0,1256 (9); 0,1200 (10). Параметри елементарної комірки берилу Приазовського регіону змінюються залежно від вмісту лугів, Са, Сг та інших елементів, причому змінюється, головню, параметр *c*: у безлужного різновиду – *a* = 0,920; *c* = 0,918 нм; у лужного натрієвого – *a* = 0,920; *c* = 0,916 нм; у натрій-кальцієвого з домішкою хрому – *a* = 0,9200; *c* = 0,9032 нм.

**Фізичні властивості.** Більшість кристалів берилу в заніркоаних пегматитах має зелене забарвлення різної густоти й відтінку – оливково-, салатого-, бруднуватозелене та ін. Дуже рідкісні індивіди гарного аквамаринового кольору. Ступінь прозорості мінералу залежить від низки дефектів – скульптури поверхні, тріщин, включень. Переважають напівпрозорі кристали, хоча є й індивіди кришталевої чистоти. Зокрема, кристали першого і п'ятого морфологічних типів непрозорі, брудного оливково-зеленого кольору, другого і третього – напівпрозорі й добре прозорі зелено-салатового кольору, четвертого – напівпрозорі зелено-салатові.

На Волинському родовищі нині виділяють такі кольорові різновиди берилу: берил звичайний – зелений різної інтенсивності; геліодор – золотисто-жовтий; аквамарин – зеленкувато-блакитний; гошеніт – безбарвний. У разі нагрівання до 300–320 °С берил знебарвлюється.

Колір берилу в рідкіснометалевих пегматитах Приазов'я змінюється від білого, сірувато-білого, жовтуватого й рожевуватого до зеленого різних відтінків. Кристали непрозорі, мутні або напівпрозорі, трапляються водяно-прозорі безбарвні індивіди. Блиск матовий, скляний до алмазного; злом нерівний, раковистий. Мінерал крихкий. Смарагдоподібний берил зеленого й сіро-зеленого кольору, причому забарвлення нерівномірне з плямистим розподілом по кристалу. Кристали смарагду яскраво-зелені, зі слабким голубуватим відтінком і скляним блиском. Уважають, що забарвлення берилу зумовлене, головню, домішками іонів Fe<sup>2+</sup> і Fe<sup>3+</sup> в різних структурних позиціях бериллової ґратки. На думку Є.К. Лазаренка та ін. [10], хро-

мофором яскраво-зеленого забарвлення смарагду може бути не тільки хром (бразильські смарагди майже не містять Cr), а й ванадій або якісь інші комбінації хрому з іншими хромофорами.

Густина берилу з рідкіснометалевих пегматитів Приазов'я змінюється залежно від хімічного складу мінералу: від 2,66 (у безлужних різновидів) і 2,680–2,704 (у натрієвих) до 2,78 г/см<sup>3</sup> (у лужноземельних). Для приазовського смарагду наводять різні значення густини – 2,79 [14] та 2,70–2,72 г/см<sup>3</sup>, що трошки нижче порівняно зі смарагдом інших родовищ світу [16]. Твердість на призматичних гранях кристалів берилу з камерних пегматитів Волині коливається в межах 13524–13671 МПа, з пегматитів Приазов'я – 10476,2–14543,2 МПа, причому у прозорих різновидів мінералу вона збільшується [8]. Простежується анізотропія твердості: твердість граней призми {10 $\bar{1}$ 0} значно вища, ніж пінакоїда {0001}. Коефіцієнт анізотропії твердості  $K_n = 1,2$ .

Показники заломлення всіх різновидів берилу з камерних пегматитів Волині коливаються в дуже незначних межах:  $n_o = 1,568$ – $1,570$ ;  $n_e = 1,566$ – $1,567$ . Більше змінні ці показники для різновидів приазовського берилу:  $n_o = 1,583 \pm 0,005$ ;  $n_e = 1,576 \pm 0,003$  (з рідкіснометалевих пегматитів);  $n_o = 1,570$ ;  $n_e = 1,566$  (безлужний прозорий берил);  $n_o = 1,577$ ;  $n_e = 1,572$  (лужний натрієвий);  $n_o = 1,588$ ;  $n_e = 1,582$  (лужноземельний). У товстих шліфах слабо помітний плеохроїзм мінералу в жовтуватих і голубуватих тонах, хоча звичайно під мікроскопом він безбарвний, зі слабким двозаломленням ( $n_o - n_e = 0,004$ – $0,006$ ). Дані щодо оптичних характеристик смарагду відрізняються:  $n_o = 1,583$ ;  $n_e = 1,576$  [6];  $n_o = 1,588$ – $1,590$ ;  $n_e = 1,580$ – $1,582$ ;  $n_o - n_e = 0,008$  [16].

В ІЧ-спектрі поглинання смарагду смуги в інтервалі 400–1300 см<sup>-1</sup> пов'язані зі структурними коливаннями: смуга 1190 см<sup>-1</sup> відповідає короткохвильовому коливанню BeO<sub>4</sub>-тетраедра, 960 см<sup>-1</sup> – коливанню SiO<sub>4</sub>-тетраедра, 825 см<sup>-1</sup> – коливанням гексагональних кілець Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>, 746, 693, 595 см<sup>-1</sup> – коливанням BeO<sub>4</sub>-тетраедра, а 535 см<sup>-1</sup> – коливанням AlO<sub>6</sub>-октаедра. Смуги поглинання в ділянці спектра <500 см<sup>-1</sup> звичайно зачисляють до довгохвильових коливань SiO<sub>4</sub>-тетраедра. Смуги поглинання в ділянці 1628, 3592 та 3655 см<sup>-1</sup> зумовлені водою, розташованою поряд з лужним іоном [10].

Новітні дослідження засвідчили, що у спектрі оптичного поглинання смарагду (рис. 2) у видимій ділянці (~380–750 нм) наявні чіткі характерні смуги та лінії поглинання, зумовлені електронними *dd*-переходами в іонах Cr<sup>3+</sup>, що ізоморфно заміщують іони Al<sup>3+</sup> в октаедричних позиціях кристалічної структури мінералу. Накладені на більш довгохвильову смугу вузькі лінії поглинання (найінтенсивніша лінія при 684 нм або 14 620 см<sup>-1</sup>) зумовлені забороненими за спіном переходами в <sup>6</sup>Cr<sup>3+</sup>, або так званими *R*-лініями. Наявність таких ліній поглинання у поляризованих спектрах берилу, зафіксованих за допомогою гемологічного спектроскопа, однозначно свідчить про ізоморфне входження домішки Cr до структури берилу і заміщення ними іонів Al<sup>3+</sup> в октаедричних позиціях. Тому цей берил за спектроскопічними характеристиками цілком правомірно зачисляти до смарагду.



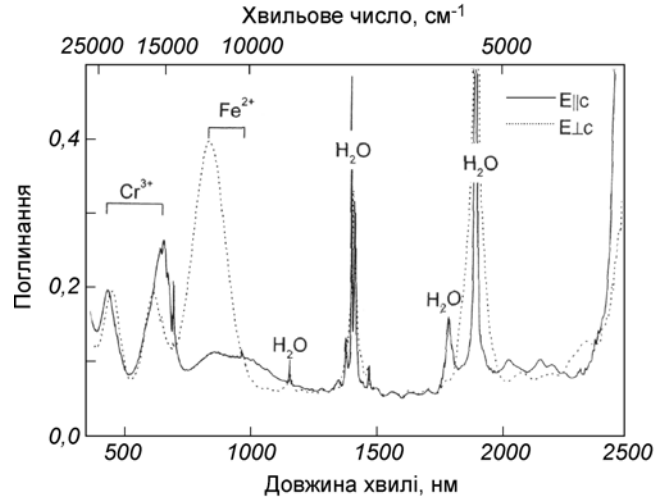


Рис. 2. Поляризований оптичний спектр поглинання смарагду з прояву Балка Крута у Приазов'ї, за [16].

Методом ІЧ-спектроскопії в приазовському берилі визначено два типи води, які відрізняються за становищем її молекул у структурі мінералу. Загалом молекули води – найпоширеніший “наповнювач” берилітичних каналів: незалежно від складу і генезису берил практично завжди містить воду [2]. Вона перебуває у мономолекулярному стані у ширшій частині структурних каналів, причому можливі два типи води, по-різному розташовані щодо осі  $C_6$ . На підставі спектрів протонного магнітного резонансу зроблено висновок [4] про існування третього типу молекул води, вектор  $H-H$  яких розташований під кутом  $60^\circ$  до осі  $C_6$ ; припускають можливість обміну між водою першого й третього типу.

Вода винятково високотемпературного характеру; вона видаляється за температури  $780-1180^\circ\text{C}$  поступово, а незначне виділення води при  $390^\circ\text{C}$  зумовлене розтріскуванням рідких включень у мінералі. Виділення води не супроводжується структурними змінами в каркасі берилу. Закріплена вода в каналах берилу за температури понад  $400^\circ\text{C}$  починає переходити у вільний стан (цей процес повністю оборотний і стосується обох типів води), і дегідратація відбувається після того, як більша частина води стає вільною.

Стосовно наявності ОН-групи в каналах берилу, то аналіз ІЧ-спектрів дегідратованих і регідратованих зразків засвідчив наявність у них гідроксильних груп, які містяться в інтерстиціях, а також разом з молекулами води заповнюють канали структури. Їхня наявність у структурі кристалохімічно більш виправдана (компенсатори надлишку позитивного заряду), і цим пояснюють їхню регідратацію, на відміну від молекул води.

**Генезис і парагенезис.** Оскільки кристали берилу на Волині містяться, головне, в заніткових ділянках, то припускають, що виникнення основної маси мінералу пов'язане з формуванням цієї частини пегматитів. Ріст більшості кристалів відбувався шляхом як вільної кристалізації в порожнині, так і метасоматичного заміщення інших мінералів, зокрема польових шпатів. Підтвердженням першого висновку може слугувати бідність волинського берилу на луги (відомо, що в пегматитах

інших регіонів лужний різновид берилу не пов'язаний з явищами заміщення). На користь другого припущення свідчить наявність у каналах сильно змінених кристалів берилу білої глинки каолінітового складу, яка є продуктом зміни польового шпату.

Визначено, що система кристалізації берилу в камерних пегматитах була гетерогенною. Кристали берилу містять численні рідинно-газові включення, головно вторинні, більшість із них мають наповнення водним розчином менше 5 % вакуолі. Багато суттєво газових включень ( $L = 3-5\%$ ). Вивчення первинних газово-рідинних включень засвідчило, що температура їхньої гомогенізації коливається в інтервалі 310–438 °С, зрідка більше. Уважають що формування берилу відбувалось за температури близько 400 °С в занірковій ділянці, за трохи вищої – в зоні вилуговування й перекристалізації, а на межі 500 °С – у метасоматично змінених породах [11–13].

У складі водних витяжок середовища кристалізації берилу зафіксовано високий вміст іонів калію; іон  $F^-$  відіграє роль лише каталізатора процесу. Включенням у берилі властиве зміщення рН в лужну ділянку (7,5–8,5±0,2). Вони мають такий газовий склад, %:  $CO_2 - 74,8-88,5$ ;  $N_2 - 0-15,7$ ;  $CH_4 - 1,3-18,7$  (берил із занірка у кристаленосних пегматитах);  $CO_2 - 25,99-28,57$ ;  $N_2 - 0$ ;  $CH_4 - 71,43-74,01$  (із зон вилуговування у цих пегматитах);  $CO_2 - 78,8-87,1$ ;  $N_2 - 12,9-17,1$ ;  $CH_4 - 0-4,1$  (з рідкіснометалевих пегматитів Коростишівського гранітного масиву).

Отже, берил формувався шляхом вільної кристалізації в занірках, а також під час метасоматичного заміщення в зонах вилуговування і пегматитах периферійної частини Володарськ-Волинського поля. Наявність у берилі первинних включень з низьким ступенем наповнення свідчить, що ріст більшості кристалів починався за умов зменшення густини флюїду. Метасоматичний берил утворювався в умовах підвищення лужності в процесі вилуговування й часткового гідролізу калішпату.

Під час росту кристалів берилу в занірках визначено таку послідовність зміни мінералоутворювальних розчинів: газово-рідкі розчини, що кипіли, з густиною, близькою до критичної → гетерогенні висококонцентровані розчини, яким відповідають багатофазові включення → гетерогенні розчини, у газовій фазі яких переважав  $CO_2$ . Берил стійкий за низьких і середніх значень потенціалів калію та фтору. Підвищення кислотності розчинів, зростання вмісту фтору та інші чинники зумовлювали розчинення або заміщення берилу слюдисто-бертрандит-кварцовим агрегатом.

Визначено, що процеси розчинення берилу в пегматитових тілах відбувались двома якісно різними шляхами. Якщо процес був повільним за умов слабого недонасичення, то виникали комбінації гексагональних призм і дигексагонально-дипірамідальних кривогранних поверхонь, а також списоподібні псевдодигексагонально-дипірамідальні індивіди. З часом і зі зростанням інтенсивності розчинення кут між цими поверхнями та віссю [0001] ставав щораз гострішим (до 20°). На межі виникали веретеноподібні або голчасті індивіди з блискучими грубоскульптурованими гранями. Другий процес розчинення відбувався значно інтенсивніше і пов'язаний з вищою температурою та наявністю газової фази, про що свідчить матовість поверхні кристалів. Під час такого розчинення вражались найуразливіші ділянки кристала (зумовлені неоднорідністю його будови, дислокаціями, включеннями сторонніх частинок, домішками тощо). З такими ділянками пов'язане виникнення фігур травлення, які одночасно є гирлами каналів, що проникають на різну глибину всередину кристала. Канали з часом та зростанням інтенсивності розчинення зливались, розширювались і вражали щораз нові ділянки граней; одночасно

відбувалось поступове проникнення цих утворень усе глибше в центральні частини індивідів. Наслідком процесу є розпад кристала на окремі частини і виникнення безформних зерен вигадливої конфігурації, наскрізь пронизаних системою борозенок різної ширини й наскрізних отворів. Проміжною ланкою між індивідами, що схарактеризовані цими двома типами процесів розчинення, є кристали берилу четвертого морфологічного типу. Подекуди процеси розчинення були настільки інтенсивні, що приводили до повного зникнення берилу; про це свідчать знахідки порожніх (у вигляді негативних кристалів) просторів, оточених зональною породою слюдисто-берtrandитового складу. Отже, наявність сильно травлених кристалів берилу є доказом частих коливань кислотності–лужності розчинів і співвідношення потенціалів калію та фтору. Руйнування берилу в умовах порівняно низького потенціалу фтору добре підтверджене фактами заміщення берилу фенакітом і ортоклазом асоційований берил метасоматично змінених вмісних рапаківіподібних гранітів ріс за умов слабколужного середовища, близького до нейтрального, в інтервалі температури 510–480 °С за участю вуглекислоти і хлоридів лужних металів [13].

У породах Приазов'я парагенезиси берилу різноманітні. В асоціації з тантало-ніобатами і каситеритом він наявний у мусковіт-біотит-альбіт-мікроклінових метасоматитах (грейзенах) Катеринівського рудного поля, а з колумбітом і каситеритом – у кварц-флюоритових жилах центральної частини Кам'яногогільського поля. У пегматитах Кам'яних Могилах та р. Кальчик берил асоціює з альбітом, мусковітом, ганітом, колумбітом, турмаліном, апатитом, гранатом. Уважають [17], що акцесорний берил у кам'яногогільських гранітах належить до метасоматичної стадії. Кристали смарагду в ендоконтактній зоні пегматиту тісно асоціюють з альбітом, кварцом, апатитом, біотит-флогопітом, турмаліном та іншими мінералами.

У берилі Приазов'я наявні рясні включення мінералоутворювальних розчинів, проте первинних не так багато, їхній розмір становить соті частки, зрідка 0,1 мм. Первинні включення виявлені в зоні кристалів, переповненій твердими включеннями апатиту, альбіту, слюди і кварцу, розташованими паралельно до видовження берилу. У зоні таких включень є й первинні включення у вигляді негативних кристалів, однак без твердої мінеральної фази. Фазове наповнення включень таке: водний розчин – 30–70 % об'єму порожнини, рідкий CO<sub>2</sub> – 25–30, газова фаза – від 0 до 5–10 %. Включення мають азотно-метаново-вуглекислотний склад, %: CO<sub>2</sub> – 50,1; N<sub>2</sub> – 14,0; CH<sub>4</sub> – 35,9. За даними К.І. Литовченко [8], найвища температура гомогенізації первинних включень становить 380–420 °С (у газову фазу). Б.В. Заціха та Л.Ф. Лавриненко [5] за сингенетичними включеннями водного розчину й вуглекислоти обчислили тиск мінералоутворювального розчину, який становить ~490·10<sup>5</sup> Па за T = 120–125 °С. Більш високотемпературні розчини (240–280 °С) перебували під тиском ~800·10<sup>5</sup> Па.

Отже, кристалізація берилу відбувалася з рідких розчинів, збагачених вуглекислотою, за температури понад 330–350 °С і, можливо, з газових розчинів за температури не нижче 380–420 °С. Тиск у цьому разі був, очевидно, не нижче визначеного для вторинних включень – понад 490–800·10<sup>5</sup> Па. Зі зниженням температури мінералоутворювальний розчин ставав гетерогенним, і газова фаза складалася, головню, з вуглекислоти. Тиск розчинів був досить значним і при 150–120 °С ще становив ~490·10<sup>5</sup> Па. Великі кристали берилу, приурочені до гнізд мусковіту між блоками мікрокліну і кварцу, викристалізувалися пізніше від мікрокліну й раніше від квар-

цу, оскільки мікроклін захоплений берилом у процесі його кристалізації, а прожилки кварцу з мусковітом перетинають його кристали.

1. *Бартошинский З.В., Матковский О.И., Сребродольский Б.И.* Акцессорный берилл из камерных пегматитов Украины // Минерал. сб. 1969. № 23. Вып. 4. С. 382–397.
2. *Владимирова М.В., Геворкьян С.В.* ИК-спектроскопическое исследование водород-кислородных группировок в берилле // Минерал. журн. 1986. Т. 8. № 6. С. 51–57.
3. *Галабурда Ю.А.* Особенности генезиса коростышевских пегматитов // Геохимия и рудообразование. 1991. Вып. 18. С. 94–99.
4. *Заварзина Н.И., Габуда С.П., Бакакин В.В., Рылов Г.М.* ЯМР-анализ воды в бериллах // Журн. структур. химии. 1969. Т. 10. № 5. С. 804–810.
5. *Защиха Б.В., Лавриненко Л.Ф.* Генетические особенности минералообразования Сорокинской тектонической зоны (Приазовье) // Минерал. сб. 1970. № 24. Вып. 1. С. 99–109.
6. *Лавриненко Л.Ф., Левенштейн М.Л., Полуновский Р.М.* и др. Находка изумруда на Украине // Минерал. сб. 1971. № 25. Вып. 1. С. 85–87.
7. *Лазаренко Е.К., Павлюшин В.И., Латыш В.Т., Сорокин Ю.Г.* Минералогия и генезис камерных пегматитов Волыни. Львов, 1973.
8. *Литовченко Е.И.* Гранитные пегматиты Западного Приазовья. Киев, 1976.
9. *Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины.* Киев–Львов, 2005. Т. 1; 2006. Т. 2.
10. *Минералогия Приазовья / Лазаренко Е.К., Лавриненко Л.Ф., Бучинская Н.И.* и др. Киев, 1981.
11. *Наушко И.М.* Условия формирования камнесамоцветной и редкометальной минерализации в гранитных пегматитах Украинского щита (по данным исследования флюидных включений): Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Львов, 1986.
12. *Ремешило Б.Г.* О жидких включениях в акцессорном берилле занорышевых пегматитов Украины // Минерал. сб. 1971. № 25. Вып. 3. С. 262–264.
13. *Ремешило Б.Г.* Включения в акцессорном берилле метасоматически измененных пород (на примере занорышевых пегматитов Волыни) // Минерал. сб. 1972. № 26. Вып. 3. С. 318–320.
14. *Розанов К.И., Лавриненко Л.Ф.* Редкометальные пегматиты Украины. М., 1979.
15. *Справочник по петрографии Украины (магматические и метаморфические породы) / Усенко И.С., Есипчук К.Е., Личак И.Л.* и др. Киев, 1975.
16. *Таран М.М., Яковлева В.В., Вишневський О.А., Панченко В.І.* Дослідження хромвмісного берилу – смарагду з прояву Крута Балка (Приазов'я) // Мінерал. журн. 2005. Т. 27. № 2. С. 93–101.
17. *Щербakov И.* Петрология Украинского щита. Львов, 2005.
18. *Юрк Ю.Ю.* Редкие минералы пегматитов Приазовья. Киев, 1956.
19. *Яковлева В., Каменчук В.* Берил України // Мінерал. зб. 2004. № 54. Вип. 2. С. 189–194.

**BERYL IN GEOLOGICAL FORMATIONS OF UKRAINE****Ye. Slyvko**

*Ivan Franko National University of Lviv  
Hrushevskogo St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine  
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

Information about distribution of beryl mineralization and various features of beryl in geological formations of Ukraine has been resulted. Mineral is rare; it is connected with chambered and ceramic pegmatites of Volynian region and ceramic and rare-metal pegmatites of Periazovian region. Different physical and chemical properties of beryl as well as its genetic features have been shortly analysed.

*Key words:* beryl, crystallomorphology, physical and chemical properties, genesis, Ukraine.

Стаття надійшла до редколегії 22.06.2007  
Прийнята до друку 26.06.2007