

На правах рукописи

Сорокина Елена Серафимовна

**ОНТОГЕНИЯ И КАЧЕСТВО ЮВЕЛИРНОГО РУБИНА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И
ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ**

Специальность 25.00.05 – минералогия, кристаллография

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2011 г.

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС»)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Ожогина Елена Германовна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Минеева Инесса Георгиевна

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Литвиненко Андрей Кимович

Ведущая организация: Государственный геологический музей
им. В.И. Вернадского РАН

Защита состоится 14 октября 2011 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета Д 216.005.01 во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС») по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д.31

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВИМС»

Автореферат разослан сентября, 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Луговская И.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Ювелирный рубин является вторым после алмаза наиболее важным с коммерческой точки зрения драгоценным камнем. Его высокая стоимость обусловлена редкостью нахождения кристаллов хорошего качества. Примерно в десяти из его известных месторождений присутствуют благородные корунды, пригодные для использования в ювелирной промышленности [Hughes, 1990; Walton, 2004]. На территории Российской Федерации промышленно значимые месторождения рубина пока не обнаружены.

Важной проблемой в настоящее время становится как поиск новых объектов, в том числе на территории Российской Федерации, так и расширение поисковых площадей в районах с разведанными месторождениями рубина. Для решения этой задачи необходимо расширить имеющиеся минералогические критерии на основе детального изучения влияния условий и среды минералообразования на онтогению корунда и формирование, в конечном счете, его ювелирных разновидностей на подобных объектах.

Примеры использования онтогении и парагенезиса минералов приведены во множестве работ отечественных ученых на объектах по генетическим [Юшкин, 1977; Дымков, 1966; Дымкова, 1966; Жабин, 1979; Лазько, 1957 и др.] и минералого-технологическим [Пирогов, 1985 и др.] исследованиям различных пород и руд. Однако количество работ по парагенезису рубина весьма ограничено [Okrush & Bank, 1976; Silva & Siriwardena, 1988; Кисин, 1991; Россовский, 1987; Литвиненко, 1990 и др.], а по его онтогении такие исследования никогда не проводились. Поэтому изучение как онтогении корунда и минералов корундсодержащих пород, так и парагенетических ассоциаций корунда, в связи с изменчивостью условий и среды минералообразования вызывает особый интерес, поскольку позволяет, в частности, выявлять генетические факторы, влияющие на появление его драгоценных разновидностей.

В последние годы вновь возник интерес к месторождению Снежное в Таджикистане – одному из уникальных объектов добычи рубина в Центральной Азии. Открытое еще в конце 1970-х гг., в последующие 20 лет месторождение частично отработывалось и изучалось его первооткрывателями: Россовским Л.Н., Дмитриевым Э.А. и др. Однако после распада СССР его отработка была остановлена более чем на 15 лет. В настоящее время работы на месторождении возобновлены [Литвиненко, 2010; Барнов, 2010 и др.] в связи с его недостаточной геолого-минералогической изученностью [Giuliani, Ohnenstetter et al., 2007].

Другой актуальной задачей как научного, так и сугубо практического значения, является оценка качества и идентификация месторождений природного рубина в россыпях и в ювелирных изделиях с использованием его кристаллофизических и кристаллохимических особенностей. Особый интерес в этом вопросе представляет кристаллосырье из месторождений Юго-Восточной Азии (Мьянма, Шри-Ланка, Таиланд и др.), откуда этот драгоценный камень поставляется последние два тысячелетия на ювелирные рынки мира. Так, традиционно наибольшим спросом пользуются и, соответственно, имеют высшую стоимость, рубины карминово-красного цвета со слегка лиловым оттенком (так называемый цвет «голубиной крови») из Могокского горнорудного района в

Мьянме [Hughes, 1997; Смит, 2002 и др.]. В связи с вышесказанным необходимо дополнительно определить оптимальный комплекс неdestructивных методов отличия природных рубинов от его синтетических аналогов [Сорокина, Балицкая и др., 2007].

Цель и задачи исследования. *Цель работы – изучить онтогению и качество рубина месторождений Центральной и Юго-Восточной Азии.*

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить влияние среды и условий минералообразования на онтогению корунда месторождения Снежное (Таджикистан, Восточный Памир) и эволюцию его парагенезисов; оценить факторы, определяющие появление рубина;

2. Выявить особенности влияния среды и условий минералообразования на месторождениях в Таджикистане, Мьянме, Шри-Ланке и Таиланде известных генетических типов на качество рубинового сырья;

3. Установить кристаллофизические и кристаллохимические свойства природного рубинового сырья, совокупность которых позволит выявить генетический тип (или само месторождение) и отличить минерал от синтетических аналогов.

Фактический материал и методы исследования. В диссертации приведены результаты исследований пяти лет работы с 2007 по 2011 г., к которым автор приступил будучи студентом Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (РГГРУ). Диссертантом исследованы образцы рубина из коллекций кафедры Геммологии (более 100 камней) и Минералогического музея РГГРУ (порядка 5 образцов), фондовый и экспозиционный материал Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана РАН (около 300 образцов рубина), Государственного Геологического Музея им. В.И. Вернадского РАН (более 450 образцов рубина), материал из частных коллекций, любезно предоставленный коллегами из ФГУП «ВИМС» (более 50 образцов каменного материала месторождений Снежное на Восточном Памире и Кучинское на Южном Урале) и собранный автором в ходе экспедиционных поездок на месторождения рубинового сырья Люк Ен в Северном Вьетнаме (около 10 кристаллов) – в совокупности около 900 природных и синтетических кристаллов, галек и образцов ограненного материала.

В работе приведены результаты изучения образцов рубина с использованием комплекса минералогических методов исследования: **физических анализов** (колориметрия, рефрактометрия, измерение массы и плотности), **онтогенического** (по методике, описанной в работах Б.В. Чеснокова (1974), В.И. Павлишина, Н.П. Юшкина и др. (1988)), **оптико-минералогического, петрографического, рентгенографического фазового** (Иоспа А.В., ФГУП «ВИМС»), **микрорентгеноспектрального и рентгенофлуоресцентного методов** (к. г.-м. н. Л.А. Паутов и к. г.-м. н. А.А. Агаханов, лаборатория аналитических методов исследования Музея им. А.Е. Ферсмана РАН), **фото- и рентгенолюминесценции** (Расулов В.А. и к. г.-м. н. Моршкин В.В., ФГУП «ВИМС»; Dr. M. Gaft, Израиль), **рентгеновской томографии** (к.г.-м. н. Якушина О.В., ФГУП «ВИМС»), **ЛА-ИСП-МС и оптической спектроскопии** (Dr. D. E.Jakob и Dr. T.Häger, Институт гео- и геммологических материалов

Гутенбергского университета г. Майнц и Институт геммологии г. Идер-Оберштайн, Германия).

Научная новизна работы

1. Впервые изучены онтогенез корунда и минералов корундсодержащих пород месторождения Снежное, на основании которой построена эволюционная модель кристаллизации минералов; выделены генерации корунда месторождения Снежное, исследована эволюция их кристаллохимии и кристалломорфологии на различных уровнях минеральной организации; получены спектры поглощения и фотолюминесценции корунда; определена зависимость изменения окраски различных генераций корунда от эволюции его кристаллохимии;

2. Изучены условия минералообразования рубина месторождения Снежное; выявлена их взаимосвязь с эволюцией парагенетических ассоциаций корунда; расширена ассоциация корунда с учетом маргарита, не описанного предыдущими исследователями;

3. Для каждого генетического типа месторождений определены типоморфные признаки рубина; диагностированы твердофазные включения ортита и ильменита в рубинах из Таджикистана (Снежное) и Мьянмы (Могок) соответственно;

4. Впервые проведено изучение синтетических раствор-расплавных рубинов методом рентгеновской томографии. На основании полученных данных идентифицированы включения в них;

5. Впервые наблюдалась зеленая фотолюминесценция рубинов, синтезированных методом из раствора в расплаве.

Практическая значимость работы

1. Разработаны принципы оценки рубинового сырья (на примере контактово-метасоматического и вулканогенного типов месторождений Мьянмы, Шри-Ланки, Таиланда и Таджикистана), позволяющие прогнозировать его качество в зависимости от генетического типа месторождения;

2. Полученные данные кристаллофизических и кристаллохимических свойств рубина использованы для идентификации генетического типа (в отдельных случаях непосредственно самого месторождения), они также позволяют отличать самоцвет от синтетических аналогов.

Личный вклад. Автор участвовал в экспедиционных поездках на месторождения рубина в Северном Вьетнаме, в результате чего был собран каменный материал, описанный в первой главе диссертации. Практически все анализы и интерпретация их результатов выполнены автором самостоятельно или при участии специалистов. Автором проведена диагностика и сортировка некоторых образцов рубина коллекции Музея им. В.И. Вернадского РАН методами оптической микроскопии, проведены предварительные исследования по привязке образцов рубина из фондового материала Музея им. А.Е. Ферсмана РАН к определенным месторождениям.

Апробация работы проведена на 10 конференциях и совещаниях: Межвузовской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле» (2008 г., г. Москва), Годичном собрании Российского минералогического общества «Онтогенез минералов и ее значение для решения геологических прикладных и научных задач» (2009 г., г. Санкт-Петербург),

Международной конференции, посвященной 250-летию Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского «Современная геология: история, теория, практика» (2009 г., г. Москва), 6-й Международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (2009 г., г. Москва), 2-ой и 3-ей Научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка твердых полезных ископаемых» (2009 и 2011 гг., г. Москва), 21-й Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика В.И. Смирнова «Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых» (2010 г., г. Москва), Международном совещании «Плаксинские чтения – 2010» (2010 г., г. Казань), 20-м собрании Международной минералогической ассоциации IMA 2010 (2010 г., г.Будапешт, Венгрия), 5-м Международном симпозиуме Provenance and Properties of Gems and Geo-Materials «Pro-Gem-Geo-Mat 2010» (2010 г., г. Ханой, Вьетнам). По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 2 – в реферируемых журналах.

Структура, объем и содержание работы. Диссертационная работа изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 10 таблиц, 77 иллюстраций и список использованной литературы из 118 наименований. Она состоит из трех глав, введения и заключения. Во *введении* сформулированы актуальность темы, цель и задачи исследования, описана научная новизна и практическая значимость работы, приведены методы и фактический материал исследования. В *главе 1* охарактеризованы литературные данные и проведенные автором исследования по минералогии благородного корунда, описаны его основные месторождения, кристалломорфология, кристаллофизические и кристаллохимические свойства. В *главе 2* приведены результаты изучения онтогении корунда месторождения Снежное, кристаллохимическая и кристалломорфологическая изменчивость его различных генераций. Определена природа окраски корунда и установлены его твердофазные включения. Описаны результаты исследования онтогении минералов корундсодержащих пород месторождения Снежное, на основании которых построена эволюционная модель их кристаллизации. В *главе 3* представлены данные изучения кристаллохимических и кристаллофизических свойств рубина месторождений Центральной (Таджикистан) и Юго-Восточной Азии (Мьянма, Шри-Ланка и Таиланд) различных генетических типов и их синтетических аналогов, полученных различными методами (плавление в пламени, раствор-расплавный). Систематизированы результаты исследования, позволяющие их использовать для диагностики типа месторождения рубина у камней без привязки, а также отбраковки их от синтетических аналогов. В *заключении* обобщены основные научные и практические результаты работы.

Автор глубоко признателен своему первому научному руководителю к.г.-м.н. Балицкой О.В., чьи поддержка и консультации помогли процессу становления исследовательского мировоззрения. Особую благодарность хотелось бы выразить научному руководителю д.г.-м.н. Ожогойной Е.Г. за создание благоприятной атмосферы для научных исследований, помощь в проведении подавляющего количества анализов, советы и содействие, которое оказывалось в течение всего времени учебы в аспирантуре, проф. д. г.-м. н. Пирогову Б.И. – за бесценные

консультации и методические указания, которые помогли автору в изложении части диссертационного материала. Автор благодарен коллегам за любезно предоставленный каменный материал: нынешним и бывшим сотрудникам ФГУП «ВИМС», заведующей Кафедрой геммологии проф.Солодовой Ю.П. и руководителю Минералогического Музея к.г.-м.н Должанской Т.Ю. (РГГРУ), главному хранителю к. г.-м.н. Генералову М.Е. (Музей им. Ферсмана РАН).

Автор благодарен всем коллегам, принимавшим участие в аналитических исследованиях образцов рубина и корундсодержащих пород. За финансовую помощь в осуществлении экспедиционной поездки в Северный Вьетнам, научно-исследовательский визит в Германию с возможностью проведения аналитических исследований, и подробные консультации по теме работы диссертант выражает признательность декану Института гео- и геммологических материалов Гутенбергского университета г. Майнц и Геммологического института г. Идер-Оберштайн (Германия) prof. W.Hofmeister.

Диссертант искренне благодарен за поддержку, обсуждение, полезные замечания по теме работы и теплое отношение в процессе ее написания своим российским и зарубежным коллегам: руководству и сотрудникам ФГУП «ВИМС» (к. ф.-м. н. Рогожину А.А., д. г.-м. н. Кузьмину В.И., к. геогр.н. Орловой Н.И., к.г.-м. н. Соколову С.В., Астаховой Ю.М., Мартыновой Т.А., Кривошекову Н.Н. и другим); сотрудникам кафедры геммологии РГГРУ (Хомрач М.В. и др.); коллегам из Гюбелинской лаборатории (Швейцария) и Академии наук и технологий г. Ханой (Вьетнам), Университета г. Бангкок (Таиланд) и другим специалистам, принимавшим участие в обсуждении данной работы.

Первое защищаемое положение

На основе кристаллохимических исследований корунда установлена эволюция среды минералообразования месторождения Снежное, выраженная в особенностях онтогении минерала. Она отразилась на изменении содержания элементов-примесей хрома, титана, ванадия, железа и галлия в химическом составе и морфологии кристаллов от удлиненно-призматического до уплощенно-призматического облика в трех зарождениях первой генерации (приуроченных к кристаллическим сланцам) и второй генерации корунда (ювелирный рубин, локализованный в скарнированных мраморах).

Месторождение Снежное (Восточный Памир, Таджикистан) расположено в Мургабском районе Горного Бадахшана в 25 км южнее поселка Рангуль (Киевленко, 2007). Оно находится в области развития самоцветоносного Кукурстского пегматитового узла. Минерализованные корундовые зоны месторождения локализуются на контакте с кианит – гранат – биотитовыми сланцами и желтыми мраморами сарыджилгинской свиты. Зоны состоят из линзообразных тел (максимальная мощность – до 1 м), сложенных кристаллическими сланцами на контакте с крупнозернистыми кальцитовыми мраморами.

Генерации корунда месторождения Снежное ранее изучалась Г.И. Крыловой и соавторами (1989 г.). Обобщенные результаты их исследований

приведены в работе [Киевленко, 2001]. Однако критерии выделения генераций корунда ранее не рассматривались.

Корунд на месторождении Снежное представлен двумя генерациями, которые характерны для кристаллических сланцев (три зарождения первой генерации) и скарнированных мраморов (вторая генерация – ювелирный рубин). Они разделены локальными тектоническими процессами, выраженными в микрообломочном строении зерен плагиоклаза и скаполита на контакте двух пород. Генерации выделены на основании критериев, предложенных в работе Н.И. Красновой и Т.Г. Петрова (1997).

Корунд I первого зарождения – это зональные удлиненно-призматические кристаллы фиолетового цвета. Средний размер кристаллов от 20 до 30 мм. В них развита отдельность параллельно граням пинакоида и положительного ромбоэдра. В их составе присутствуют (масс.%) около 0,053 Cr, 0,0085 Ti, 0,0056 Ga и 0,003 V (см. табл. 1). Корунд I второго зарождения представлен бледно-розовыми уплощенно-призматическими кристаллами. Уплощенно-призматический облик кристаллов, по-видимому, связан с изменением симметрии среды и воздействием локальных физических процессов – силы тяжести, приложенной перпендикулярно грани гексагональной призмы кристалла корунда. Средний размер кристаллов составляет 20 – 30 мм. В них наблюдаются полисинтетическое двойникование и послойный рост. В составе корунда I второго зарождения присутствует (масс.%) около 0,15 – 0,25 Cr, 0,01 Ti, 0,004 V, 0,005 Ga (см. табл. 1). Корунд I первого и второго зарождения связан с существенно кристаллическими сланцами. Корунд I третьего зарождения – пинакоидального габитуса темно-красного цвета. В нем определено (масс.%) до 0,2 – 0,3 Cr, 0,1 – 0,2 Fe, 0,01 V, 0,008 Ga и 0,005 Ti (см. табл. 1). Он локализуется в кристаллических сланцах вблизи контакта со скарнированными мраморами.

Таблица 1

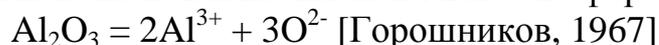
Содержание элементов-примесей Ti, V, Cr, Ga и Fe в точках на поверхности различных генераций корунда месторождения Снежное по данным ЛА-ИСП-МС* (верхнее значение, исследуемая область – 80 мкм) и микрорентгеноспектрального анализа** (нижнее значение, исследуемая область – 3 мкм; для Fe только по данным микрорентгеноспектрального анализа)

Содержание элемента (в масс.%) Генерация (зарождение) корунда	№	Корунд I первого зарождения (CrnI ¹)			Корунд I второго зарождения (CrnI ²)			
Ti	I	0,005*	0,0018	0,0017	0,0069	0,0165	0,0084	0,0074
		≈0**	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
V	II	0,0041	0,0038	0,004	0,0042	0,0043	0,0038	0,0045
		≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
Cr	III	0,0417	0,0513	0,0661	0,1775	0,0906	0,0819	0,0895
		≈0	≈0	≈0	0,18	0,2	0,25	0,3
Ga	IV	0,0056	0,0052	0,0057	0,0063	0,0061	0,0053	0,0054
		≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
Fe	V	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0

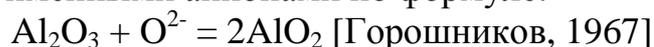
№	Корунд I третьего зарождения (CrnI ³)			Корунд II (CrnII)				
	I	0,0031	0,007	0,0047	0,0076	0,0036	0,0021	0,0006
≈0		≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
II	0,0095	0,0093	0,0093	0,0097	0,0075	0,0122	0,0052	0,011
	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
III	0,282	0,2296	0,2012	0,2611	0,1697	0,4204	0,3278	0,3578
	0,3	0,24	0,2	0,28	0,22	0,46	0,32	0,35
IV	0,0088	0,0083	0,0067	0,0063	0,0061	0,0083	0,0068	0,0076
	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
V	0,17	0,09	0,11	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0

Корунд II (ювелирный рубин) наиболее поздняя генерация. Представлен уплощенно-призматическими прозрачными кристаллами карминово-красного цвета со слегка лиловым оттенком – цвета «голубиной крови». Видимые анатомические и механические дефекты рубинового кристаллосырья отсутствуют. В нем определено до 0,5 масс.% Cr₂O₃. Другие элементы-примеси, диагностированные в составе рубина представлены (масс.%) Ti (0,005), V (0,01) и Ga (0,008). Ювелирный рубин локализуется в межзерновом пространстве порфиروبластов кальцита скарнированных мраморов вблизи контакта с кристаллическими сланцами.

Образование пинакоидальных форм связано, вероятно, окислительными процессами и формированием граней пинакоида корунда I третьего зарождения сетками катионов или анионов Al и O по формуле:



Образование призматических форм корунда I первого и второго зарождений и корунда II, напротив, связано, по-видимому, с обратным процессом и формированием кристаллов гранями призм, плоские сетки которых сложены разноименными анионами по формуле:



Исходя из вышеописанного можно проследить эволюцию «макроуровня» минеральной организации корунда различных генераций и зарождений, связанную с изменчивостью среды минералообразования на месторождении Снежное. Процесс эволюции минералообразующей среды обусловил различный характер накопления элементов-примесей в нем. Для хрома – постепенный, для железа – осцилляционный.

Изменение условий минералообразования (pH среды и силы тяжести) отразилось на эволюции кристалломорфологии корунда (рис. 1).

Эволюция кристаллохимии корунда различных генераций месторождения Снежное на «микроуровне» его минеральной организации имеет возвратно-поступательный характер. Аналогично изменению содержания железа, наблюдалось скачкообразное увеличение элементов-микропримесей ванадия, титана и галлия в корунде I третьего зарождения по сравнению с его предыдущими превращениями (рис. 2).

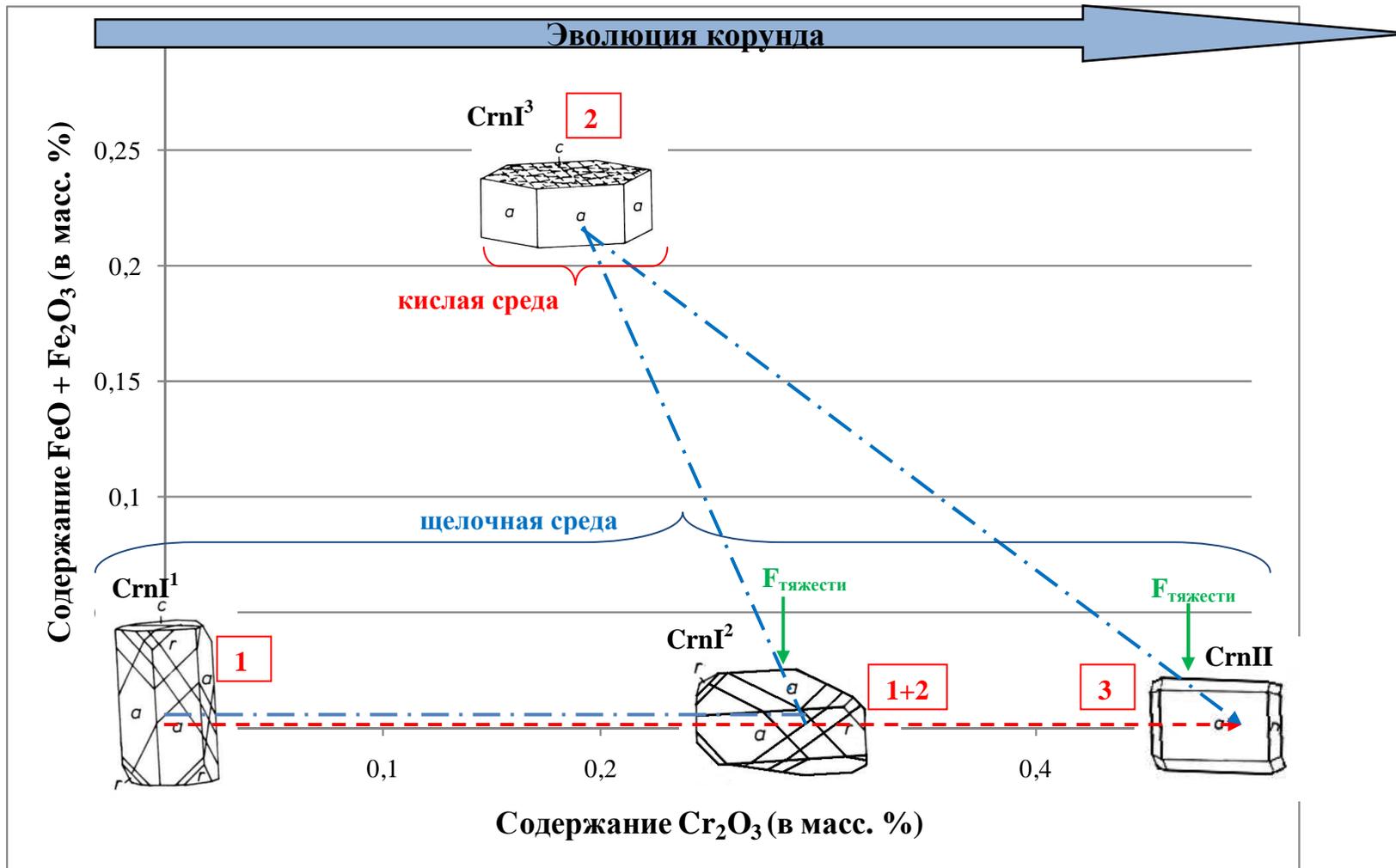


Рис. 1. Эволюция кристаллохимии (содержания Cr_2O_3 – ось X и $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ – ось Y), кристалломорфологии в зависимости от pH среды (пунктирные скобки) и силы тяжести (зеленые стрелки) корунда. Пунктир и пунктир с точкой – постепенный и возвратно-поступательный характер накоплений элементов-«примесей» Cr_2O_3 и $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ в составе корунда соответственно. **1** – кристаллические сланцы, **2** – скарнированные мрамора и **3** – их контакт на месторождении Снежное.

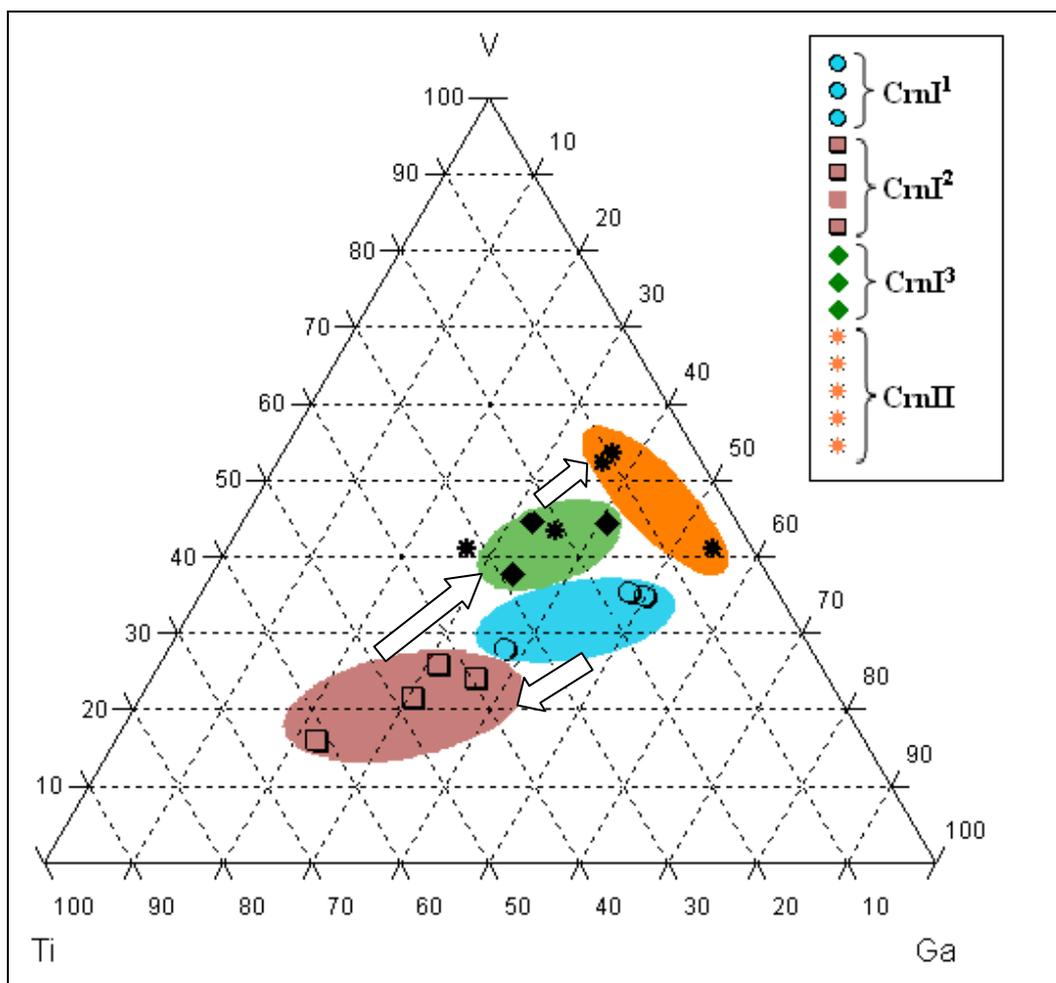


Рис. 2. Изменение содержаний (показано стрелками) элементов-микропримесей Ti, V и Ga в корунде из месторождения Снежное по данным ЛА-ИСП-МС (в ppm).

Осцилляционный характер накопления элементов-примесей в корунде на различных уровнях минеральной организации обуславливает разнообразие его окраски. Возвратно-поступательное уменьшение отношения содержания элементов-хромофоров V^{3+}/Cr^{3+} можно считать причиной появления различных оттенков красного цвета в корунде I первого и второго зарождения и в корунде II (ювелирном рубине). Для ювелирного рубина месторождения Снежное наиболее ценного карминово-красного цвета со слегка лиловым оттенком это отношение составляет около 0,032 (см. рис. 3). Вероятно, присутствие в структуре ионов Fe, помимо Cr^{3+} и V^{3+} обуславливает темно-красную окраску корунда I третьего зарождения.

Дополнительно идентифицированы включения в корунде, влияющие на его качество [Sorokina & Ozhogina, 2010; Сорокина, Иоспа и др., 2010]. Такие как зональный ортит (с включениями гидрокарбонатов редких земель и торианитом) и циркон протогенетической природы, маргарит и хромсодержащий рутил сингенетической природы.

Таким образом, эволюция условий и среды минералообразования на месторождении Снежное обусловила особенности онтогении корунда в трех зарождениях первой генерации и второй генерации. Они выражены в

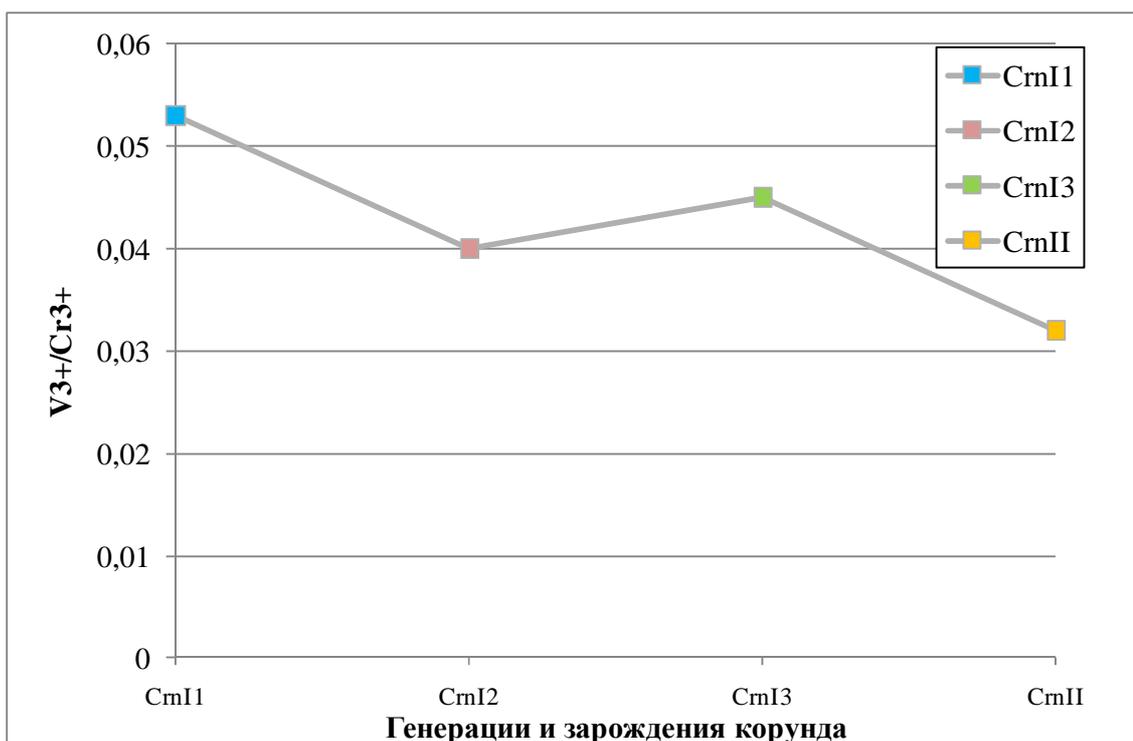


Рис. 3. Эволюция отношения содержаний элементов-хромофоров V^{3+}/Cr^{3+} в корунде с месторождения Снежное.

изменении габитусных форм от удлиненно-призматического до уплощенно-призматического облика; постепенном и возвратно-поступательном накоплении элементов-примесей Gr, Fe, Ti, V и Ga на разных уровнях минеральной организации, что обуславливает различия окраски самоцвета. Для наиболее ценного ювелирного рубина карминово-красного цвета со слегка лиловым оттенком отношение центров V^{3+}/Cr^{3+} составляет 0,032. В рубине не обнаружены твердофазные включения, поэтому его качество может определять только совместное образование с другими минералами.

Второе защищаемое положение

Геохимическая эволюция минералообразующей среды на месторождении Снежное определила изменчивость парагенетических ассоциаций и, как следствие, ювелирных качеств корунда. Среднее и высокое качество корунда II (рубина) связано с его кристаллизацией в ассоциации с кальцитом II и фукситом. Образование этой парагенетической ассоциации проходило в системе $SiO_2 - Al_2O_3 - CaO$ (при инертном алюминии) с увеличением содержания кальция и уменьшением количества кремнезема.

Месторождение Снежное характеризуется сложным минеральным составом. Главные минералы кристаллических сланцев: слюда (фуксит, хромсодержащий мусковит, флогопит, маргарит), плагиоклаз (альбит – анортит), скаполит (40-60% мейонитовой молекулы), корунд. В числе второстепенных минералов наблюдаются рутил, гетит, карбонаты (кальцит и доломит), графит, хлорит, калишпат, каолинит. Акцессорные минералы –

циркон и ортит [Sorokina & Ozhogina, 2010; Сорокина, Иоспа и др., 2010]. Предыдущими исследователями обнаружены и другие минералы кристаллических сланцев: сфен и диаспор [Барнов, Литвиненко, 2010], пирит [Киевленко, 2007] и амфибол [Россовский, 1987].

Главные минералы скарнированных мраморов представлены кальцитом, в числе второстепенных минералов присутствуют корунд (рубин), слюда (флогопит и фуксит), рудные минералы, скаполит (около 60% мейонитовой молекулы), плагиоклаз (альбит – олигоклаз), графит. Е.Я. Киевленко (2007) в скарнированных мраморах идентифицировал также увит-дравит, присутствующий в виде индивидуализированных кристаллов.

По данным онтогенетических исследований минералов кристаллических сланцев и скарнированных мраморов построена эволюционная модель кристаллизации минералов корунднесущих пород месторождения Снежное. С учетом вероятной протогенетической природы образования циркона, ортита и доломита, они были отнесены к протогенетической стадии. Сингенетическая стадия, с которой сопряжено формирование корунда различных генераций и зарождений, разбита на подстадии с его характерными парагенетическими минеральными ассоциациями: корунд–плагиоклаз – флогопитовую (I), корунд – кальцит – маргаритовую (II), корунд-плагиоклаз-скаполитовую (III) и рубин – кальцит – фукситовую (IV). При этом подстадии (I) и (II) характерны для существенно кристаллических сланцев, (III) – наблюдается на контакте кристаллических сланцев и скарнированных мраморов и (IV) – в скарнированных мраморах. Последовательность кристаллизации минералов в прото- и эпигенетической стадиях выделена условно с целью наглядного изображения динамики общего процесса.

Кристаллизация корунда проходила в четырех парагенетических ассоциациях (I, II, III и IV) (рис. 4). Важно отметить, что после начала кристаллизации плагиоклаза II (кислого состава) в третьей парагенетической ассоциации наблюдается некоторый перерыв в отложении корунда. Перерыв может быть обусловлен увеличением содержания кремнезема и, как следствие, кислотности плагиоклазов, что, по мнению Е.К. Лазаренко (1963), приводит к уменьшению содержания корунда в породе.

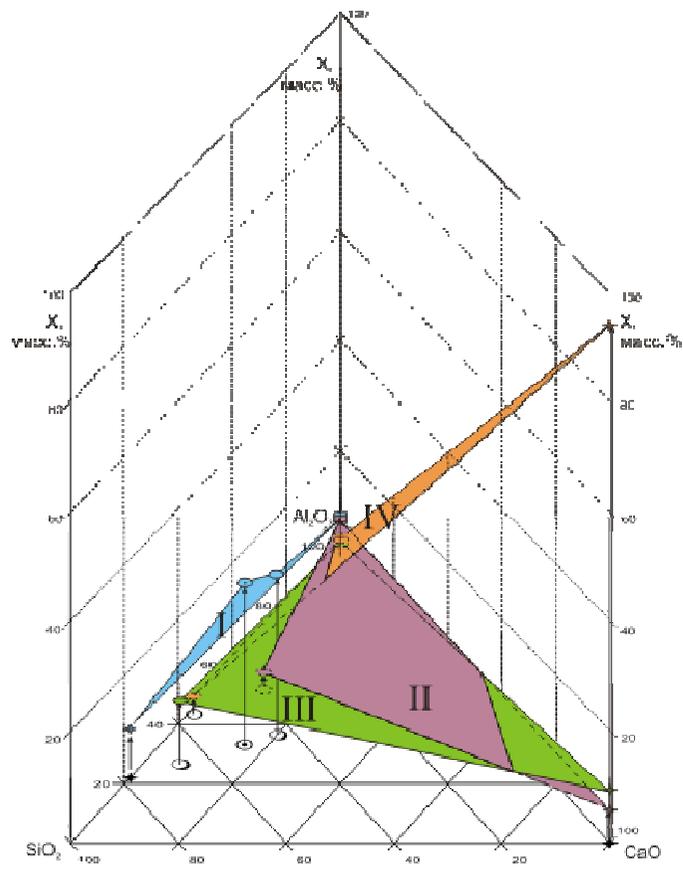
Образование бездефектного рубина ювелирного качества проходило при его совместном формировании с кальцитом II и фукситом в более «мягкой» кальцитовой матрице скарнированных мраморов и связано с природными процессами (перекристаллизацией).

С целью исследования влияния геохимической эволюции среды на формирование парагенетической ассоциации с ювелирным рубином построена четырехкомпонентная диаграмма. На диаграмме в проекции плоскости $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ нанесены химические составы минералов, входящие в парагенезисы с корундом. Точки подняты по оси X на величину их массового процентного содержания в породе. Исходя из данных диаграммы (рис. 5), кристаллизация корунда проходила в процессе эволюции его четырех минеральных парагенезисов.

Минерал / Стадия	Прото-генетическая	Сингенетическая				Эпигенетическая
		Парагенетические минеральные ассоциации корунда				
		I	II	III	IV	
Циркон	↔					
Ортит	↔					
Доломит	↔					
Плагиоклаз		I ↔		II ↔		
Калишпат						
Корунд		I ¹ ↔ I ² ↔ I ³			II ↔	
Слюда		Phl ↔ Mrg			Fuch ↔	
Графит		I ↔				II ↔
Рутил			↔			
Кальцит			I ↔		II ↔	
Скаполит				I ↔	II ↔	
Хлорит						↔
Гетит						↔
Каолинит						↔

Область развития ювелирного рубина

Рис. 4. Эволюционная модель кристаллизации минералов корунднесущих пород месторождения Снежное (римскими и арабскими цифрами указаны генерации и зарождения минералов соответственно).



- первый (I) парагенезис корунда:
- - корунд I;
 - - изоморфный ряд лабрадора - анортита;
 - ✦ - флогопит
- второй (II) парагенезис корунда:
- - корунд I;
 - ✦ - кальцит I;
 - - маргарит
- третий (III) парагенезис корунда:
- - корунд I;
 - ✦ - кальцит II;
 - - скаполит I
- четвертый (IV) парагенезис корунда:
- - корунд II (рубин);
 - ✦ - кальцит II;
 - - фуксит
- пунктирными линиями со стрелкой показана траектория точек в проекции плоскости $SiO_2 - CaO - Al_2O_3$.

Рис. 5. Эволюция минеральных парагенезисов корунда на месторождении Снежное: корунд I первое зарождение - плагиоклаз I - флогопит (синий цвет - I), корунд I второе зарождение - маргарит - кальцит I (фиолетовый цвет - II), корунд I третье зарождение - скаполит I - кальцит II (зеленый цвет - III) и корунд II (рубин) - фуксит - кальцит II (оранжевый цвет - IV) в четырехкомпонентной системе $SiO_2 - CaO - Al_2O_3 - X$ (где X - доля минерала (в масс.%) в породе).

Локальное образование корунда ювелирного качества (отдельные бездефектные рубиновые блоки в индивидуализированных кристаллах корунда I первого зарождения) наблюдалось еще в кристаллических сланцах. Тогда как повсеместное образование бездефектного кристаллосырья происходит в наиболее позднем корунде II (ювелирный рубин), локализованном в скарнированных мраморах вблизи контакта с кристаллическими сланцами. В обоих случаях процесс формирования рубина в системе $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ связан со сменой геохимии среды – увеличением содержания кальция и уменьшением кремнезема (см. рис. 5).

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что рубин среднего и высокого качества кристаллизовался в скарнированных мраморах в четвертой рубин – кальцит – фукситовой парагенетической ассоциации. Парагенетическая ассоциация с рубином на месторождении Снежное образовалась в системе $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ при инертном алюминии с увеличением содержания кальция и уменьшении количества кремнезема

Третье защищаемое положение

Типоморфными особенностями рубинов месторождений Юго-Восточной (Мьянма и Шри-Ланка) и Центральной (Таджикистан) Азии контактово-метасоматического генезиса является незначительное содержание железа, красная фотолюминесценция, наличие определенных твердофазных включений, среднее и высокое качество кристаллосырья. Для рубинов месторождений Юго-Восточной Азии (Таиланд) вулканогенного генезиса характерно присутствие значительного количества железа, отсутствие фотолюминесценции и твердофазных включений, низкое качество сырья. Природные рубины отличаются от синтетических аналогов отсутствием галлия. Рубины, полученные различными методами, можно распознавать по химическому составу, особенностям внутреннего строения и фотолюминесценции.

Состав и свойства корундового сырья из скарнированных (Могок в Мьянме, Бакамуна в Шри-Ланке, Снежное в Таджикистане) и базальтовых пород (Чантхабури в Таиланде) были изучены многими исследователями. Методы идентификации месторождений хром-окрашенного ювелирного корунда на основе данных его химического состава были опубликованы в работе [Muhlmeister, Fritsch, et. al., 1998]. Типоморфизм включений в рубинах из различных месторождений мира описан в работах [Gubelin & Koivula, 1992; Hughes, 1997; Schmetzer, 1986; Андреевко, Солодова и др., 1986]. Типохимические основы идентификации месторождений благородных корундов различного генезиса приведены в работах [Tang, Tay, et. al., 1988; Okrusch, Bunch, et al, 1976; Hauzenberger, 2010; Balmer, 2010 и др.].

Типоморфным признаком природных рубинов, позволяющих их отличать от синтетических аналогов, является присутствие в них элемент-микропримеси галлия [Muhlmeister, Fritsch, et. al., 1998]. Наиболее дорогие рубины из месторождений Мьянмы, Шри-Ланки и Таджикистана контактово-

метасоматического типа [Киевленко, 2001] обладают цветом «голубиной крови». Причем в камнях из месторождения Шри-Ланки присутствуют цвета более бледные, часто розовые. Для рубинов вулканогенного типа (магматического типа по Е.Я. Киевленко (2007)) типично присутствие в их химическом составе помимо хрома до 0.35 масс.% Fe_2O_3 . Это обуславливает их темно-красную непопулярную окраску. Фотолюминесценция рубинов контактово-метасоматического генезиса ярко-красная со слегка оранжевым оттенком в длинноволновом (LW) излучении (для рубинов из Шри-Ланки часто тусклая), красная и менее интенсивная при коротковолновом (SW) излучении. В отличие от них, рубины из Таиланда при УФ-возбуждении практически не светятся, либо очень слабо, что связано с присутствием в их кристаллической структуре ионов Fe^{2+} (гасителей люминесценции). В спектрах фото- и рентгенолюминесценции рубинов из четырех месторождений наблюдаются отчетливые линии Cr^{3+} (рис. 6).

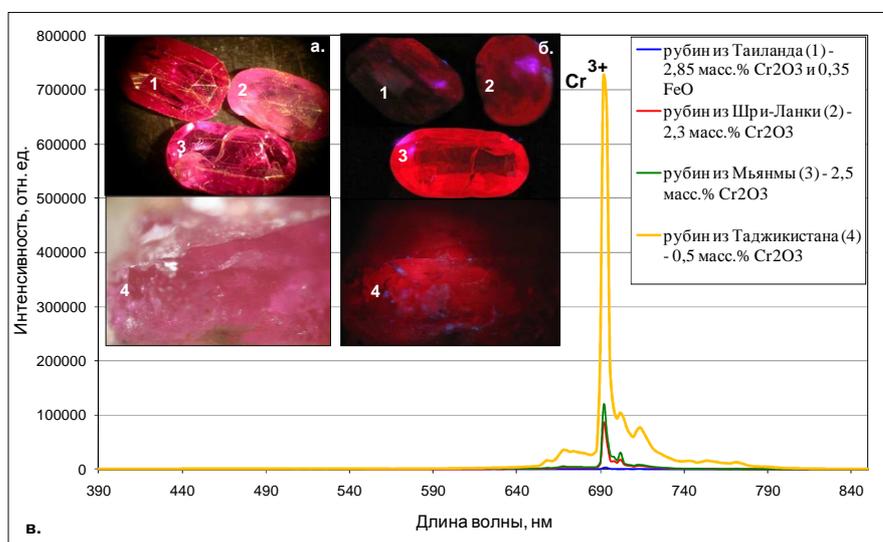


Рис. 6. Цвет (а) и фотолюминесценция (б) рубинов: 1 – Таиланда; 2 – Шри-Ланки; 3 – Мьянмы и 4 – Таджикистана. Синее-фиолетовое – блики от ультрафиолетовой лампы; в – спектры их фото- и рентгеновской люминесценции. Образцы рубина ММ имени А.Е. Ферсмана РАН и ФГУП «ВИМС».

Типоморфным для камней контактово-метасоматического типа является присутствие короткопризматических двойников рутила. Принадлежность к этому генетическому типу характеризуется твердофазными включениями в рубинах апатита, рутила и мусковита. Для месторождения Мьянмы типоморфным является включение ильменита [Sorokina & Ozhogina, 2010], для рубинов из Таджикистана – ортита [Sorokina & Ozhogina, 2010]. Рубины вулканогенного типа часто искусственно термооблагорожены с целью повышения ювелирного качества природного сильнотрещиноватого сырья. В трещинах присутствует силикатное вещество, которое свидетельствует о термооблагораживании камней. Твердофазные включения практически не встречаются. Иногда наблюдаются длинные вытянутые иглы бемита, локализованные в ребре, параллельном грани r кристалла корунда [Shmetzer, 1986] (табл. 2).

В синтетических рубинах отсутствует элемент-«микропримесь» галлий. Особенности внутреннего строения вернейлевских и «реконструированных» камней являются изогнутые линии роста и газовые пузыри, часто присутствующие на границе этих линий (в природных

Особенности ювелирных рубинов из скарнов Мьянмы, Шри-Ланки, Таджикистана,
и базальтов Таиланда [Sorokina & Ozhogina, 2010]

Параметр	Генетический тип (месторождение)			
	Контактово-метасоматический (скарны)			Вулканогенный (покровные базальты)
	Мьянма	Шри-Ланка	Таджикистан	Таиланд (облагороженный материал)
Качество сырья	Высокое и среднее	Часто среднее, реже высокое	Часто среднее, реже высокое	Низкое, реже среднее
Макросостав (в масс.%)	$Al_2O_3 \approx 97,25 - 98,3$; $Cr_2O_3 \approx 1,70 - 2,75$			$Al_2O_3 \approx 96,70 - 96,80$; $Cr_2O_3 \approx 2,5 - 2,6$; $FeO \approx 0,2 - 0,4$
Наличие «микропримесей»	Fe, V, Ti, Cu, Zn, Ca и Ga (для Шри-Ланки + As и Zr)			
Цвет	От розового до карминово-красного со слегка лиловым оттенком (т.н. цвет «голубиной крови»); типична пятнистость окраски.	Часто розовый, однако, встречается карминово-красные камни со слегка лиловым оттенком; типична пятнистость окраски	От розового до карминово-красного со слегка лиловым оттенком (т.н. цвет «голубиной крови»).	Темно-красный; пятнистость окраски не наблюдается
Люминесценция визуальная	LW – ярко-красная с оранжевым оттенком, интенсивна; SW – красная, менее интенсивная	LW – ярко-красная, иногда с оранжевым оттенком, тусклая; SW – красная, не интенсивная.	LW – ярко-красная, интенсивная; SW – красная, менее интенсивная	LW – красноватая, слабая, часто отсутствует; SW – отсутствует
Спектры люминесценции	Центры люминесценции Cr^{3+}			
Внутренние особенности (в частности твердофазные включения)	Коленчатые двойники рутила (угол двойникования около $55^\circ/115^\circ$) предположительно в виде структуры распада.		Округлые выделения циркона, гексагональные кристаллы ортита, чешуйки маргарита.	Иглы бемита. Трещины, залеченные силикатным веществом с локализованными в них негативными кристаллами (характерны для термооблагороженных камней).
	гексагональные кристаллы апатита, чешуйки мусковита, кристаллы ильменита.	Кристаллические выделения рутила.	Кристаллы рутила.	

Особенности ювелирных рубинов, синтезированных различными методами [Sorokina & Ozhogina, 2010]

Параметр/ метод синтеза	Плавление в пламени	Из раствора в расплаве (флюсовый)		
	Вернейлевские, «реконструированные», техногенные рубины	Институт кристаллографии	Фирма Ramaura	Фирма Chatham
Макросостав (в масс.%)	$Al_2O_3 \approx 98 - 99,5$; $Cr_2O_3 \approx 0,5 - 2$			
Наличие «микропримесей»	Ti, Fe, Cu, Zn		Fe, Cu, Pb, Bi, La, Pt	Fe, Cu, Pt, Pb
Люминесценция визуальная	LW – ярко-красная со слегка оранжевым оттенком, интенсивная. SW – та же, но менее интенсивная			
			зеленая фотолюминесценция в излучении азотного лазера (длина волны лазерного излучения – 337,1 нм)	
Спектры люминесценции	Центры люминесценции Cr^{3+}		UV: центры Cr^{3+} и полосы дефектных центров $V_k(O^{2-})$	
Внутренние особенности (в частности, состав твердофазных включений)	Изогнутые линии роста, газовые пузыри	Оранжевые включения флюса состава 100% PbO , залеченные флюсом трещины.	Оранжевые включения флюса состава 60,47% PbO, 25,32% Bi₂O₃ , 7,46% La₂O₃ , залеченные флюсом трещины.	Залеченные флюсом трещины, металлические трапецевидные включения.

корундах наблюдаются линии роста, параллельные граням гексагональной призмы с углом 60° по отношению друг к другу, газовые пузыри не встречаются). В раствор-расплавных корундах определен химический состав наблюдавшихся включений оранжевого флюса натечной формы, отвечающий 100 масс.% PbO (для корундовых друз из Института кристаллографии) и 60.47 масс.% PbO, 25.32 масс.% Bi_2O_3 и 7.46 масс.% La_2O_3 (для синтетических корундов фирмы Ramaura) [Sorokina & Ozhogina, 2010]. Помимо включений флюса отмечены заполненные флюсом трещины в виде «вуалей», «отпечатков пальцев» и трапециевидные включения частичек с высоким отражением и металлическим блеском (в синтетических образцах фирмы Chatham). В природных корундах включения флюса и частичек металла не обнаружены (табл. 3).

Дополнительными методами диагностики раствор-расплавных рубинов являются рентгеновская томография и фотолюминесценция. На основе полученных томограмм неdestructивно установлены естественная ориентация (по граням дитригональной призмы под углом 120°) и размер включений, варьирующий от 30 до 150 мкм. Также проведена их диагностика. Включения представлены преимущественно реликтами флюса, частицами железа и свинца (рис. 7). Для корундов фирмы Chatham и Ramaura типична зеленая лазеролуминесценция, обусловленная, возможно, электронно-дырочными центрами (в природных рубинах всегда наблюдается красная лазеролуминесценция) (рис. 8) [Sorokina & Ozhogina, 2010].

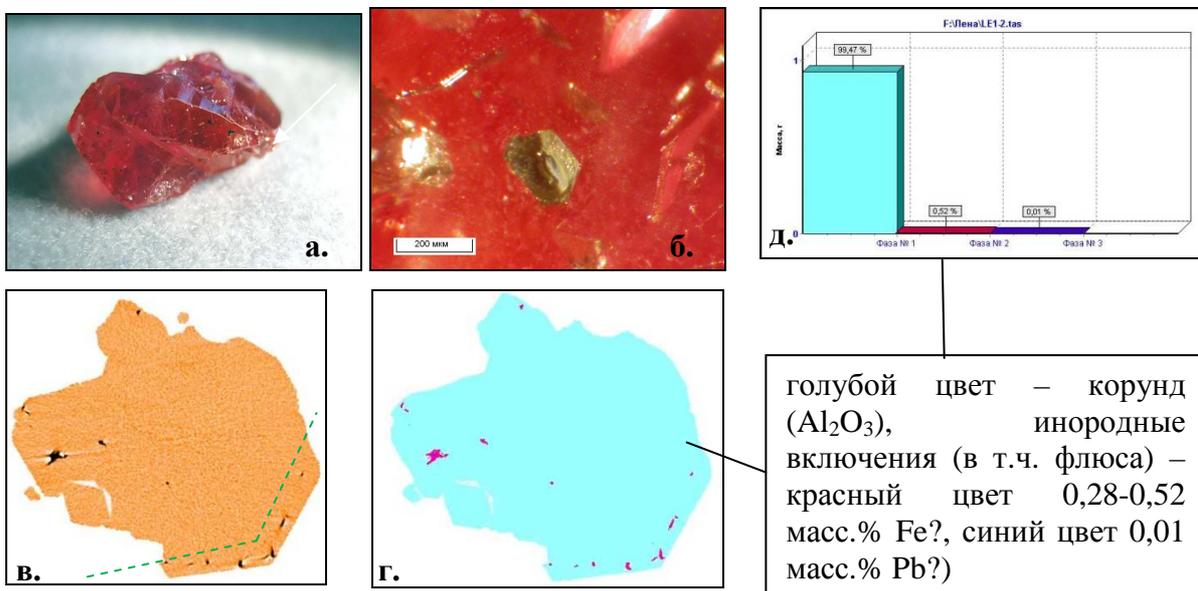


Рис. 7. а) Кристалл флюсового рубина фирмы Chatham (размер 1,5 x 1 x 0,5 см) с включением в нем металлических частиц (белая стрелка); б) макроизображение металлических частиц; в) рентгенотомограмма флюсового рубина (зеленый пунктир – локализация инородных частиц вдоль грани дитригональной призмы кристалла корунда); г) разделение на фазы по программе TomAnalysis; д) гистограмма их процентного соотношения. Образцы рубина ММ имени А.Е. Ферсмана РАН.

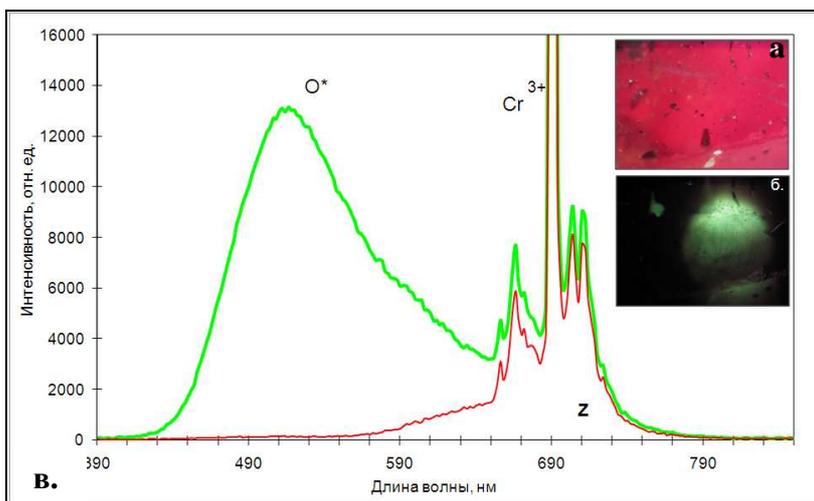


Рис. 8. Цвет (а), лазеролуминесценция (б) и спектр УФ-люминесценции (в) (зеленый цвет – нормальный спектр; красный цвет – спектр с задержкой на 180 мкс) раствор-расплавных рубинов фирмы Chatham. Образцы рубина ММ имени А.Е. Ферсмана РАН.

Полученные данные позволяют говорить о том, что генезис определяет как типоморфные особенности, так и качество ювелирного рубина. Для месторождений контактно-метасоматического типа (Мьянма, Шри-Ланка, Таджикистане) характерны рубины среднего и высокого качества, тогда как рубины вулканогенного типа (Таиланд) часто низкокачественные. Самоцветы обоих типов отличаются как друг от друга, так и от синтетических аналогов химическим составом, фотолуминесценцией, особенностями внутреннего строения. Дополнительно были предложены неdestructивные методы диагностики синтетического рубина, полученного методом из раствора в расплаве; рентгенотомографический анализ позволяет определить состав флюса и металлических фаз; с помощью фотолуминесценции идентифицировано зеленое свечение раствор-расплавных рубинов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование рубина месторождений Центральной и Юго-Восточной Азии позволили выяснить ряд важных особенностей его онтогении и качества:

1. Эволюция условий и среды минералообразования на месторождении Снежное обусловила особенности онтогении корунда в трех зарождениях первой генерации и второй генерации. Они выражены в изменении габитусных форм и облика; постепенном и возвратно-поступательном накоплении элементов-примесей хрома, железа, титана, ванадия и галлия на разных уровнях минеральной организации, что обуславливает различия окраски самоцвета.

2. Эволюция минералообразующей среды на месторождении Снежное повлияла на формирование ювелирного рубина среднего и высокого качества в системе $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$: его кристаллизация проходила при инертном алюминии с увеличением содержания кальция и уменьшении количества кремнезема в парагенетической ассоциации с кальцитом II и фукситом;

3. Генезис определяет качество ювелирного рубина; в месторождениях контактно-метасоматического типа (Мьянма, Шри-Ланка, Таджикистане) встречается кристаллосырье среднего и высокого качества, рубины вулканогенного типа (Таиланд) часто низкокачественные; рубины обоих типов отличаются как друг от друга, так и от синтетических аналогов химическим составом, фотолюминесценцией, особенностями внутреннего строения.

4. Предложены неdestructивные методы диагностики синтетического рубина, полученного методом из раствора в расплаве; рентгенотомографический анализ позволяет определить состав флюса и металлических фаз; с помощью фотолюминесценции идентифицировано зеленое свечение раствор-расплавных рубинов;

5. Все исследованные кристаллофизические и кристаллохимические свойства рубина из месторождений Центральной и Юго-Восточной Азии были систематизированы в табличную форму для возможности их прикладного использования при идентификации генетической природы или, в отдельных случаях, самого месторождения рубина и отбраковки синтетического материала.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Сорокина Е.С.** Диагностические особенности рубинов различных месторождений мира // Тезисы конференции Межвузовская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». М.: РГГРУ. 2008. С. 211.
2. **Сорокина Е.С.** Палеотектоническая позиция месторождений корунда и геохимические особенности формирования рубиновой минерализации в щелочных базальтах и мраморах // 6-я Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». М.: УРАН ИПКОН РАН, 2009. С. 67-70.
3. **Сорокина Е.С.,** Каздым А.А., Иоспа А.В. Техногенный рубин в шлаках Cr-V производства // 6-я Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». М.: УРАН ИПКОН РАН, 2009. С. 326-327.
4. **Сорокина Е.С.,** Хомрач М.В., Балицкая О.В. Использование особенностей включений для определения типов месторождений рубина // Международная конференция, посвященная 250-летию Государственного геологического музея имени В.И. Вернадского «Геология: история, теория, практика». М.: ГГМ РАН, 2009. С. 238-239.
5. **Сорокина Е.С.,** Хомрач М.В., Балицкая О.В. Использование особенностей включений для определения типов месторождений рубина // Годичное собрание Российского минералогического общества «Онтогения минералов и ее значение для решения геологических прикладных и научных задач». С-Пб.: 2009. С. 125-127.
6. **Сорокина Е.С.** Палеогеографическая связь месторождений рубина – новый поисковый признак рубиновой минерализации // Вторая научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка твердых полезных ископаемых». М.: ВИМС, 2009. С. 118-120.
7. Каздым А.А., **Сорокина Е.С.,** Иоспа А.В. Техногенный рубин в шлаках Cr-V производства // Десятые всероссийские научные чтения памяти Ильменского минералога В.О. Полякова. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. С. 101-102.
8. **Сорокина Е.С.,** Балицкая О.В. Некоторые особенности минерации месторождений ювелирного корунда // XXI Международная научная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения академика Владимира Ивановича Смирнова «Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых». М.: МГУ, 2010. С. 206-207.
9. **Сорокина Е.С.,** Иоспа А.В., Морощкин В.В. Некоторые особенности онтогении кристаллов корунда Кукуртского месторождения (Восточный Памир) // XI Съезд РМО «Современная минералогия: от теории к практике» и Федоровская сессия 2010. С-Пб.: СПбГГУ, 2010. С. 146-148.
10. **Сорокина Е.С.** Оценка качества рубинового сырья из месторождений различного генезиса // Международное совещание

«Плаксинские чтения – 2010». Казань: УРАН ИПКОН РАН, 2010. С. 116;

11. **Sorokina E.S.**, Ozhogina E.G. Influence of geological formation on the quality of ruby from Myanmar, Sri-Lanka, and Thailand // 20th General Meeting of the International Mineralogical Association IMA 2010. Budapest, Hungary: Department of Mineralogy, Geochemistry and Petrology, University of Szeged, 2010. P. 32.

12. **Sorokina E.S.**, Yakushina O.A., Moroshkin V.V., Rassulov V.A. Using of X-Ray Computer Tomography, X-Ray- and UV-Spectroscopy for identification of flux-synthetic ruby material // The 5th International Symposium of Provenance and Properties of Gems and Geo-Materials «Pro-Gem-Geo-Mat 2010». Hanoi, Vietnam: 2010. P. 84-86.

13. **Sorokina E.S.**, Ozhogina E.G. The crystal ontogeny, some physical properties and genetic features of ruby mineralization, Snejnoe deposit (Eastern Pamir) // The 5th International Symposium of Provenance and Properties of Gems and Geo-Materials «Pro-Gem-Geo-Mat 2010». Hanoi, Vietnam: 2010. P. 171-172.

14. **Сорокина Е.С.**, Каздым А.А., Иоспа А.В., Кривошеков Н.Н., Рассулов В.А. К вопросу о техногенном рубине в шлаках Cr-V производства // Маркшейдерия и недропользование, 2010, № 2. С. 33-35.

15. **Сорокина Е.С.**, Морошкин В.В., Рассулов В.А. Зависимость качества ювелирных корундов от их генетической природы (на примере месторождений Мьянмы, Шри-Ланки и Таиланда) // Разведка и охрана недр, 2011, № 2. С. 42-46.

16. **Сорокина Е.С.** Минералогические особенности рубинов из месторождений различных генетических типов (на примере месторождений Мьянмы, Шри-Ланки и Таиланда) // Третья научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка твердых полезных ископаемых». М.: ВИМС, 2011. С. 101-102.

Подписано в печать 05.09.2011 г.
Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 1,0
Отпечатано на ризографе.
Тираж 100. Заказ № 45

РИС «ВИМС»
119017, г. Москва, Старомонетный пер. дом 31