

УДК 622.368.4

С.В. Комашенко

ГЕМОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БЕРИЛЛОВ КАК ОТРАЖЕНИЕ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОЙ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Бериллий является одним из стратегических элементов, образуя бериллиевые руды и минеральные тела самоцветов. Сегодня можно говорить о качественных характеристиках различных разновидностей берилла на основании общих данных об их минералого-генетической природе. Наиболее значимые геммологические характеристики разновидностей берилла проявлены в ряду изменения морфолого-структурных особенностей данного минерала различных регионов мира: гелиодор и золотистый берилл – аквамарин – воробьевит – изумруд.

Ключевые слова: бериллий, геммологические характеристики, минералого-геохимическая специализация.

Семинар № 3

S.V. Komashenko GEMOLOGICAL FEATURES OF BERYLS AS REFLECTION OF THEIR SPACE-TIME MINERALOGO-GEOCHE- MICAL EVOLUTION

Beryllium is a one of strategical elements, that forms beryllium ores and semiprecious stones. To date one can say about qualitative features of different varieties of beryl according to general mineralogo-genetic data. The most significant gemological features of beryl varieties are displayed in the range of changes of morfologo-structural features of this mineral in various areas of the world: heliodor and golden beryl – aquamarine – vorobievite – emerald.

Key words: beryllium, gemological characteristics, mineral and geochemical specialization.

Бериллий является одним из стратегических элементов, образуя бериллиевые руды и минеральные тела самоцветов. Настоящая работа посвящена исследованию бериллов, как геммологического сырья.

Сегодня можно говорить о качественных характеристиках различных

разновидностей бериллов на основании общих данных об их минералого-генетической природе. Прежде всего, необходимо учитывать пространственно-временные закономерности их размещения по земному шару, что нашло отражение на карте (рис. 1). Помимо различных разновидностей бериллов приведены данные по соотношению изотопов кислорода $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ с дополнениями из литературы (G. Giuliani, 1999).

Особенности проявления бериллов разных морфолого-структурных характеристик различных регионов мира позволяет рассматривать их с учетом морфологии и размеров минеральных тел, к которым они приурочены: камеры, занорыши, миаролы и др.

Как правило, бериллы формируются с участием флюидов в свободном пространстве на заключительных этапах минералообразования. Кристаллизации их предшествуют процессы возникновения полостей, обязанных растворению, выщелачиванию

и/или перекристаллизации. В природе прослеживается эволюция формы кристаллов берилла: в пегматитах - от призматических (ранние стадии) до таблитчатых (Cs-Li-замещенные комплексы). На заключительных гидротермальных стадиях образования пегматитов возникают тонкопризматические кристаллы с большим числом граней на головках. Для бериллов из грейзенов и кварцевых жил, в последовательных стадиях постмагматического процесса характерно усложнение кристаллографических форм (Мухля, Сенчило, 1989 г.). Проведенные при помощи комплекса современных методов анализа (рентгеноспектральный, рентгеноструктурный, изотопный по кислороду, ИКС и др.) исследования выявили целый ряд важных типоморфных признаков, позволяющих оценивать их генетическую природу и геммологические характеристики. При этом просматриваются особенности изменчивости цветовых характеристик различных разновидностей берилла, как отражение эволюции процессов кристаллизации остаточной магмы пегматитов и последующих грейзеновых преобразований в пневматолит-гидротермальную и собственно гидротермальную стадии минералообразования.

Соотношение тяжелого и легкого изотопов кислорода $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ вместе с Eh-pH среды минералообразования является определяющим в проявлении тех или иных минеральных разновидностей берилла и сопутствующих им парагенетических ассоциаций других минералов. Полученные результаты по данным изменчивости изотопных отношений в минерале в конечном итоге отражают особенности пространственно-временных закономерностей их эволюции. Они предопределяют особенности изоморфизма элементов прежде всего,

группы железа и, как следствие, цветовые характеристики бериллов. Это позволяет нам распределять изученные образцы бериллов по ведущим геолого-промышленным типам – гранитным и редкометалльным пегматитам, высоко- и низкотемпературным грейzenам, а также россыпям.

Сравнительные данные по изотопии кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) основных разновидностей берилла отражены на диаграмме (рис. 2). Согласно приведенной схеме четко просматривается 3 группы по изменению содержания $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (в ‰): до 10, от 10 до 15, от 15 и выше.

Закономерное размещение месторождений разновидностей берилла с учетом пространства и времени обусловлено их минерагенией, геолого-структурной позицией и тектоникой в широком понимании; связью с минералого-геохимической специализацией и литологией вмещающих пород, с характером минералого-геохимической зональности, морфологией, глубиной залегания минеральных тел. В стратегическом плане особенности минерагении месторождений определяются комплексным подходом к изучению как самих минералов, так и термодинамических параметров их генетической природы (P, T°, Eh-pH среды, парагенезисом прежде всего таких химических элементов, как Na, K, Cs, Rb, Li, F, B, Ga, Mg, Ca, Fe, V, Cr, Mn, Ti, редкоземельных элементов, особенностями их поведения и др. факторами).

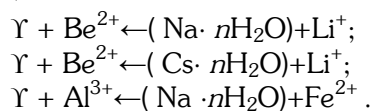
Минералого-геохимическая специализация (парагенезис химических элементов) бериллосодержащих минеральных ассоциаций различных генетических типов месторождений обусловлена в значительной степени их кислотнo-щелочным потенциалом. В качестве определяющего фактора здесь выступают щелочи – Na, K, Rb,

Cs. Ведущими минералогами и геохимиками А.В. Виноградовым, В.В. Шербиной, А.А. Сауковым, А.А. Бесус, Л.Ф. Борисенко, Б.И. Коганом, Н.А. Солодовым, А.И. Гинзбургом, Е.К. Лазаренко, А.А. Годовиковым, Э.М. Спиридоновым (Спиридонов, 2000), Г.А. Юргенсоном (Юргенсон, 2001) и др. рассмотрены наиболее характерные особенности пегматит-грейзенового минералообразования, которые хорошо увязываются с нашими данными. В частности, это позволило показать распределение по данным рентгенофлуоресцентного (полуколичественного) анализа ассоциаций элементов, выделив подгруппы – слабо-, средне-, собственно-, высоко- Rb, Cs, Fe и др., фиксирующие и подчеркивающие геохимическую направленность процессов в различных генетических типах месторождений берилла. При минералообразовании Rb обычно тяготеет к К, а по размеру своего ионного радиуса к Ti, Ba, Pb⁺². Cs же соответственно - к Na, Mg, Li, Ba, Fe, Ca. Из других элементов ионный радиус Cs близок лишь к Rb, что предопределяет их возможный изоморфизм в минералах (прежде в самом берилле). Эти два ряда химических элементов при высокой активности F, H₂O, CO₃⁻², редкоземельных элементов обуславливают различный характер геохимической специализации месторождений берилла, а соответственно и основные минеральные ассоциации, сосуществующие с ним.

Крайне важно при рассмотрении свойств бериллов учитывать состояние воды, ведь структура минерала, как подчеркивает А.А. Годовиков (Годовиков, 1975), позволяет ограниченное замещение Be²⁺ на Li⁺ и Si⁴⁺ на Al³⁺ с одновременным входением крупных катионов, компенсирующих возникающий в этом случае избыточ-

ный отрицательный заряд каркаса, в каналы структуры. Так как подобные каналы для многих из этих катионов велики, то одновременно с ними в каналах появляются «распорки» из молекул НОН, не позволяя им «болтаться». Для крупного катиона Cs⁺ достаточно одной такой распорки, тогда как для Na⁺, Ca²⁺ их требуется две на каждый катион, что и определяет количество воды в бериллах и характер ее распределения. Вода из каналов, будучи прочно связанной с кислородом каркаса, удаляется лишь при 900-1000 °С без разрушения структуры, т.е. носит цеолитный характер.

Кристаллохимический отбор элементов в разновидностях берилла связан с характером его структуры. В кольцевой структуре могут размещаться дополнительные катионы щелочных металлов и молекулы воды. Цветовое разнообразие разновидностей берилла обусловлено особенностями гетеровалентного изоморфизма элементов Fe, Mn, Cr и др. (Булах и др., 2008) с образованием твердых растворов внедрения по трем схемам (Y – вакантная позиция в канале):



В конечном итоге наиболее значимые геммологические характеристики разновидностей берилла проявлены в ряду изменения морфолого-структурных особенностей данного минерала различных регионов мира: гелиодор и золотистый берилл – аквамарин – воробьевит – изумруд. Особенности отражены в нижеследующем перечне.

Гелиодор (n = 1,568 – 1,587) (Корнилов, Солодова, 1986)

Украина (Володарск-Вольнский) Миароловые – камерные микроклиновые пегматиты.

Цвет желтый, зеленовато-желтый от насыщенного до бледного.

Цвет бериллов желтый, зеленовато-желтый большей или меньшей сте-

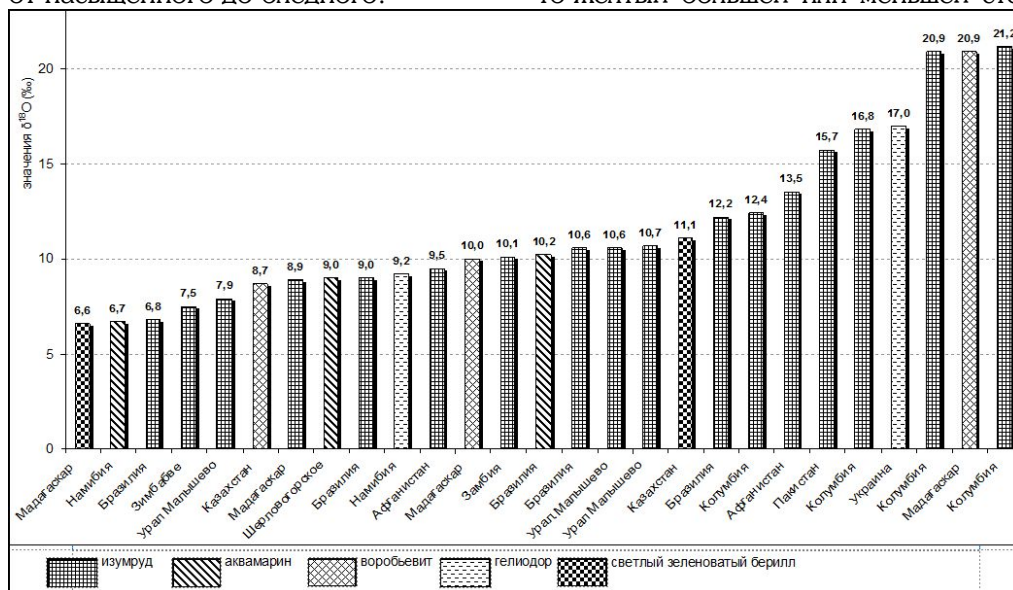


Рис. 1. Географическое размещение месторождений и проявлений основных разновидностей берилла и данные по изотопам кислорода $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

Кристаллы ювелирного качества, от короткостолбчатого до призматического, часто подверженные коррозии с образованием различных вариаций фигур и форм растворения.

Минеральные ассоциации (МА): Морион, дымчатый кварц; альбит; топаз.

Намибия. Миароловые редкометалльные пегматиты

Цвет варьирует от золотисто-желтого до зеленовато-желтого вплоть до желтовато-зеленого.

Кристаллы от коротко- до длиннопризматического габитуса с четко проявленным пинакоидом, либо с развитыми в большей или меньшей степени дополнительными формами на головках.

МА: Ортоклаз; слюда; светло-желтый флюорит.

Мурзинка. Миароловые занорышевые микроклиновые пегматиты

пени насыщенности.

Кристаллы имеют габитус от короткостолбчатого до длиннопризматического, часто подвержены растворению. Отличаются почти идеальной прозрачностью и бездефектностью.

МА: Морион, дымчатый кварц; микроклин, альбит; мусковит; аквамарин, топаз, турмалин (черный, зеленый).

Аквамарин (n = 1,569 – 1,586)

Бразилия. Миароловые занорышевые пегматиты

Цвет голубой, часто с зеленоватым оттенком, являющимся характерным для аквамаринов Бразилии.

Кристаллы длиннопризматические, часто подверженные растворению.

МА: Морион, дымчатый кварц, розовый кварц (иногда); микроклин, альбит; мусковит; турмалин (шерл), светло-желтый, светло-голубой, или зеленоватый топаз; магнетит, гематит.

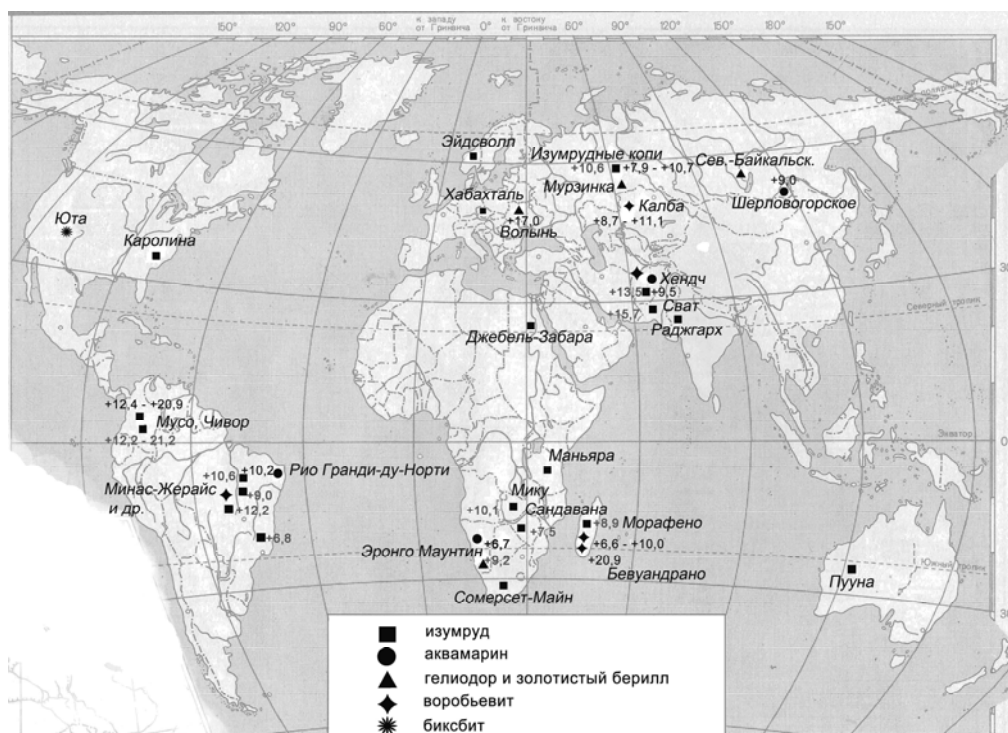


Рис. 2. Сравнительные данные по изотопии кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) основных разновидностей берилла

Намибия. Миароловые редкометалльные пегматиты

Цвет бледно-голубой.

Характерны хорошо сформированные столбчатые кристаллы с хорошо сформированными гранями призм и пинакоида, гладкими блестящими гранями. Аквамарины хорошего качества, часто бездефектные.

МА: Дымчатый кварц; микроклин-пертит; клевеландит, плагиоклаз; мусковит; черный турмалин; бертрандит, флюорит.

Забайкалье. Грейзены

Цвет голубой насыщенный.

Кристаллы длиннопризматического габитуса, тонкие, удлинённые, хорошей прозрачности.

МА: Кварц; сидерофиллит; топаз; касситерит; молибденит, арсенопирит, висмутин; флюорит.

Воробьевит (n = 1,575 - 1,596)

Бразилия. Гранитные пегматиты малых глубин

Цвет теплый розовый, насыщенный.

Кристаллы уплощенные.

МА: Горный хрусталь, морион; микроклин, клевеландит, альбит; лепидолит; светлый коричневатый топаз, турмалин-верделит, розовый турмалин.

Мадагаскар. Редкометалльные Миароловые микроклиновые и микроклин-альбитовые пегматиты с клевеландит-лепидолитовым замещением.

Цвет розовый до оранжево-розового.

Кристаллы таблитчатого габитуса.

МА: Клевеландит; лепидолит; турмалин, топаз, прозрачные бериллы ранних генераций.

Афганистан. Редкометалльные занорышевые пегматиты

Цвет розовый, вплоть до оранжево-розового.

Кристаллы изометричного или таблитчатого габитуса с хорошо развитыми гранями пинакоида и призмы, реже – дипирамиды.

МА: Горный хрусталь; микроклин; розовый сподумен, кунцит; поллуцит.

Изумруд ($n = 1,569 - 1,596$)

Урал. Грейзены

Цвет насыщенный зеленый с желтоватым оттенком.

Кристаллы призматического габитуса, часто сильно трещиноватые.

МА: Флогопит, фуксит, маргарит; турмалин (шерл); молибденит; тальк, флюорит, апатит.

Бразилия. Грейзены

Цветовые характеристики достаточно невысокие.

Кристаллы имеют гексагональный габитус, сильно дефектные, часто околоювелирного качества.

МА: Кварц; мусковит; александрит, турмалин; молибденит; шеелит, апатит.

Колумбия. Гидротермальные месторождения.

Цвет насыщенный зеленый, часто с голубоватым оттенком.

Кристаллы столбчатого, короткопризматического габитуса, хорошей прозрачности.

МА: Кварц; альбит; пирит, марказит; кальцит, доломит, паризит, реже каолинит, флюорит, барит.

Минеральные ассоциации, сосуществующие различными разновидностями бериллов, несомненно отражают общие закономерности генезиса минералов (пегматиты, грейзены и т.п.), и являются значимыми в оценке их (бериллов) качественных характеристик.

В настоящее время на мировом рынке преобладают изумруды из Колумбии, Замбии, России и Бразилии. Стоит отметить, что наибольшая доля в мировой добыче берилла различных разновидностей приходится на Бразилию. Бразильские аквамарины, наряду с воробьевитами (морганитами) считаются наиболее ценными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булах А.Г., Кривовичев В.Г., Золотарёв А.А. Общая минералогия - М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 416 с.
2. Годовиков А.А. Минералогия. – М.: Недра, 1975.
3. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни. – М.: Недра, 1986. – 283с.
4. Куприянова И.И. Берилл. В сб. «Типоморфизм минералов». «Недра», М., 1989. С. 69-85.
5. Перельман А.И. Геохимия. М., Высш. шк., 1989. – 528с.
6. Спиридонов Э.М. Генетические типы месторождений драгоценных и поделочных камней. М.: Издательство Московского университета, 2000. – 61 с.
7. Юргенсон Г.А. Ювелирные и поделочные камни Забайкалья. – Новосибирск: Наука, 2001 – 390 с.
8. Giuliani G., Chaussidon M., France-Lanord C. Application de l'analyse isotopique par spectrométrie de masse et sonde ionique de l'oxygène des émeraudes naturelles. ANALUSIS, 1999, 27, N° 3. P. 203-206.

ГЛАВ

Коротко об авторе

Комашенко С.В. – Российский государственный геологоразведочный университет,
office@msgpa.edu.ru