

УДК 549.091

В.М. Хоменко, кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник; провідний науковий співробітник<sup>1</sup>  
E-mail: vladimir.khom@yahoo.com

Герхард Франц, доктор наук, професор<sup>2</sup>

О.П. Беліченко, кандидат геологічних наук, керівник відділу експертизи дорогоцінного каміння<sup>3</sup>  
E-mail: lbgems@gmail.com

<sup>1</sup>Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України,  
пр. Палладіна, 34, Київ, 03142, Україна

<sup>2</sup>Технічний університет Берліну  
Ернст-Ройтер Платц 1, D-10587, Берлін, Німеччина

<sup>3</sup>Державний гемологічний центр України  
вул. Дегтярівська, 38–44, Київ, 04119, Україна

# Кристалохімічні і спектроскопічні особливості берилів пегматитів Волині та Виборзького масиву (Фінляндія)

DOI: [https://doi.org/10.53036/2022-3\(109\)-2](https://doi.org/10.53036/2022-3(109)-2)

(Рекомендовано кандидатом геологічних наук Бєлєвцевим О.Р.)

Зразки берилу з України (Волинь) і Фінляндії (Виборзький масив, Луумякі), пов'язані з камерними пегматитами в протерозойських гранітах рапаківі, вивчалися методами електронного мікрозондового аналізу, рентгенівської дифракції, оптичної та інфрачервоної спектроскопії. Попередні дослідження вказують на подібність умов кристалізації, фізичних параметрів, характеру включень і гемологічних характеристик берилів з обох родовищ.

Ключові слова: берил, кристалохімія, ІЧ-спектри, включення, камерні пегматити.

## Вступ

Жовто-зелені берили (геліодори) Волині добре відомі у світі як науковцям, так і численним колекціонерам. Водночас берили Фінляндії, зокрема подібні за кольоровою гамою геліодори і зелені берили Луумякі (Виборзький масив рапаківі), знайдені вперше у 1982 році, залишаються слабо вивченими і майже невідомими широкому загалу колекціонерів за межами Західної Європи. При цьому, зважаючи на їх відмінну якість і обмежений видобуток, ціни на них у самій Фінляндії майже вдвіть більші за аналогічні камені з інших родовищ. Цими обставинами зумовлена як наукова, так і практична важливість дослідження індивідуальних рис берилів

обох родовищ шляхом поглибленого вивчення їх кристалохімічних і спектроскопічних особливостей комплексом сучасних методів для уточнення умов кристалізації і надійної ідентифікації ювелірної сировини.

## Виклад основного матеріалу

Пегматити Kännätsalo розташовані в межах Виборзького масиву в муніципалітеті Луумякі на південному сході Фінляндії в 40 км від кордону з Росією [1]. Вони містять як міаролітові пустоти, так і справжні невеликі камерні пегматити до 1,5×0,7 м [2], з яких, починаючи з 1982 року, було видобуто кілька десятків кілограмів ювелірних берилів. Найбільший знайдений кристал важить

2248 каратів, або майже 450 грамів [2]. За геологією пегматити Виборзького масиву нагадують волинські, хоча аномалізанти тут займають значно менші площі [3]. Датування визначають вік граніту в межах від 1,65 до 1,7 Ма років [2], що практично збігається з віком гранітів і пегматитів Волинського родовища, розташованого на західному ендоконткті Коростенського плутону (1765 і 1760 Ма відповідно) (дані Л. Шумлянського).

Зовнішній вигляд кристалів берилу обох родовищ, включно з кольоровою гамою від оливково-зеленої до зеленувато-жовтої (рис. 1А) і характерними фігурами розчинення на гранях (рис. 2), також дуже схожий. Більшість кристалів ювелірної якості можна вважати типовими геліодорами.



Рисунок 1А. Кольори кристалів берилів Фінляндії (верхній ряд, фото П. Ликберга) і Волині (фото авторів)



А



Б

Рисунок 1Б. Типове забарвлення огранованих ювелірних вставок з берилу Фінляндії (А, фото П. Ликберга) і Волині (Б, фото авторів)

Жовто-зелені берили Волинського родовища добре відомі у світі як науковцям і колекціонерам, так і ювелірам. Якість і комерційна цінність цих каменів найбільше залежить від насиченості та яскравості кольору. За системою еталонів кольору GemSet Геомологічного інституту Америки геліодори Волинського родовища мають кольори gY (зеленувато-жовтий), Y (жовтий), oY

(оранжево-жовтий), yO (жовтувато-оранжевий), YG/GY (жовто-зелений чи зелено-жовтий), styG (сильно жовтувато-зелений) різного ступеня світлоти і насиченості [4]. І хоча на Волинському родовищі геліодори високих якісних характеристик досить рідкісні, жовто-зелені та жовті берили Волині є цінною каменесамодію сировиною та користуються високим попитом на юве-

лірному ринку України, а також добре відомі на світовому ринку коштовного каміння.

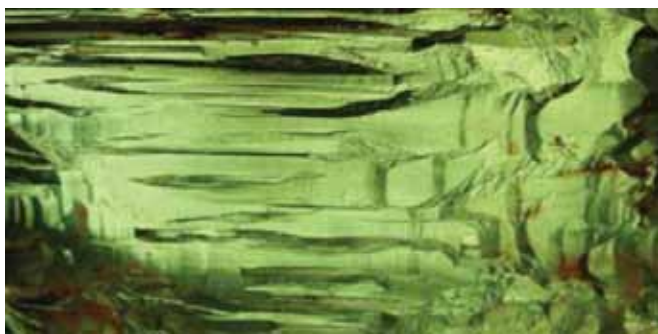
Водночас для ювелірних берилів Фінляндії характерні більш насичені зелено-жовті й жовто-зелені кольори (рис. 1, 2), а на ринку колекційного каміння Північної і Західної Європи їх ціна в рази вища за ціну аналогічних зразків з Волині.

Лазаренко та ін. [5] описав різні стадії розчинення волинського берилу, які призвели до утворення п'яти морфологічних типів стовпчасто-призматичних кристалів з характерними скульптурними гранями (рис. 2Б) та системами конусів розчинення, так званими «каналами травлення». На основі обмежених публікацій зображень кристалів геліодору з Фінляндії (Луумякі) можна припустити, що для них типовими є видожені вздовж осі *c* фігури розчинення на гранях призми з прямокутними ступінчастими заглибленнями на кінцях (рис. 2А).

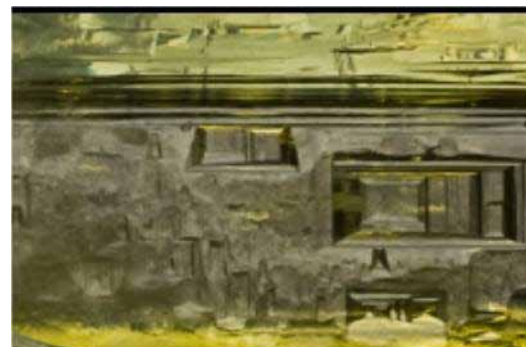
Берліна за умов 15 kV, 20 nA. В ролі стандартів використовували природні мінерали і чисті метали: Al, Si – андалузит; Ca – воластоніт; Na – альбіт; K – ортоклаз; Mg – олівін; Fe – метал; Ti – синтетичний TiO<sub>2</sub>). Межі виявлення ≈ 0,01 wt%. У кожному зразку вимірювання проводили в 3–5 точках діаметром 10 мкм.

У таблиці наведено межі коливань вмісту основних оксидів у берилах Волині і Виборзького масиву (за відомостями [12]) залежно від переважання в їхньому забарвленні зелених і жовтих відтінків. Отримані результати узгоджу-

Параметри кристалічної ґратки для блідо-жовтого кристала волинського берилу були визначені методом рентгєнівської дифракції М. Готтшаком (GFZ Potsdam). Отримані результати:  $a = 9,2061(4) \text{ \AA}$ ,  $c = 9,1873(5) \text{ \AA}$ ,  $V = 674,34(5) \text{ \AA}^3$ ,  $ca = 0,998$  відповідають розрахованим параметрам для чистого стехіометричного берилу [13]. За даними [12], дуже близькі значення параметрів ґратки були раніше визначені і для жовтого берилу Луумякі:  $a = 9,203(1) \text{ \AA}$ ,  $c = 9,192(2) \text{ \AA}$ ,  $V = 672,68 \text{ \AA}^3$ ,  $ca = 0,999$ . Таким чином, геліодори Волині і Фінляндії дуже близькі до ідеального берилу.



А



Б

Рисунок 2. Фігури розчинення на гранях призми берилів Фінляндії (А, фото П. Ликберга) і Волині (Б, фото авторів)

За відомостями вивчення флюїдних включень, берили Волині могли сформуватись у приповерхневих камерах в умовах від переважно закритої до відкритої системи в широкому інтервалі температур від 490 до 190°C на глибинах 1–2,5 км [6–8]. Первинні включення берилів Фінляндії гомогенізуються за 370–390°C, температура їх утворення становить до 490°C за тиску 0,2–1,0 МПа [9, 10]. З твердих включень у берилі Волині були описані альбіт, мікроклін, мусковіт, пірит, колумбіт, рутил, оксиди заліза. У менш вивчених берилах Фінляндії – альбіт, слюда та кварц, які кристалізувалися з рідини одночасно з кристалізацією берилу [2, 10].

Питома вага геліодорів Волині і Виборзького масиву однакова (2,66–2,70 і 2,69 г/см<sup>3</sup> відповідно [2, 11]), а показники заломлення фінських берилів (1,566–1,568 ( $n_p$ ) і 1,574–1,575 ( $n_g$ )) [2] дещо вищі у порівнянні з волинськими (1,562–1,566 ( $n_p$ ) і 1,568–1,571 ( $n_g$ )).

Хімічний склад волинських берилів визначався у дев'яти зразках на електронному мікросонді «Camebax SX 50» в лабораторії Технічного університету

ються з раніше опублікованими даними і вказують на близькість геліодорів обох родовищ до «чистих» берилів з малою кількістю лугів і структурних домішок. Низькі втрати ваги за нагрівання до 1000°C також свідчать про низький вміст летких сполук (H<sub>2</sub>O і CO<sub>2</sub>). В обох родовищах зелені берили відрізняються від жовтих незначним збільшенням вмісту заліза і натрію.

Раніше нами було показано, що колір волинських берилів зумовлений інтенсивністю короткохвильової смуги поглинання переносу заряду O<sup>2-</sup> → Fe<sup>3+</sup>, тоді як Fe<sup>2+</sup> на нього не впливають [11, 14]. Для порівняння були досліджені оптичні й інфрачервоні спектри двох жовтих зразків берилу Луумякі. Поляризовані спектри поглинання були отримані на мікроспектрофотометрі,

Таблиця. Усереднений хімічний склад зразків жовтого і зеленого берилу з пегматитів Волині (9 зразків) і Виборзького масиву [12]

	Волинь		Виборзький масив (Луумякі)	
	жовті	жовто-зелені	жовті	зелені
SiO <sub>2</sub>	66,03-67,78	66,43-67,58	64,32-66,09	64,16-65,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,58-18,69	17,58-18,74	16,55-17,44	16,50-17,30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Cr	0,00	0,00	18 ppm	23 ppm
FeO	0,27-0,49	0,43-0,58	0,33-0,48	0,47-0,68
MgO	0,00-0,10	0,00-0,08	0,00-0,07	0,00-0,18
CaO	0,00-0,02	0,00	0,00-0,02	0,00-0,04
Na <sub>2</sub> O	0,02-0,04	0,04-0,07	0,02-0,06	0,03-0,08
Li <sub>2</sub> O	0,02-0,03	n.d.	0,01	n.d.
BeO*	13,5-14,23	13,66-14,12	13,71	13,32

\*Розраховано з кристалохімічних формул за умови суми оксидів 100 %.

змонтованому на базі монохроматора «SpectraPro-275» і мікроскопа «MIN-8» [14], у діапазоні 30000–6000  $\text{cm}^{-1}$  і за допомогою FTIR спектрометра «Bruker IFS-66» (ТУ Берлін) у діапазоні 7000–2000  $\text{cm}^{-1}$ .

На рисунку 3 наведено спектри поглинання жовтих берилів Волині і Виборзького масиву (Луумякі) у видимому і ближньому ІЧ-діапазонах в перерахунку на товщину зразка 1 мм. Вони мають однакову конфігурацію завдяки інтенсивному краю УФ-поглинання, поляризованій смугі в районі 810 нм ( $E_{\perp c}$ ) і відносно слабому дублету накладених смуг близько 825 і 950 нм ( $E_{\parallel c}$ ). Разом ці смуги формують широкий максимум пропускання в зелено-жовтій області спектра, який і зумовлює типове «геліодорове» забарвлення. Вузькі піки обертонів і складених коливань молекул води в структурних каналах близько 11500, 9567 і 9200  $\text{cm}^{-1}$ , поляризовані вздовж осі  $c$ , не впливають на забарвлення берилів.

Порівняння спектрів на рисунку 3 дозволяє виявити ряд відмінностей у спектрах фінського і волинського берилів. Так, край УФ-поглинання берилу Луумякі практично не поляризований, що є типовою рисою спектрів геліодорів, тоді як у спектрі берилу з Волині край поглинання має чітку поляризацію

$E_{\parallel c} > E_{\perp c}$ , що пов'язано з присутністю  $\text{Fe}^{3+}$  у тетраедричних позиціях [14]. Також у спектрах фінського берилу більшу інтенсивність мають усі смуги іонів  $\text{Fe}^{2+}$  – як в тетраедричній координації (810 нм), так і в октаедрах (Ян-Теллерівський дублет переходу  ${}^5T_2 \rightarrow {}^5E$  близько 825 і 950 нм,  $E_{\parallel c}$  [14, 15]). Ще виразніше проявляється різниця в інтенсивності піків обертонів коливань молекул води: вони в спектрах геліодору Луумякі удвічі інтенсивніші в порівнянні зі спектрами волинського берилу.

Складна система смуг фундаментальних валентних коливань (симетричних 1 та асиметричних 3) молекул  $\text{H}_2\text{O}$  і пов'язаних з ними широких бічних ротаційних максимумів у досліджених берилах в районі 4100–3300  $\text{cm}^{-1}$  зображені на рисунку 4. Піки  $\nu_1$  (симетричні коливання) близько 3700  $\text{cm}^{-1}$  ( $E_{\parallel c}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  I) і 3650  $\text{cm}^{-1}$  ( $E_{\perp c}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  II) в ІЧ-спектрах поляризовані в напрямку осі симетрії молекул води, а  $\nu_3$  (асиметричні) в районі 3600  $\text{cm}^{-1}$  ( $E_{\parallel c}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  II) – перпендикулярно до неї [11, 13, 16, 17]. Зображені на рисунку 4 спектри показують значне, майже вдвічі, збільшення інтенсивності смуг саме молекул води II типу, які пов'язані з присутністю в структурних каналах іонів лужних металів [13, 18].

## Висновки

Таким чином, спектроскопічними методами підтверджена подібність берилів двох родовищ, проте встановлено також відмінності в ближньому УФ- і середньому ІЧ-діапазонах спектрів, які пов'язані з розподілом іонів заліза у структурі берилу і з кількістю та типом молекул води в структурних каналах. Отримані результати дозволяють зробити попередній висновок про наявність діагностичних характерних рис берилів Волині і Виборзького масиву. Ці кристалохімічні відмінності можуть бути встановлені лише спектроскопічними методами, оскільки вони зумовлені не стільки незначними коливаннями малих концентрацій іонів і молекул, як, головним чином, їх розподілом у структурі. Для остаточних висновків і розробки кількісних статистичних критеріїв ідентифікації геліодорів різного походження потрібні подальші дослідження з залученням більшої кількості зразків, які представляють усю гаму кольорів кожного з відомих родовищ.

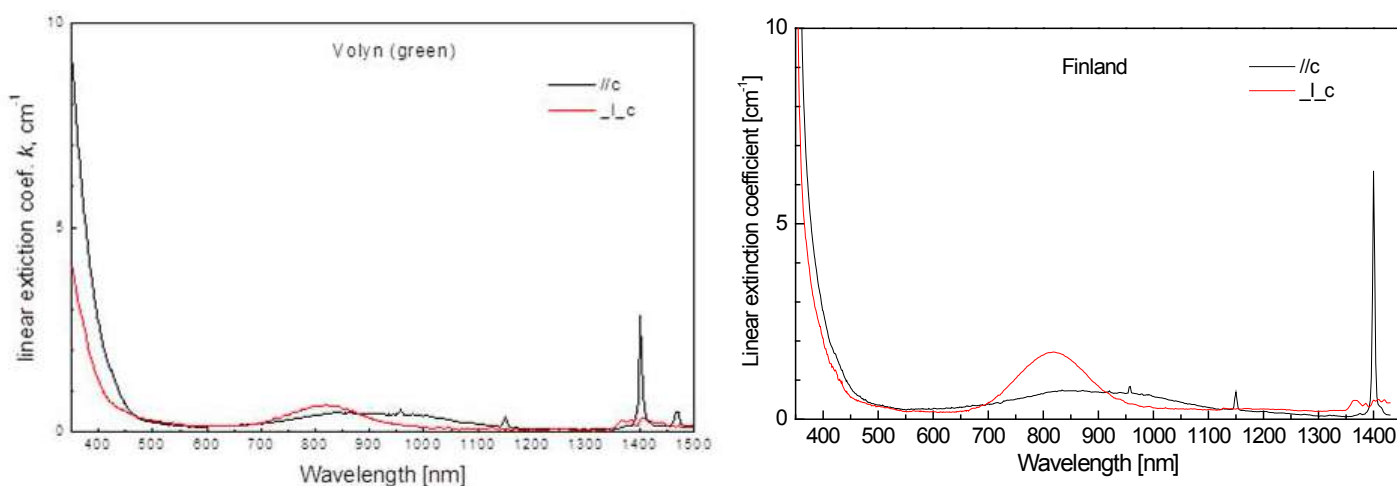


Рисунок 3. Поляризовані оптичні спектри поглинання (350–1450 нм) волинського (зліва) і фінського (справа) геліодорів

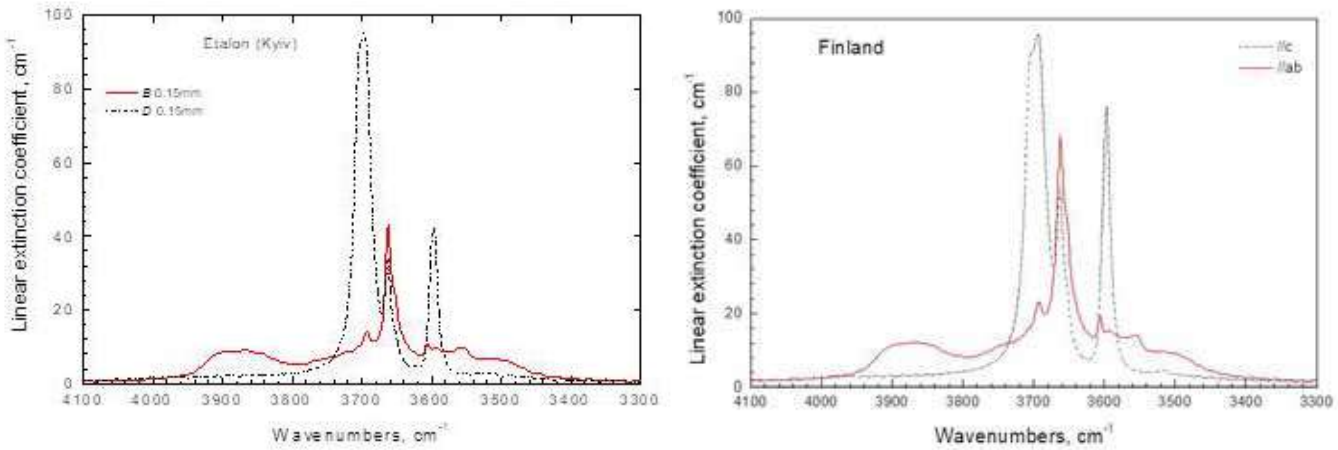


Рисунок 4. Область фундаментальних валентних коливань молекул  $H_2O$  в поляризованих ІЧ-спектрах геліодорів Волині (зліва) і Фінляндії (справа)

#### Використані джерела

1. Simonen A. Geological map of Finland 1:100 000. The Pre-Quaternary rocks of the map-sheet areas of the rapakivi massif in SE Finland. *Geological Survey of Finland*. Helsinki. 1987. 49 p. ISBN 951-690-250-2.
2. Lyckberg P. Ein Neufund phantastischer grüner Edelberylle aus Luumäki, Karelien, Finnland. *Mineralien-Welt*. 2004. 6. P. 38–45.
3. Vaasjoki M. Rapakivi granites and other postorogenic rocks in Finland: their age and the lead isotopic composition of certain associated galena mineralizations. *Geological Survey of Finland. Bull.* 1977. 294. 64 p.
4. Комплексна гемолого-економічна оцінка каменесамодітної сировини Володарськ-Волинського родовища камерних пегматитів: звіт про НДР (проміжний) ДГЦУ; кер. О.П. Беліченко. Київ, 2013. 88 с.
5. Лазаренко Е.К., Павлишин В.И., Латыш В.Т., Сорокин Ю.Г. Минералогия и генезис камерных пегматитов Волины: монография. Львов: Вища школа, 1973. 359 с.
6. Возняк Д.К. До визначення глибини формування заноришових пегматитів Волині та оцінки потужності їх поширення на глибину. *Мінералогічний журнал*. 2003. 25, № 1. С. 43–49.
7. Возняк Д.К., Павлишин В.І. Фізико-хімічні умови формування та особливості локалізації заноришових пегматитів Волині (Український щит). *Мінералогічний журнал*. 2008. 30, № 1. С. 5–20.
8. Возняк Д.К., Хоменко В.М., Франц Г., Віденбек М. Фізико-хімічні умови завершального етапу становлення пегматитів Волині за даними термобарометрії та інфрачервоної спектроскопії берилу. *Мінералогічний журнал*. 2012. 34, № 2. С. 26–38.
9. Kinnunen K.A. Luumäen jaloberyllin sulkeumatutkimus, gemmologiset ominaisuudet ja kuvaopas tyypisulkeumista. *Geologian tutkimuskeskus*. 1991. P. 1–33.
10. Kinnunen K.A., Lindqvist K., Lahtinen R. (1987) Fluid history from crystal cavities in rapakivi (granite), Pyterlahti, southeastern Finland. *Bull. Geol. Surv. Finland*. 1987. 59, Part 1. P. 35–44.
11. Хоменко В.М., Вишневський О.А., Гнелицька З.Т., Каменчук В.К. Кристалохімія берилів Волинського родовища за даними рентгеноспектрального мікроаналізу, оптичної та інфрачервоної спектроскопії. *Мінералогічний журнал*. 2007. 29, № 3. С. 70–81.
12. Lahti S.I., Kinnunen K.A. A new gem beryl locality: Luumäki, Finland. *Gems Gemology*. 1993. 29. P. 30–37.
13. Aurisicchio C., Grubessi O., Zecchini P. Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group. *Can. Mineral*. 1994. 32. P. 55–68.
14. Платонов А.Н., Хоменко В.М., Таран М.Н. Кристаллохімія, оптичні спектри та окраска бериллов. І. Геліодор і золотистий берилл (golden beryl) – две разновидности природных желтых бериллов. *Мінералогічний журнал*. 2016. 38, № 2. С. 3–14.
15. Platonov A.N., Taran M.N., Minko O.E., Polshyn E.V. Optical absorption spectra and nature of color of iron-containing beryls. *Phys. Chem. Minerals*. 1978. V. 3. P. 87–88.
16. Fukuda J., Shinoda K. Coordination of water molecules with  $Na^+$  cations in beryl channel as determined by polarized IR spectroscopy. *Phys. Chem. Minerals*. 2008. 35. P. 347–357.
17. Aines R.D., Rossman G.R. The high temperature behavior of water and carbon dioxide in cordierite and beryl. *Amer. Mineral*. 1984. 69. P. 319–327.
18. Barres O., Burneau A., Dubessy J., Pagel M. Application of micro-FT-IR spectroscopy to individual hydrocarbon fluid inclusion analysis. *Applied Spectroscopy*. 1987. 41, 6. P. 1000–1008.

## References

1. Simonen A. Geological map of Finland 1:100 000. The Pre-Quaternary rocks of the map-sheet areas of the rapakivi massif in SE Finland. *Geological Survey of Finland*. Helsinki. 1987. 49 p. ISBN 951-690-250-2.
2. Lyckberg P. Ein Neufund phantastischer grüner Edelberylle aus Luumäki, Karelien, Finnland. *Mineralien-Welt*. 2004. 6. P. 38–45.
3. Vaasjoki M. Rapakivi granites and other postorogenic rocks in Finland: their age and the lead isotopic composition of certain associated galena mineralizations. *Geological Survey of Finland*. Bull. 1977. 294. 64 p.
4. Integrated geological and economic assessment of raw gems within the Volodarsk-Volynsk chambered pegmatite deposit: report on Scientific research work (interim) SGCU; head O. Belichenko. Kyiv, 2013. 88 p. [in Ukrainian]
5. Lazarenko E.K., Pavlishin V.I., Latysh V.T., Sorokin Yu.G. Mineralogy and genesis of chamber pegmatites of Volyn: monograph. Lvov: Vishcha shkola, 1973. 359 p. [in Russian]
6. Vozniak D.K. On Determination of Formation Depth of Volyn Chamber Pegmatites and Thickness Estimation of Their Expansion Zone with Depth. *Mineralogical Journal*. 2003. 25, № 1. P. 43–49. [in Ukrainian]
7. Vozniak D.K., Pavlyshyn V.I. Physic-Chemical Conditions of Formation and Peculiarities of Location of Volyn Chamber Pegmatites (Ukrainian Shield). *Mineralogical Journal*. 2008. 30, № 1. P. 5–20. [in Ukrainian]
8. Vozniak D.K., Khomenko V.M., Franz G., Wiedenbeck M. Physic-Chemical Conditions of the Late Stage of Volyn Pegmatite Evolution: Fluid Inclusions in Beryl Studied by Thermobarometry and IR Spectroscopy Methods. *Mineralogical Journal*. 2012. 34, № 2. P. 26–38. [in Ukrainian]
9. Kinnunen K.A. Luumäen jaloberyllin sulkeumatutkimus, gemmologiset ominaisuudet ja kuvaopas tyyppisulkeumista. *Geologian tutkimuskeskus*. 1991. P. 1–33.
10. Kinnunen K.A., Lindqvist K., Lahtinen R. (1987) Fluid history from crystal cavities in rapakivi (granite), Pyterlahti, southeastern Finland. *Bull. Geol. Surv. Finland*. 1987. 59, Part 1. P. 35–44.
11. Khomenko V.M., Vyshnevskyy O.A., Gnelytska Z.T., Kamenchuk V.K. Crystal Chemistry of Beryl from Volyn Deposit on the Basis of Microprobe Analyses Optical and IR-Spectroscopic Data. *Mineralogical Journal*. 2007. 29, № 3. P. 70–81. [in Ukrainian]
12. Lahti S.I., Kinnunen K.A. A new gem beryl locality: Luumäki, Finland. *Gems & Gemology*. 1993. 29. P. 30–37.
13. Aurisicchio C., Grubessi O., Zecchini P. Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group. *Can. Mineral*. 1994. 32. P. 55–68.
14. Platonov A.N., Khomenko V.M., Taran M.N. Crystal Chemistry, Optical Spectra and Color of Beryl. I. Heliodor and Golden Beryl — Two Varieties of Natural Yellow Beryl. *Mineralogical Journal*. 2016. 38, № 2. P. 3–14. [in Russian]
15. Platonov A.N., Taran M.N., Minko O.E., Polshyn E.V. Optical absorption spectra and nature of color of iron-containing beryls. *Phys. Chem. Minerals*. 1978. V. 3. P. 87–88.
16. Fukuda J., Shinoda K. Coordination of water molecules with Na<sup>+</sup> cations in beryl channel as determined by polarized IR spectroscopy. *Phys. Chem. Minerals*. 2008. 35. P. 347–357.
17. Aines R.D., Rossman G.R. The high temperature behavior of water and carbon dioxide in cordierite and beryl. *Amer. Mineral*. 1984. 69. P. 319–327.
18. Barres O., Burneau A., Dubessy J., Pagel M. Application of micro-FT-IR spectroscopy to individual hydrocarbon fluid inclusion analysis. *Applied Spectroscopy*. 1987. 41, 6. P. 1000–1008.

UDC 549.091

V. Khomenko, Ph.D., senior scientist; leading researcher<sup>1</sup>

E-mail: vladimir.khom@yahoo.com

Franz Gerhard, Sci. D., professor<sup>2</sup>O. Belichenko, Ph.D. (Geol.), Head of the Department of Examination of Precious Stones<sup>3</sup>

E-mail: gud@gems.org.ua

<sup>1</sup>M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine

34 Palladina Pr., Kyiv, 03142 Ukraine

<sup>2</sup>Technical University of Berlin, Ernst-Reuter Platz 1, D-10587 Berlin<sup>3</sup>State Gemmological Centre of Ukraine

38–44 Deghtyarivska Str., Kyiv, 04119, Ukraine

*Crystallochemical and spectroscopic features of beryl from Volyn and Vyborg massif (Finland) pegmatites*

Beryl samples from Ukraine (Volyn) and Finland (Luumäki), associated with miarolitic pegmatites in Proterozoic rapakivi granites were studied by electronic microprobe analysis, X-ray diffraction, optical and infrared (IR) spectroscopy. Previous studies demonstrated the similarity of their crystallization conditions, physical parameters, inclusions and gemological characteristics.

Keywords: beryl, crystal chemistry, IR spectra, inclusions, chamber pegmatites.