

Н.Г. Барнов, Е.П. Мельников**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ БЛАГОРОДНЫХ КОРУНДОВ**

Показана четкая генетическая детерминированность химизма, физических свойств и парагенетических минеральных ассоциаций благородных корундов различного генезиса. Выделены типоморфные минералы, которые рассматриваются как индикаторы генетической, региональной и объектной принадлежности конкретных рубинов и сапфиров, что может быть использовано в их диагностике и оценке, а также в таможенном, следственном, коммерческом деле и в других целях. Затронутые вопросы требуют дальнейшей разработки.

Ключевые слова: корунды, типоморфные минералы, рубин, сапфир, моногенетические и полигенетические месторождения.

Введение

Рубин и сапфир являются благородными, т.е. прозрачными, ярко окрашенными разновидностями минерала корунда (Al_2O_3). Уступая по твердости только алмазу, но, имея яркий блеск и цвет рубина, глубокие синие непревзойденные цвета сапфира, нежные оттенки сапфира иной окраски, они вместе с алмазом, изумрудом и жемчугом всегда занимали и занимают особое место в мире драгоценных камней.

Главными носителями цвета, первого свойства, на которое обращается внимание при взгляде на самоцвет, – или хромофорами, обуславливающими идиоохроматическую окраску драгоценных камней, – являются ионы переходных металлов: Fe, Co, Ni, Mn, Си, Cr, V, и Ti. Они способны поглощать определенные длины волн в видимой области спектра, определяя таким образом цвет камня. В качестве элементов-примесей в состав рубина и сапфира входят 5 из них – Cr, V, Ti, Fe, Mn.

Установлено ([26], [17] и др.), что красный цвет рубина связан с примесью Cr^{3+} , изоморфно замещающий Al^{3+} в алюмоокислородных октаэдрах. Оттенки цвета рубина определяются присутствием других хромофорных ионов: так, желтовато-коричневый от-

тенок создается примесью Fe^{3+} , а синевато-фиолетовый – V^{3+} . Окраска сапфиров вызвана примесями Fe^{3+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , иногда Mn^{4+} , Cr^{3+} . Например, желтый цвет обусловлен центрами Fe^{3+} и ионной парой $Fe^{3+}+Fe^{3+}$, зеленый – парой $Fe^{3+}+Fe^{2+}$, синий $Fe^{2+}+Ti^{4+}$ или парой $Fe^{3+}+Fe^{2+}$, желто-розовый – Mn^{3+} , а красноватооранжевая окраска маложелезистых сапфиров – падпараджа – сочетанием центров O- и Cr^{3+} . Голубые и серовато-голубые сапфиры обладают александритовым эффектом, приобретаая при искусственном освещении красноватый или фиолетово-красный оттенок. Этот эффект вызывается примесями Cr^{3+} и V^{3+} . Другие примеси или радиационные центры окраски могут влиять на изменение цвета камня, но это изменение является весьма ограниченным и определяется термодинамическими и геологическими условиями роста кристаллов.

Цвет драгоценных камней зависит также от освещения, поскольку спектры вечернего электрического и дневного солнечного света различны. Существуют камни, которые при искусственном свете тускнеют, теряя привлекательность своей окраски (к ним относится сапфир), и такие, которые при вечернем свете улучшают свой цвет (рубин, изумруд).

Эксперименты по сложению цветов и исследования цветового зрения людей ([16]) позволили установить спектральную чувствительность трех отдельных цветовых рецепторов глаза человека, связанных с колбочками. Максимумы их чувствительности оказались близки к красному, зеленому и синему цветам. Таким образом, эти три цвета для человека оказываются особенными, выделенными. Возможно, что и особая привлекательность цветов изумруда, рубина и сапфира для большинства людей связана с физиологическими особенностями нашего зрения.

Генезис благородных корундов

Как и большинство других драгоценных камней, рубин и сапфир полигенны. В общем, корунд в петрохимическом отношении типичен для ассоциаций пересыщенных глиноземом и недосыщенных кремнеземом. Такие ситуации возникают в природе при различных геологических процессах. С учетом материалов предыдущих исследований ([24], [27], [20], [8], [3], [4], [25], [9] и др.) и собственных данных выделяются следующие генотипы месторождений благородных корундов:

1. Магматический

- в интрузивных щелочных лампрофирах;
- в вулканических щелочных базальтах.

2. Пегматитовый

- в сиенитовых пегматитах;
- в гранитных десилицированных пегматитах.

3. Метаморфогенный

- в мраморах и кальцифирах; в кристаллических сланцах и гнейсах; в мигматитах, гранулитах, чарнокитах и кондалитах; в регионально развитых метасоматитах (плюмазитах, скарнах, слюдитах, плагиоклазитах), генетически связанных с процессами метаморфизма.

4. Метасоматический

- в локальных слюдит-плагиоклазитах, в эндоконтактах мафит-ультрамафитовых комплексов.

5. Россыпи

- в экзогенных элювиально – делювиальных и аллювиальных отложениях.

При генетической систематике месторождений рассматриваемого типа учитывалась их геолого-тектоническая позиция, современные представления о минерагеническом аспекте регионального метаморфизма и их приложении к конкретным объектам рубин – сапфировой минерализации, наряду с должным учетом в их генезисе магматизма и метасоматоза ([21], [15], [13], [14], [3], [2], [12], [20]).

Авторы статьи особо подчеркивают важнейшую роль регионального метаморфизма в формировании многочисленных месторождений благородного корунда в различных по составу породах, что отражено в приведенном варианте их генетической классификации, а также возможность создания в данной генетической ситуации условий, благоприятных для образования рубинов и сапфиров высочайшего качества, считающихся эталонными в мире – «кашмирские» сапфиры, «мянманские» рубины. Дальнейшее изложение материала показывает четкую зависимость химизма, физических свойств, парагенетических ассоциаций минеральных микровключений в рубинах и сапфирах, соответствующую новой генетической типизации месторождений благородного корунда.

Не все генетические типы месторождений рубина и сапфира одинаково важны для добычи этих драгоценных камней. Так, благородные корунды пегматитового происхождения имеют очень малое промышленное значение. В незначительных объемах они добывались из образований данного генетического типа в Индии

(шт. Тамил Наду), Бразилии (шт. Гояс), Канаде (Банкрофт), России (Мурзинско-Адуйская полоса), но никогда не рассматривались в качестве перспективного источника их поступления на рынок. В связи с этим, при дальнейшем изложении мы будем касаться корундсодержащих пегматитов только для общей характеристики мировых рубин – сапфиросносных провинций.

И еще одно принципиальное замечание. Во все времена и всеми народами рубины и сапфиры добывались и в настоящее время извлекаются главным образом из россыпей, образующихся на склонах и в долинах рек при разрушении первичных коренных месторождений и перехода корунда, как минерала чрезвычайно устойчивого к механическому и химическому воздействию, в осадочные речные, реже озерные и морские, песчаногалечные отложения, откуда он легко извлекается простым просеиванием или промыванием, что экономически весьма рентабельно. Тогда как из плотных коренных базальтов, мраморов, гнейсов можно добыть самоцветы только с применением буровзрывных работ, дробления и других технологических способов, резко удорожающих стоимость добычи, которая становится нерентабельной, а добытое сырье дефектным в результате образования в кристаллах многочисленных техногенных трещин. Поэтому россыпи во всем мире являются важнейшим источником получения рубинов и сапфиров, а их добыча из коренных относительно мягких, по сравнению с другими горными породами, мраморов в ограниченных объемах ведется ручным способом только в Афганистане, Пакистане, Индии и некоторых других странах.

Следует также отметить, что такой устойчивый к внешним воздействиям минерал как корунд практически не изменяется в россыпях, за исключени-

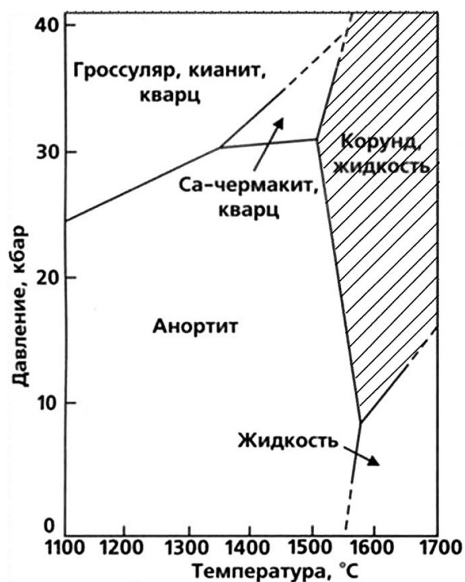


Рис. 1. Поле стабильности анортита, корунда и других минералов при высоких давлениях и температурах (по Харрия и Кеннеди)

ем обычно слабого истирания благодаря своей очень высокой твердости. Поэтому все свойства благородных корундов определяются их первичным коренным происхождением, а дальнейшее изложение посвящено описанию обусловленных генезисом физико-химических особенностей рубинов и сапфиров и характеристике их главных генетических типов месторождений – магматического, метаморфогенного и метасоматического.

Магматические месторождения формируются из расплава основной и ультраосновной магмы, обогащенной рудными элементами – Fe, Co, Ni, Ti, Cr и др., возникающей на глубине порядка 100 км от дневной поверхности в слое Земли, именуемом верхняя мантия при следующих термодинамических параметрах: температура ~1600 °C и литостатическое давление ~10–40 тыс. атмосфер (рис. 1). При определенных геологических условиях эта магма может внедряться в виде

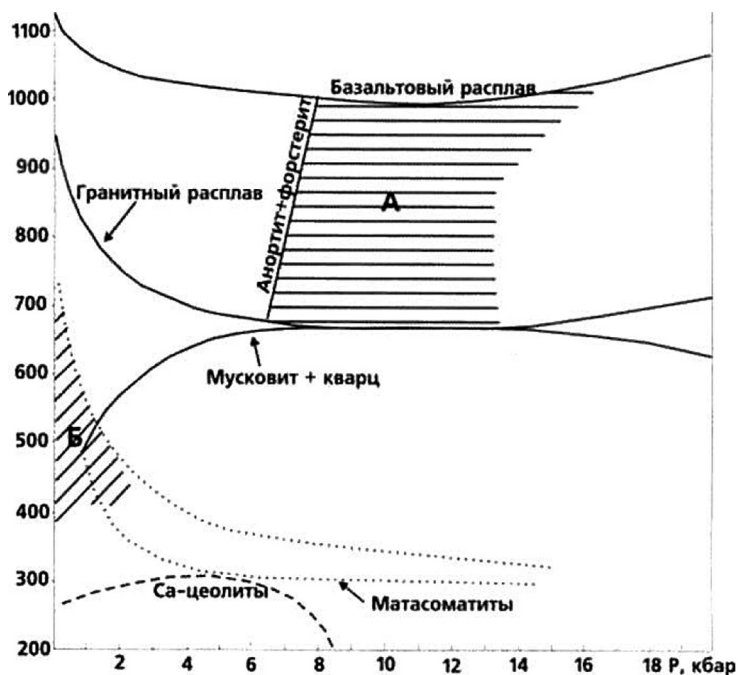


Рис. 2. Термодинамические параметры кристаллизации благородного корунда метаморфического (А) и метасоматического (Б) генезиса (по Н.Л. Добрецову и др.)

даек или тел сложной формы лампрофирового состава в твердую земную кору или изливаться на поверхность Земли в виде крупных базальтовых лавовых потоков, испытывающих резкое охлаждение и быстрое застывание. Отмечается оплавление краев зерен корундов. При снижении РТ-параметров фиксируется частичное растворение вплоть до полного уничтожения кристалломорфологических особенностей минерала. Нередко в корундах из базальтов наблюдается регенерация резорбированной поверхности кристалла с образованием полевошпатовой оторочки, защищающей его от дальнейшего растворения при подъеме базальтовой магмы к земной поверхности ([18], [23]).

Метаморфогенные месторождения возникают в условиях твердой земной коры на глубинах до 20–50 км при последующем сжатии и разогреве любых ранее образовавшихся горных пород

в термодинамических условиях амфиболитовой и гранулитовой фации метаморфизма (температура до 800 °С, литостатическое и тангенциальное давление до 15 тыс. атмосфер) с формированием за счет вещества ранних минералов, становящихся неустойчивыми в изменившихся РТ-параметрах, других поздних минералов, для которых новые РТ-условия являются благоприятными для существования. (рис. 2). Минералообразование происходит в твердой среде при относительно стабильном температурном и флюидном режиме, а главное при пониженных термодинамических параметрах, что способствует росту бездефектных кондиционных кристаллов. Образование при метаморфизме преимущественно красного корунда – рубина связывают с уменьшением его объема при вхождении хрома в структуру минерала ([8]).

Метасоматические месторождения образуются на относительно малых

глубинах (до 2–3 км) при температурах 400–600 °С и давлении не более 1–3 тыс. атмосфер. В этих условиях широкое развитие получают процессы аллохимического метасоматоза, десиликации пород и обогащение глиноземом минералообразующих растворов. Зоны метасоматоза развиваются, как правило, на контакте контрастных по составу пород (ультрамафитов и гранитоидов или мраморов и мафитов и т.п.), обменом компонентами между ними, дополнительным привнесом вещества из глубинных зон Земли и частыми вариациями химического состава циркулирующих по зонам метасоматоза минералообразующих растворов. Все это способствует частым изменениям состава, вариациям структуры и свойств растущих кристаллов.

Проведенная систематизация и обобщение имеющихся материалов и собственных данных по месторождениям благородных корундов мира позволяют констатировать:

1. Генетическая типизация месторождений рубина и сапфира, опубликованная в журнале «Вестник геммологии» (№ 2 (5), 2002), отличается от ранее известных разделением на две метасоматических месторождений на две самостоятельные группы:

- собственно метасоматические, обязанные своим происхождением действию постмагматических гидротермальных растворов;

- метаморфогенно-метасоматические, генезис которых является логическим завершением в локальных зонах, как правило, многоэтапных процессов регионального метаморфизма.

Ранее было показано отличие свойств благородных корундов, систематизированных в соответствии с новой генетической схемой. В данной статье установлены отличия выделенных генетических групп месторождений рубина и сапфира в их геологической позиции, определяющей асе особенности структуры, состава и свойств минералов.

2. В связи с изложенным вводятся понятия моногенетических и полигенетических месторождений (провинций, поясов, регионов). К первым относятся месторождения магматического, пегматитового и собственно метасоматического (постмагматического) происхождения, ко вторым – полихронные и полифациальные собственно метаморфические и метаморфогенно-метасоматические месторождения.

Первая группа представлена магматическими месторождениями Восточной Австралии, российского Дальнего Востока, Восточного Китая, Индокитайского полуострова, Нигерии (?), Колумбии, США (шт. Монтана), пегматитовыми месторождениями Бразилии, метасоматическими месторождениями Кении, Танзании, Малави и др. Вторая группа объединяет однотипные по генезису (метаморфогенно-метасоматические) месторождения Южной Азии (Мьянма, Таджикистан, Афганистан, Шри Ланка и другие страны), Восточной Африки (Мадагаскар, ЮАР), Среднего и Южной Урана, Карело-Кольского региона (Россия), Восточной Бразилии (шт. Минас-Жерайс и др.), Северной Каролины (США).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун Г. Драгоценные камни и геммология в Австралии // Вестник геммологии. – 2002. – № 2.

2. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. – М.: Изд. «Экост», 2001.

3. Кисин А.Ю. Месторождения рубинов в мраморах (на примере Урала). – Свердловск, 1991.

4. Hughes R.W. Ruby&Sapphire RWH Publishing, Boulder, Colorado, USA, 1997.

5. *Principais depositos minerals do Brasil*. Vol. IV, par. A, Brasilia, 1991.
6. *Steven P., Youkovich S. Ruby mines of North Carolina*. – *Rocks and Miner.*, vol. 60, № 2, 1985.
7. *Suwa Y. Gemstones, quality and value*. Japan, Tokio, 1999.
8. *Годовиков А.А. Минералогия*. – М.: Недра, 1983. – С. 647.
9. *Киевленко Е.Я. Геология самоцветов*. – М.: Изд. Земля, 2001. – С. 582.
10. *Кисин А.Ю. Месторождения рубинов в мраморах (на примере Урала)*. – Свердловск, 1991. – С. 130.
11. *Кепежинскас В.В., Лучицкий И.В. Главные типы базальтовых ассоциаций в кайнозойе Монголии / Очерки геологической петрологии*. – М.: Наука, 1976. – С. 204.
12. *Литвиненко А.К. Новые проявления благородного корунда и шпинели в карбонатных породах Юго-Западного Памира // Известия АН СССР. Серия геологическая*. – 1990. – № 6. – С. 125–129.
13. *Мельников Е.П. Геология, генезис и промышленные типы месторождений кварца*. – М.: Недра, 1988. – 216 с.
14. *Мельников Е.П. и др. Минерагения месторождений драгоценных и поделочных камней Урала / Тез. докл. Второго Всесоюзного геммологического совещания*. – Черноголовка, 1989. – С. 37–38.
15. *Соколов Ю.М., Мельников Е.П. и др. Минерагения метаморфогенных месторождений горного хрусталя и гранулиров. кварца*. – Л.: Наука, 1977. – 120 с.
16. *Нюберг Н.Д., Юстова Е.Н. Исследования цветности зрения дихроматов / Труды ГОИ*. – М., 1955, вып. 143. – С. 33–93.
17. *Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов*. – М.: Недра, 1984. – С. 196.
18. *Петров В.П. Петрографические проблемы формирования месторождений драгоценных и поделочных камней*. – М.: Наука, 1980. – С. 10–18.
19. *Россовский Л.Н. Месторождения драгоценных камней Афганистана // Геология рудных месторождений*. – 1980. – № 3. – С. 74–88.
20. *Россовский Л.Н., Коноваленко С.И., Ананьев С.А. Условия образования рубина в мраморах // Геология рудных месторождений*. – 1982. – № 2. – С. 57–66.
21. *Добрецов Н.Л. и др. Фации метаморфизма*. – М.: Недра, 1969. – С. 432.
22. *Фекличев В.Г. Диагностические константы минералов*. – М.: Недра, 1989. – С. 480.
23. *Hughes R.W. Ruby and Sapphire*, RWH, Publishing, Boulder, Colorado, USA, 1997, p. 511.
24. *Iyer L.A.N. The geological survey of India, the geology and gemstones of the Mogok stone tract. Burma miners survey of India*, 1953, v. 82, pp. 7–100.
25. *Kane R.E. Ruby&Sapphire*. RWH Publishing Boulder, Colorado USA, 1997.
26. *Nikolskaya L.V., Terekhova V.M., Samoilovich M.J. On the origin of natural sapphire color – Phis. and chem. Miner.*, 1978, № 3, pp. 213–224.
27. *Okrusch M., Bunch T.E., Bank H. Paragenesis and Petrogenesis of a Corundum – Bearing Marble at Hunsa (Kashmire)*. *Mineral Deposita* (Berlin), 1976, N211, pp. 278–297. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Барнов Николай Георгиевич – кандидат геолого-минералогических наук, e-mail: barnov@inbox.ru,

Мельников Евгений Павлович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, МГИ НИТУ «МИСиС».

UDC 553.82:550.84

GENETIC CLASSIFICATION OF GEM CORUNDUM DEPOSITS

*Barnov N.G.*¹, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, e-mail: barnov@inbox.ru,

*Melnikov E.P.*¹, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor
¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

Relations between chemical and physical properties, paragenetic mineral associations of gem corundums of various genesis is shown. Characteristic mineral inclusions which are considered as indicators of a genetic and regional belonging of the rubies and sapphires and can be used in their diagnostics and an estimation are defined.

Key words: corundum, typomorphic minerals, ruby, sapphire, monogenetic and polygenetic deposits.

REFERENCES

1. Braun G. *Vestnik gemmologii*. 2002, no 2.
2. Kievlenko E.Ya. *Geologiya samotsvetov* (Geology of gems), Moscow, Izd. «Ekost», 2001.
3. Kisin A.Yu. *Mestorozhdeniya rubinov v mramorakh (na primere Urala)* (Ruby deposits in marbles (in terms of the Ural)), Sverdlovsk, 1991.
4. Hughes R.W. *Ruby&Sapphire*. RWH Publishing, Boulder, Colorado, USA, 1997.
5. *Principais depositos minerals do Brasil*. Vol. IV, par. A, Brasilia, 1991,
6. Steven P., Youkovich S. Ruby mines of North Carolina. *Rocks and Minerals*, vol. 60, no 2, 1985.
7. Suwa Y. *Gemstones, quality and value*. Japan, Tokio, 1999.
8. Godovikov A.A. *Mineralogiya* (Mineralogy), Moscow, Nedra, 1983, p. 647.
9. Kievlenko E.Ya. *Geologiya samotsvetov* (Geology of gems), Moscow, Izd. Zemlya, 2001, p. 582.
10. Kisin A.Yu. *Mestorozhdeniya rubinov v mramorakh (na primere Urala)* (Месторождения рубинов в мраморах (на примере Урала)), Sverdlovsk, 1991, p. 130.
11. Kepezhinskas V.V., Luchitskii I.V. *Ocherki geologicheskoi petrologii* (Sketch-book on geological petrology), Moscow, Nauka, 1976, pp. 204.
12. Litvinenko A.K. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya*. 1990, no 6, pp. 125–129.
13. Mel'nikov E.P. *Geologiya, genezis i promyshlennyye tipy mestorozhdenii kvartsa* (Geology, genesis and commercial types of quartz deposits), Moscow, Nedra, 1988, 216 p.
14. Mel'nikov E.P. *Tezisy dokladov Vtorogo Vsesoyuznogo gemmologicheskogo soveshchaniya* (Proceedings of II All-Union Gemology Conference), Chernogolovka, 1989, pp. 37–38.
15. Sokolov Yu.M., Mel'nikov E.P. *Minerageniya metamorfogenykh mestorozhdenii gornogo khrustalya i granulirovannogo kvartsa* (Minerogeny of metamorphogene deposits of rock crystal and granular quartz), Leningrad, Nauka, 1977, 120 p.
16. Nyuberg N.D., Yustova E.N. *Trudy GOI* (State Optical Institute Transactions), Moscow, 1955, no 143, pp. 33–93.
17. Platonov A.N., Taran M.N., Balitskii V.S. *Priroda okraski samotsvetov* (Nature of gem coloration), Moscow, Nedra, 1984, pp. 196.
18. Petrov V.P. *Petrograficheskie problemy formirovaniya mestorozhdenii dragotsennykh i podelochnykh kamnei* (Petrographical problems of generation of precious and ornamental stone deposits), Moscow, Nauka, 1980, pp. 10–18.
19. Rossovskii L.N. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 1980, no 3, pp. 74–88.
20. Rossovskii L.N., Konovalenko S.I., Anan'ev S.A. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 1982, no 2, pp. 57–66.
21. Dobretsov N.L. *Fatsii metamorfizma* (Metamorphism facies), Moscow, Nedra, 1969, pp. 432.
22. Feklichev V.G. *Diagnosticheskie konstanty mineralov* (Constants for mineral diagnostics), Moscow, Nedra, 1989, pp. 480
23. Hughes R.W. *Ruby and Sapphire*, RWH, Publishing, Boulder, Colorado, USA, 1997, p. 511.
24. Iyer L.A.N. *The geological survey of India, the geology and gemstones of the Mogok stone tract. Burma miners survey of India*, 1953, v. 82, pp. 7–100.
25. Kane R.E. *Ruby&Sapphire*. RWH Publishing Boulder, Colorado USA, 1997.
26. Nikolskaya L.V., Terekhova V.M., Samoilovich M.J. On the origin of natural sapphire color *Phis. and chem. Miner.*, 1978, no 3, pp. 213–224.
27. Okrusch M., Bunch T.E., Bank H. Paragenesis and Petrogenesis of a Corundum Bearing Marble at Hunsu (Kashmere). *Mineral Deposita (Berlin)*, 1976, no 211, pp. 278–297.

