

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнетова В.А. О классификации минералов группы турмалина. ЗВМО, 1975, ч. CIV, вып. 3, 532.
2. Dunn P.J., Appleman D.E., Nelen J.E. Liddicoutite, a new calcium and member of the tourmaline group. — Amer. Miner., 1977, vol. 62, N 11/12, p. 1121.
3. Kunitz W. Die Mischungreihen in der Turmalin-gruppe und die genetischen Beziehungen zwischen Turmalin und Glimmern. — Chem. Erde, 1929, Bd. 4, N. 2.
4. Hermon E., Simkin D.J., Donnay G.H., Muir W.B. The distribution of Fe²⁺ and Fe³⁺ iron-bearing tourmalines: Mössbauer Study. — Tschermaks miner. und petrogr. Mitt., 1973, Bd. 19, N. 1/4, S. 124.
5. Яковлева М.Е., Осолодкина Г.А. Турмалин. — В кн.: Новые данные о минералах. М.: Наука, 1966, вып. 17.
6. Перцев Н.Н. Парагенезисы борных минералов в магнезиальных скарнах. М.: Наука, 1971.
7. Frondel C., Biedel A., Ito I. New type of ferric iron tourmaline. — Amer. Miner., 1966, vol. 51, N 9/10.
8. Buerger M.J., Burnham M.W., Peacor D.R. Assessment of the several structures proposed for tourmaline. — Acta crystallogr., 1962, vol. 15, N 6, p. 583.
9. Fortier S.V., Donnay G.H. Schorl refinement showing composition dependence of tourmaline structure. — Canad. Miner., 1975, vol. 13, N 2.
10. Barton R. Refinement of the crystal structure of Buergerite and the absolute orientation of tourmalines. — Acta crystallogr. B, 1969, vol. 25, N 8, p. 1524.
11. Donnay G.H., Barton R. Refinement of the crystal structure of Elbaite and the mechanism of tourmaline solid solution. — Tschermaks miner. und petrol. Mitt., 1972, Bd. 18, S. 273.
12. Горская М.Г., Франк-Каменецкая О.В., Рождественская И.В., Франк-Каменецкий В.А. Уточнение кристаллической структуры богатого Al эльбаита и некоторые вопросы кристаллохимии турмалинов. — Кристаллография, 1982, т. 27, № 1, с. 107.
13. Schmetzer K., Nuber B., Abraham K. Kristallchemie Magnesiumreicher Turmalin. — N.Jb. Miner. Abh., 1979, Bd. 136, S. 93.
14. Мурадян Л.А. Учет вторичной экстинкции и аномального рассеяния при уточнении атомной структуры кристаллов методом наименьших квадратов. 1974, ИКАН, вып.3.
15. Shannon R.D., Prewitt C.T. Effective ionic radii in oxides, fluorides. — Acta crystallogr. B, 1969, vol. 25, N 5, p. 925.
16. International tables for X-ray crystallography. Birmingham: Kynoch press, 1952, vol. 1; 1974, vol. 4.
17. Бенкрофт Г., Меддок А., Барнс Р. Физика минералов. М.: Мир, 1979.
18. Korovushkin V.V., Kuzmin V.I., Belov V.F. — Phys. and Chem. Miner., 1979, vol. 4, p. 209.
19. Пятенко Ю.А. Анализ локального баланса валентностей и надежность определения кристаллической структуры минералов. Исследования в области прикладной минералогии и кристаллографии. М., 1973. 51 с.
20. Zachariassen W.M. The crystal structure of monodinic metaboric acid. — Acta crystallogr., 1963, vol. 16, N 5, p. 385.
21. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. М.: Недра, 1976. 75 с.

УДК 548.646.3

Г.Н. ТАРНОВСКИЙ, В.А. ШИРЯЕВА

АКВАМАРИН ИЗ ГИДРОТЕРМАЛИТОВ И ПЕГМАТИТОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Берилл является обычным аксессуарным, реже второстепенным породообразующим минералом редкометалльных пегматитов.

Аквамарин — голубая, прозрачная, бесщелочная или с низким содержанием щелочей разновидность берилла, в пегматитах встречается весьма редко. Аквамарин описан из альбит-микроклиновых пегматитов Памира [1], а также из хрусталоносных пегматитов Сибири [2]. Находки аквамарина в редкометалльных пегматитах неизвестны.

На одном из месторождений редкометалльных пегматитов Восточной Сибири установлены поздние гидротермальные образования, выполняющие трещины в пегматитах. Мощность таких жил и прожилков колеблется в пределах 0,3–6 см; по простиранию они прослеживаются на расстояние до 5 м и, как правило, пересекают по всей мощности крупные жильные тела, сложенные среднезернистым сподумен-микроклиновым пегматитом.

Мнеральный состав жил и прожилков довольно разнообразен: ортоклаз, кварц, альбит, адуляр, гейландит, жильбертит, кукеит, апатит, опал, халцедон, кварцин, берилл, бавенит, касситерит, колумбит-танталит, графит, пирит, халькопирит, сфалерит, арсенопирит, гидрогетит, пиролюзит, монтмориллонит¹. Однако гидротермальные жильные образования, в которых бы одновременно присутствовали все перечисленные минералы, не встречались. В то же время в жильных гидротермалитах установлены устойчивые парагенетические ассоциации минералов. Наиболее распространены: кварц-кукеит, кукеит-гейландит, кварц-кукеит-гейландит, ортоклаз-кварц-опал, ортоклаз-кварц-опал-халцедон, ортоклаз-кварц-кукеит-apatит и более сложный по составу ортоклаз-кварц-кукеит-жильбертит-опал-халцедон. Аквамарин обнаружен лишь в сложных по составу жильных гидротермальных образованиях. Прожилки мощностью до 1 см, как правило, мономинеральны. Нередко встречаются практически мономинеральные прожилки гейландита, кукеита и лучистого калиевого полевого шпата.

Жилы мощностью до 6 см характеризуются сложным, полиминеральным составом и в большинстве случаев обладают зональным строением. В распределении минералов устанавливается четкая зависимость. Наиболее отчетливо это проявляется в аквамарин-содержащих жилах. Призальбандовые зоны их мощностью до 1,5 см, сложены лучистым калиевым полевым шпатом (ортоклазом²).

Аквамарин, бавенит и кукеит приурочены, главным образом, к промежуточной зоне. Касситерит и колумбит-танталит в виде мелких кристаллов встречаются лишь в двух зонах — призальбандовых и промежуточных. Центральные части жил сложены опалом, халцедоном и кварцем.

Для минералов, образовавшихся в более поздние стадии формирования жил, характерно проникновение по тонким трещинам или межзерновым промежуткам в смежные зоны, сложенные ранее образовавшимися минералами. Как видно под микроскопом, белый лучистый ортоклаз, слагающий зальбанды жил, нередко приобретает необычный желтый цвет, что вызвано частичным замещением его опалом или халцедоном, выделения которых приурочены к центральным частям жил.

Поверхность контакта между лучистым ортоклазом и следующей за ним зоной, сложенной главным образом агрегатом сферолитов кукеита, явилась субстратом для растущих длиннопризматических кристаллов бесцветного прозрачного кварца и аквамарина. Кристаллы ориентированы к поверхности контакта под углами, близкими к 90° , с отклонениями от нормали в отдельных случаях не более, чем на $20-25^\circ$. Самые крупные кристаллы достигали по длинной оси 3 мм и 0,8 мм в поперечнике.

Кварц и аквамарин образуют щетки кристаллов на ортоклазовом субстрате, а также наблюдаются в виде свободных, двухконечных кристаллов в опале или метакolloидном кварце на участках, непосредственно примыкающих к зоне кукеита.

В опале, слагающем центральные части жил, встречались также выделения лучистых агрегатов ортоклаза размером до 4 мм в диаметре. Включения ортоклаза окружены тонкой оторочкой сферолитов кукеита, на которую нарастают длиннопризматические кристаллы кварца и аквамарина.

Аквамарин в некоторых случаях был обнаружен в небольших пустотах в призальбандовых зонах, сложенных лучистым ортоклазом.

В экзоконтактных зонах жил, на расстоянии до 5 см в альбитизированном мелкозернистом пегматите между зернами альбита аквамарин образует кристаллы и сростки различно ориентированных кристаллов, тесно ассоциирующих с монтмориллонитом³.

Таким образом, устанавливается довольно широкий диапазон выделения аквамарина в поздних гидротермальных жильных образованиях, в которых аквамарин является

¹ Гейландит, кукеит и гидрогетит из гидротермалитов были описаны ранее [3-5].

² Принадлежность калиевого полевого шпата к ортоклазу установлена рентгенометрическим анализом (аналитик Г.М. Кашаева).

³ Монтмориллонит диагностирован рентгенометрическим анализом (аналитик Г.М. Кашаева).

"сквозным" минералом. Этой особенностью обладают несколько минералов, входящих в состав гидротермальных жил (ортоклаз, кукцит, опал, халцедон), но наиболее ярко это проявлено у аквамарина.

Для каждого из этих минералов существует главная фаза выделения, в течение которой из растворов выделяется большее по объему количество данного минерала, что приводит к формированию практически мономинеральных зон. Так, например, большая часть аквамарина, приурочена к промежуточной зоне, сложенной агрегатом сферолитов кукцита. Количество аквамарина в этой зоне в некоторых случаях достигает 40% по объему, в то время как в зальбандах он встречается в качестве аксессуарного минерала.

Облик кристаллов аквамарина — от короткопризматического до длиннопризматического, с соотношением поперечника кристаллов к их длине от 1:3 до 1:10. В единичных случаях в пустотах были обнаружены двухконечные кристаллы облика, близкого к изометричному, с соотношением поперечника кристаллов к длине 1:1,2. Наиболее крупные кристаллы аквамарина достигают 3 мм по длинной оси; обычно размеры кристаллов — 1,5–2,0 мм по длине и 0,2–0,3 мм в поперечнике.

Кристаллы аквамарина бедны формами — присутствуют лишь гексагональная призма и базопинакOID. Мелкие кристаллы обладают ровными, гладкими гранями. Поверхности граней более крупных кристаллов неровны, и, как правило, содержат включения ассоциирующих с аквамарином минералов. Наряду с монокристаллами аквамарина нередки параллельные сростки. В пустотах были обнаружены сложные по морфологии образования — относительно крупный при зарождении кристалл аквамарина в процессе роста "расщепился" на несколько более тонких в поперечнике индивидов, завершающих кристалл.

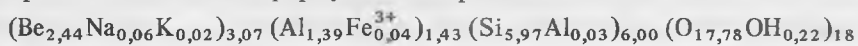
Кристаллы аквамарина в пустотах нередко покрыты тонкой (0,1–0,2 мм) коркой халцедона, обладающего мелкобугорчатой поверхностью.

Аквамарин характеризуется неоднородным распределением окраски. Наиболее часто нижние части кристаллов обладают светло-голубой окраской; в направлении к головкам кристаллов интенсивность окраски ослабевает. Относительно редко встречается аквамарин зеленовато-голубого или светло-зеленого цвета. В более крупных кристаллах в светло-голубом аквамарине выделяются пятнистые участки более интенсивного цвета. В редко наблюдающихся случаях концентрически-зонального распределения окраски центральные части кристаллов аквамарина светлоокрашены и прозрачны, периферийные зоны обладают более густой окраской и непрозрачны.

Исследованный аквамарин является оптически одноосным отрицательным минералом с показателями преломления $N_o = 1,596 \pm 0,002$; $N_e = 1,588 \pm 0,002$. Показатели преломления нашего аквамарина близки к наиболее высоким показателям преломления аквамарина с увеличенным содержанием щелочей.

Рентгенометрические константы аквамарина из гидротермалитов (табл. 1) довольно близки к константам аквамарина из кварц-топазового грейзена. Для сравнения приведены рентгенометрические константы щелочного (литиево-цезиевого) розового берилла из редкометаллических пегматитов. Химический анализ аквамарина выполнен В.А. Ширяевой (табл. 2). Для сравнения приведены анализы аквамарина из кварц-топазового грейзена и пегматитов. По содержанию окислов, входящих в формулу берилла, наш аквамарин наиболее близок к аквамарину из кварц-топазового грейзена.

Кристаллохимическая формула аквамарина:



По степени и характеру щелочности наш аквамарин по классификации В.Г. Фекличева [6] относится к слабощелочным калиевым и натро-калиевым бериллам.

Одновременное с аквамарином образование минералов, содержащих K, Na, Li — ортоклаза, жильбертита и кукцита нашло свое отражение в характере щелочей, входящих в состав аквамарина. Принимая во внимание тесный парагенезис его с K-содержащими минералами — ортоклазом и жильбертитом, следовало бы ожидать преобладание K над Na в составе щелочей, входящих в аквамарин. Однако химический анализ обна-

Таблица 1
Рентгенометрические константы берилла

Аквамарин из гидротермалитов (Восточная Сибирь)				Аквамарин из кварц-топазового грейзана (Восточная Сибирь)				Розовый (щелочной) берилл из редкометалльных пегматитов (Восточная Сибирь)			
I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å
								10	8,3		
8	4,58	8	1,52	8	4,6	8	1,52	6	4,62	9	1,519
8	3,99	8	1,45	8	3,99	6	1,456	6	3,99	7	1,46
10	3,234	8	1,428	10	3,24	7	1,429	10	3,28	7	1,429
8	2,995	8	1,38	7	3,02	7	1,37	8	2,99	8	1,370
10	2,88	2	1,37	10	2,88			10	2,89	8	1,282
9	2,52	2	1,30	9	2,521			8	2,54	8	1,270
8	2,285	8	1,28	6	2,287	8	1,279	7	2,31		
6	2,20	8	1,26	5	2,214	8	1,26	4	2,23		
9	2,15	2	1,21	7	2,15						
4	2,058	9	1,202	3	2,048	8	1,20	7	2,01	7	1,208
8	1,998	5	1,18	9	1,984	3	1,185				
9	1,831	6	1,15	8	1,828	6	1,149	9	1,829		
7	1,802	5	1,14	8	1,80	4	1,14	7	1,81		
7	1,74	7	1,12	8	1,742	5	1,12	8	1,75		
5	1,71	3	1,11	4	1,715			4	1,73		
5	1,598	8	1,082	5	1,605	8	1,085	5	1,612		
5	1,573	8	1,070	4	1,58	7	1,068	5	1,550		
4	1,53	8	1,052	2	1,531	8	1,051				

Аналитик Г.М. Кашаева. Условия съемки: Fe-излучение, камера $D = 57,3$ мм.

ружил двойное превышение Na над K, что позволяет наш аквамарин отнести к слабощелочным калиево-натриевым бериллам. Следует заметить, аквамаринсодержащие позднегидротермальные жильные образования залегают в альбитизированных редкометалльных пегматитах, что несомненно отразилось на характере щелочей, входящих в состав аквамарина.

А.И. Гинзбургом [7] для редкометалльных пегматитов установлена частичная унаследованность состава минералов замещающих комплексов от состава минералов первичной кристаллизации. В данном случае это относится к гидротермально-метасоматическим (автометасоматическим) процессам, развивающимся в пегматитах без значительного разрыва во времени.

Особенности минерального состава поздних гидротермальных жильных образований, секущих пегматитовые тела (присутствие редкометалльных минералов: берилла, бавенита, куккеита, касситерита и колумбит-танталита), позволяют говорить об унаследованности состава поздних гидротермальных жильных образований. Эту унаследованность следует объяснить геохимическими особенностями магматического очага, с которыми, генетически связаны как редкометалльные пегматиты, так и гидротермалиты, разделенные более длительными периодами по времени образования.

В литературе не удалось найти полных аналогов изученных нами гидротермальных жильных образований. В.В. Могаровским [8] были описаны ортоклаз-халцедон-опаловые жилы, обладающие сходным зональным строением, но не содержащие редкометалльных минералов и генетически связанные с иным типом месторождений.

А.А. Беус в монографии, посвященной геохимии бериллия и генетическим типам бериллиевых месторождений [9], отметил крайне слабую изученность геохимической истории бериллия в эпитермальном процессе.

В монографии, посвященной генетическим типам гидротермальных месторождений бериллия [10], среди рассмотренных авторами разнообразных гидротермальных мета-

Таблица 2
Химический состав аквамарина, вес. %

Окислы	Гидротермалиты Сибирь	Кварц-топазовый грейзен Сибирь (П.П. Сушинский)	Пегматиты Памир (Е.П. Соколова)	Пегматиты Сибирь (В.А. Корнетова, Г.А. Осолодкина)
SiO ₂	65,58	65,72	65,54	65,71
TiO ₂	Не обн.	—	Не обн.	—
Al ₂ O ₃	17,85	17,23	28,57	17,88
Fe ₂ O ₃	0,49	1,47	1,15	0,19
FeO	—	—	—	0,79
BeO	13,66	13,39	13,0	12,29
CaO	Не обн.	—	—	0,85
MgO	Не обн.	—	0,15	0,64
Na ₂ O	0,35	—	Не обн.	0,27
K ₂ O	0,17	—	Не обн.	0,77
Li ₂ O	0,009	—	—	0,02
Cs ₂ O	—	—	—	0,07
H ₂ O	2,42	1,05	0,15	0,82
П.п.п.	—	—	1,68	—
Сумма	100,53	99,87	99,85	100,30

Аналитики В.А. Ширяева. М.Е. Славский. М.М. Стукалова. Г.А. Осолодкина.

соматических и жильных образований, содержащих бериллиевые минералы, отсутствуют сколь-нибудь близкие по составу к описанным нами гидротермалитам.

Таким образом, принимая во внимание тесный парагенезис аквамарина с халцедоном, опалом и монтмориллонитом, аквамаринсодержащие гидротермальные жильные образования можно рассматривать как наиболее низкотемпературные среди известных жильных бериллсодержащих гидротермалитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколова Е.П. Аквамарин из пегматитов Памира. — В кн.: Материалы к минералогии месторождений полезных ископаемых. — ВСЕГЕИ, вып. 26, Л., 1959.
2. Корнетова В.А., Осолодкина Г.А. Аквамарин из хрусталеносных пегматитов и монацит, отложившийся в пустотах его выщелачивания. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1966, вып. 17.
3. Тарновский Г.Н. Гейландит из пегматитов. — Зап. Вост.-Сиб. отд. Всесоюз. минер. о-ва, 1959, вып. 1.
4. Тарновский Г.Н. Кукеит из пегматитов Восточной Сибири. — Зап. Вост.-Сиб. отд. Всесоюз. минер. о-ва. Иркутск, 1960, вып. 2.
5. Тарновский Г.Н., Васильев Е.К. Гидрогетит из пегматитовых жил одного из месторождений Восточного Забайкалья. — Зап. Вост.-Сиб. отд. Всесоюз. минер. о-ва. Иркутск, 1962, вып. 3.
6. Фекличев В.Г. Берилл. М.: Наука, 1964.
7. Гинзбург А.И. Минералого-геохимическая характеристика литиевых пегматитов. — Тр. Минер. музея АН СССР. Изд-во АН СССР, 1955, вып. 7.
8. Могаровский В.В. Околорудная ортоклазизация на некоторых флюоритовых месторождениях южного склона Гиссарского хребта. — Докл. АН СССР, 1965, т. 163, № 2.
9. Беус А.А. Геохимия бериллия и генетические типы бериллиевых месторождений. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
10. Гинзбург А.И., Заболотная Н.П., Куприянова И.И. и др. Генетические типы гидротермальных месторождений бериллия. М.: Недра, 1975.