

На правах рукописи

ОДАРИЧЕНКО Элла Геннадьевна

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
КОРУНДОВ НЕЗАМЕТНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО
ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ
И ПРОБЛЕМА ИХ ГЕНЕЗИСА**

Специальность 25.00.04 – петрология, вулканология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток – 2004

Работа выполнена в Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения РАН

Научный руководитель: член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук А.И. Ханчук

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук Г.А. Юргенсон
доктор геолого-минералогических наук И.И. Куприянова

Ведущая организация: Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии (ОИГГиМ СО РАН) (г.Новосибирск)

Защита состоится **28 мая 2004 г. (пятница)** в 10 часов на заседании диссертационного совета Д.003.002.01 при Геологическом институте СО РАН, по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, в конференц-зале.

Тел. (3012) 43-39-55
Факс (3012) 43-30-24
E-mail: gin@bsc.buryatia.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Геологического института СО РАН. Адрес: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

Автореферат разослан « 27 » апреля 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат геолого-
минералогических наук



О.К. Смирнова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Работа посвящена проблеме генезиса корунда комплексного месторождения Незаметнинское. К настоящему моменту это единственное в России проявление благородного корунда (сапфира) с перспективными прогнозными ресурсами. Геологические исследования предшественников в районе месторождения в основном были посвящены выяснению геолого-структурных, минералогических, геохимических особенностей, характера околорудных изменений и др., а также решению проблемы рудообразования, в частности, происхождения золото-вольфрамовой минерализации. Проблема генезиса корунда считалась второстепенной, и серьезно не рассматривалась. Поэтому к настоящему времени происхождение корундов Незаметнинского, как и многих других известных в районе проявлений, остается одним из серьезных актуальных вопросов. Как правило, в литературе обсуждаются корунды из россыпей, редкие сведения о коренных месторождениях лишены достаточной освещенности геологии, петрографии пород и других важных характеристик, изобилуют неопределенностями в диагностике пород и минералов, последовательности их образования. По этим причинам возникает ряд затруднений в трактовке генезиса корунда многих известных месторождений. Также практически отсутствуют сведения о физико-химических параметрах образования природных корундов. Чаще всего для определения источника минерального вещества используется комплекс геологических, минералогических и геохимических признаков, которые, при безусловной важности для решения проблемы, являются качественными и вероятностными. Именно поэтому в настоящее время для определения источника минерального вещества, кроме перечисленных признаков, привлекаются более точные сведения об условиях кристаллизации минерала, которые могут быть получены только методами термобарогеохимии.

Цель и задачи исследования. Основная цель исследования – определить физико-химические параметры процесса образования корунда различными методами и обосновать его генезис, а также выявить

геологические и петрологические особенности формирования пород месторождения Незаметнинское.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- минералогические и термобарогеохимические исследования корундов месторождения,
- петрографическое и петрохимическое изучение пород района,
- уточнение геологической истории развития Незаметнинского месторождения.

Фактический материал и методы исследования. Основой диссертации послужили материалы, собранные автором и сотрудниками геммологической лаборатории ДВГИ ДВО РАН в процессе целенаправленных полевых исследований на площади Незаметнинского рудного поля в период 2000 - 2003 г.г. В ходе полевых работ отобраны для дальнейшего изучения >500 образцов пород и >500 кристаллов корунда. В работе использовались как ставшие уже традиционными для геологической науки методы – петрографический, химический, спектральный, рентгенофлуоресцентный, так и более точный термобарогеохимический – главным образом, волюмо-, крио- и термометрия в комплексе с современными методами локального исследования микрообъектов. Для установления природы окраски различных цветовых групп корунда Незаметнинского месторождения применялся метод спектроскопии. В ходе работы просмотрено >500 шлифов пород, около 150 пластин корунда. В крио- и термометрических опытах изучено около 60 флюидных включений. Для локального рентгеновского анализа подготовлено более 50 сингенетичных минеральных включений.

Научная новизна. Впервые систематически изучен обширный геологический материал, собранный автором в районе Незаметнинского месторождения. Получены новые данные, позволившие уточнить некоторые детали геологического строения месторождения. На основе привлечения и освоения различных методов исследований, в том числе и нетрадиционных, изучены минеральные и флюидные включения в корундах россыпи. Исследованиями минеральных включений в корунде выявлен его парагенезис: колумбит, альбит, циркон, цинксодержащий герцинит, рутил, монацит и

флюорит. Установленная совокупность сингенетичных корунду минералов, присутствие акцессорного корунда в грейзенизированных высокоглиноземистых гранит-порфирах и граносиенитах Незаметнинского месторождения, а также состав закаленных стекол первичных расплавных включений свидетельствуют о том, что наиболее вероятным коренным источником корунда в Незаметнинской россыпи являются высокоглиноземистые гранитоиды (граносиениты?) Маревского интрузивного комплекса и связанные с ними корундсодержащие метасоматиты. На основании данных, полученных в результате изучения первичных включений в корундах, определены параметры начала природного процесса: кристаллы корундов возникли из флюидонасыщенного граносиенитового расплава низкой вязкости, обогащенного углекислотой, фосфором и хлором, при дефиците воды во флюидной фазе, в интервале температур 780 - 820 °С и давлений 1.7 – 3 кбар.

Практическая значимость. Научные результаты, изложенные в работе, рекомендуются к применению при изучении подобных корундсодержащих объектов для решения спорных вопросов, касающихся генезиса корунда и его места в эволюционном ряду образования пород на конкретных месторождениях. Методические подходы, предложенные автором, могут быть использованы для выяснения роли гранитоидов и связанных с ними метасоматитов в формировании корундовой минерализации. Определение типоморфных особенностей корундового сырья, которые определяются генетическим типом самоцветов, их минералого-геохимическими и геммологическими характеристиками, может быть использовано для выбора и достоверной основы прогноза и поисков подобных месторождений корунда, а также для разработки методик облагораживания некондиционного сырья с целью увеличения запасов месторождений.

Основные защищаемые положения.

1. Совокупность сингенетичных минеральных включений в корунде из Незаметнинской россыпи, представленных рутилом, альбитом, цинксодержащим герцинитом, колумбитом, монацитом, цирконом и флюоритом существенно отличается от ассоциации акцессорных минералов щелочных

базальтов. В гораздо большей степени она соответствует набору аксессуаров, характерных для гранитоидов Маревского интрузивного комплекса.

2. Согласно результатам изучения первичных включений минералообразующей среды в кристаллах корунда Незаметнинской россыпи, они возникли из флюидонасыщенного граносиенитового расплава, обогащенного углекислотой, фосфором и хлором при дефиците воды во флюидной фазе, в интервале температур 780 - 820°C и давлений 1.7 – 3 кбар.

3. Наиболее вероятным поставщиком корунда в Незаметнинскую россыпь являются высокоглиноземистые гранитоиды (граносиениты?) Маревского интрузивного комплекса и связанные с ними корундсодержащие метасоматиты.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликовано 13 работ (11 статей и 2 тезисов). Основные положения работы докладывались и обсуждались на IX-ой Международной конференции по термобарогеохимии (Александров, 2001); XI-ой сессии Северо-Восточного отделения ВМО "Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий" (Магадан, 2001); V-ой Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (МГГА, 2001); III-ем Международном минералогическом семинаре «Новые идеи и концепции в минералогии» (Сыктывкар, 2002); Научной сессии «Новые данные по геологии Востока Азии и Западной Пацифики» (по результатам НИР ДВГИ ДВО РАН 1997-2001 г.); Научной сессии (по результатам НИР ДВГИ ДВО РАН 2002 г.); VI-ой Международной конференции «Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение» (Александров, 2003) и на Годичном собрании Минералогического общества при РАН «Минералогия, геммология, искусство» (Санкт-Петербург, 2003).

Получен Диплом Президиума и Совета Минералогического общества "За лучший доклад молодого учёного" (соавторы В.Б. Тишкина, М.И. Лапина) - "Минеральный парагенезис корунда - ключ к решению проблемы его происхождения".

Объем и структура работы. Диссертация состоит из 4 глав, Введения и Заключения, имеет общий объем 168 страниц, 19 иллюстраций, 55 фотографии, 14 таблиц. В списке литературы 147 источников.

Благодарности. На всех этапах выполнения работы, начиная с 2000 года, автор ощущал внимание и поддержку со стороны научного руководителя, члена-корреспондента РАН А.И. Ханчука, заведующего геммологической лабораторией Б.Л. Залищака, а также своего учителя по освоению основных приемов и методов термобарогеохимии к.г.-м.н. В.А. Пахомовой, советы и критические замечания которых способствовали более строгому анализу полученных результатов. Исследование первичных расплавных и сопутствующих им углекислотных включений в корундах стало возможным благодаря содействию и непосредственному участию д.г.-м.н. Ф.Г. Рейфа (ГИН СО РАН) и д.г.-м.н. В.Ю. Прокофьева (ИГЕМ РАН). Анализы закаленных стекол микровключений и минеральных включений выполнялись М.И. Лапиной в лаборатории кристаллохимии минералов им. Белова (ИГЕМ РАН) и к.г.-м.н. Н.С.Кармановым в лаборатории физических методов анализа (ГИН СО РАН). Неоценимую помощь в исследовании особенностей состава акцессорных минералов гранитоидов оказал заведующий лабораторией кристаллохимии минералов им. Белова (ИГЕМ РАН) к.г.-м.н. А.В. Мохов. Спектры оптического поглощения регистрировались М.В. Краснобаевой (МГГУ). До конца своей жизни активное участие в диагностике минеральных включений посредством микрозондового анализа принимал к.г.-м.н. В.И. Сапин. Аналитические работы (химические, спектральные, рентгенофлуоресцентные анализы) в лабораториях ДВГИ ДВО РАН выполняли Г.И. Макарова, Л.И. Азарова, Т.К. Бабова, В.И. Сеченская, Т.А. Лотина и И.В. Боровик. Огромную помощь в оформлении работы оказали коллега по лаборатории - В.Б. Тишкина, а также заведующая лабораторией компьютерных технологий ДВГИ ДВО РАН к.г.-м.н. В.В. Наумова с сотрудниками этой лаборатории С.В. Михайловой и Л.Ю. Смирновой. Автор считает приятным долгом выразить всем вышеназванным коллегам искреннюю благодарность и признательность.

ГЛАВА 1. ГЕНЕЗИС КОРУНДА (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

В главе приведен анализ современных представлений о происхождении корунда, который относится к полигенным минералам и может

кристаллизоваться как непосредственно из магматического расплава, так и в результате процессов метаморфизма и метасоматоза. Обсуждаются гипотезы происхождения корундовых плагиоклазитов и их оторочек: 1) десиликация пегматитовой магмы, вызванная реакционным взаимодействием между гранит-пегматитовым расплавом и гипербазитом [Дю-Тойт, 1919; Гордон, 1921; Холл, 1922; Ферсман, 1925], 2) корундовые плагиоклазиты и их оторочки — гидротермальные образования, генетически связанные с активными растворами гипербазитов [Ларсен, 1928; Лодочников, 1936], 3) как результат реакционного взаимодействия гипербазита и богатой кремнеземом породы при участии гидротермальных растворов [Phillips, Hess, 1936], 4) биметасоматическим путем вследствие воздействия постмагматических растворов гранитных интрузий [Коржинский, 1953]. На примере известных мировых месторождений рассмотрены генетические типы месторождений корунда: магматические - сапфирсодержащие щелочные лампрофиры (месторождение Його-Галч в шт. Монтана, США); пегматитовые - месторождение корунда в десилицированных нефелиновых сиенит-пегматитах Кольского полуострова (Хибинский массив); метасоматические - месторождения рубина в магнезиальных скарнах, связанных с гранитами (Могок в Мьянме), в алюмосиликатных эндоскарнах (Бакамуна на о. Шри-Ланка), проявление рубина в плагиоклазитах и слюдитах (Макар-Рузь на Полярном Урале); метаморфические - проявления рубина, расположенные в докембрийских кианит-силлиманитовых плагиогнейсах (Хит-остров, Варацкое, Дядина гора в Карелии).

На основании анализа литературных материалов освещается круг проблем, связанных с решением вопроса о происхождении корунда. К ним относятся петрологические проблемы генезиса корундовых плагиоклазитов, десилицированных пегматитов и некоторых других подобных образований в гипербазитах, а также генезиса мегакристаллов высокого давления в кимберлитах и щелочных базальтоидах, в связи с появлением среди них таких минералов как корунд и циркон. Относительно генезиса мегакристаллов высокого давления высказывается ряд гипотез. К наиболее разработанным относятся следующие: интрателлурическая (мегакристаллы — продукты

близиквидусной кристаллизации базальтовой магмы); ксенокристовая (мегакристаллы – продукты кристаллизации процессов, происходивших до излияния базальтоидов и представляющие собой случайные фрагменты коры, захваченные поднимающейся к дневной поверхности базальтовой магмой); парагенетическая (мегакристаллы – продукты процессов, происходящих при магмообразовании с решающим вкладом мантийного метасоматоза и реакционного взаимодействия магмы с остаточным субстратом); мономинерального замещения (мегакристаллы – мономинеральные продукты замещения чуждых магме коровых глиноземистых ксенолитов).

К эндогенным месторождениям корунда относят магматические (щелочные основные лампрофиры и оливиновые и фельдшпатоидные щелочные базальты), пегматитовые, метасоматические (магнезиальные скарны, алюмосиликатные эндоскарны, плагиоклазиты и слюдиты) и метаморфогенные. Для корунда из щелочных основных лампрофиров предполагается его кристаллизация из богатых алюминием магм на глубоких (мантийных) уровнях [Bronslow & Komorowski, 1988]. В литературе широко обсуждается проблема генезиса корунда и циркона в щелочных базальтоидах. Считается, что в процессе выветривания и эрозии лавовых потоков и вулканокластитов базальтов, а также их неков и диатрем образуются аллювиальные экономически рентабельные месторождений сапфиров в Восточной Австралии, Восточном Китае, Юго-восточной Азии (Таиланд, Вьетнам и Камбоджа) и Северной Африке (Кения и Нигерия). Отмечено, что все немногочисленные находки мегакристаллов корунда *in situ* известны только в базальтоидах, прорывающих континентальную кору, и приурочены к районам обширного воздымания континентов. Предполагается, что эти минералы являются продуктами процессов, происходивших до излияния базальтоидов, т.е. по существу они являются ксенокристаллами. Guo [Guo, 1996], G.M. Oakes [Oakes, 1996], F.L. Sutherland [Sutherland, 2001; 2002], и др. рассматривают щелочные базальты в качестве «конвейера», доставлявшего корунды и некоторые другие мегакристаллы к дневной поверхности из гипотетических уровней в земной коре. В десилицированных сиенитовых и миаскиитовых пегматитах образование сапфира связано с воздействием

«пневматолитов» (флюидов) щелочной магмы на глиноземистые разности роговиков кровли массива нефелиновых сиенитов [Буканов, Липовский, 1980]. В магнезиальных скарнах кристаллизация рубина обусловлена воздействием на доломитизированные мраморы высокотемпературных «пневматолито-гидротермальных» растворов, связанных с внедрением кислой магмы [Киевленко и др., 1982]. Предполагается, что алюмосиликатные эндоскарны с корундом образуются благодаря внедрению пегматитовых расплавов в доломитизированные мраморы [Silva, Siriwardena, 1988]. В плагиоклазитах и слюдитах формирование корунда связано с замещением анортита более кислым олигоклазом при метасоматической деанортизации жил лейкократовых габброидов и анортозитов [Щербакова, 1976]. В метаморфогенных комплексах (высокоглиноземистые гнейсы и амфиболиты) появление корунда обусловлено прогрессивным метаморфизмом высокоглиноземистых осадочных пород [Буканов, Липовский, 1980].

Анализ геологических обстановок месторождений корунда различных генетических типов выявляет ряд общих черт: приуроченность этих месторождений к приподнятым блокам континентов, где развиты породы, прошедшие длительную эволюцию (осадочные, метаморфизованные), прорванные, главным образом, интрузиями гранитоидов и сиенитов (образование корунда происходит в их контактовых зонах), а также щелочными базальтоидами, генезис корунда в которых дискусионен.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Среди полезных ископаемых камнесамоцветы занимают особое место как незаменимое сырье для производства ювелирных и художественных изделий, кроме того, они являются объектом международной торговли и источником валютных поступлений. К настоящему моменту комплексное циркон-сапфир-золотоносное (с вольфрамом) Незаметнинское месторождение считается наиболее перспективным в России и обладает ресурсами корундов, по разным оценкам, от 976 до 1795 кг (в пересчете к условно приведенным запасам категории С₂) и могло бы значительно (в 215 – 400 раз) увеличить

балансовые запасы России по сапфировому сырью [Ляшенко, 2004; Турашева, 2004].

В работе использовались как ставшие уже традиционными для геологической науки методы – петрографический, химический, спектральный, рентгенофлуоресцентный, так и более точный термобарогеохимический – главным образом волюмо-, термо- и криометрия в комплексе с современными методами локального исследования микрообъектов. Для установления природы окраски различных цветовых групп Незаметнинских корундов применялся метод спектроскопии.

Особое внимание уделено принципам повышения надежности результатов определения физико-химических параметров минералообразования и критериям выбора включений для термометрических опытов. Отбору для термобарогеохимического исследования образцов корунда предшествовало их визуально-оптическое наблюдение под биноклем (500 образцов). В дальнейшем отобранные кристаллы помещались в полистирол и полировались сначала на алмазных кругах с различной крупностью зерен, а по мере приближения включений к поверхности на 15-, 10-, 3- и 1-микронной алмазной пасте, что обеспечивало полировку высокого качества, как самих корундов, так и значительно более мягких включений. Кроме того, из образцов корунда были изготовлены плоскопараллельные, отшлифованные с обеих сторон пластинки различной толщины (1-5 мм) с последующим просмотром под микроскопом при 100-1000-кратном увеличении, анализом объемного распределения включений и их привязки к определенным кристаллографическим направлениям и зонам роста. Все это позволило синхронизировать включения и проследить тренд изменения их состава в процессе роста корунда. Такой метод изучения включений помог получить уникальную информацию об условиях и среде кристаллизации корунда.

Основная цель исследования включений в минералах заключается в восстановлении физико-химических условий в момент захвата и консервации включения. По времени и способу образования флюидные включения подразделяют на первичные и вторичные. С тем, чтобы правильно установить

различные типы включений, определить взаимоотношения расплавных включений с газовой-жидкими и твердофазными, а также выявить закономерности их распределения в зернах минералов предварительно изучают содержащие их породы в шлифах и пластинах. При выборе включений для исследований важны следующие критерии: 1) представительность включения; 2) отсутствие в нем постзахватных изменений; 3) расположение в зерне; 4) определение системы, из которой происходило образование включений: гомогенной или гетерогенной. В современной термобарогеохимии для выявления Р-Т-условий широко используются в едином комплексе следующие методы: гомогенизации, динамической фазометрии, декрепитации, криометрии, барометрии др. Для анализа составов включений применяются различные инструментальные (приборные) методы: микрорентгеноспектральный электронно-зондовый анализ, ионная и газовая хроматография, масс-спектрометрия, рамановская, инфракрасная и другие виды спектроскопии, а также протон-индуцированная рентгеновская эмиссия (PIXE), масс-спектрометрия с лазерной абляцией (LA-ICPMS) и др.

Метод гомогенизации включений – основной и наиболее точный на сегодня метод определения температур образования минералов, основанный на измерении температур гомогенизации содержимого включений. Термометрические исследования включений в корундах проводились с наиболее типичными расплавными включениями (РВ) размером не более 15 микрон, представительность которых гарантировалась предварительным изучением фазового состава (содержание газовой фазы не более 15-20%): 1) в муфельной термокамере (ДВГИ ДВО РАН), сконструированной в лаборатории И.Д. Рябчикова (ИГЕМ РАН), методом закалки; 2) в термокамере с силитовым нагревателем в комплекте с платина – платинородиевой термопарой и милливольтметром М-254, под руководством д.г.-м.н. Ф.Г Рейфа в лаборатории петро- и рудогенеза (ГИН СО РАН); 3) на термодатчике THSG 600 фирмы Linkam, оснащенной высокотемпературной камерой THSG 1500 той же фирмы, в лаборатории петрологии ИГЕМ РАН (зав. В.И Коваленко), при непосредственном участии д.г.-м.н. В.Ю. Прокофьева.

ГЛАВА 3. ГЕОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ РАЙОНА НЕЗАМЕТНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В числе исследователей Незаметнинского золото-вольфрамового месторождения, открытого в начале тридцатых годов прошлого столетия З.А. Конюховым, И.А. Пугачев и М.Т. Чудинов (1946-1948 г.г.), А.И. Животовская (1953 г.), Л.К. Пономаренко, (1959 г.), В.А. Никогосян (1970 г.), А.Ф. Жигула, (1989 г.), О.П. Макаров, В.И. Дахин (1991 г.) и др. Однако их работы в основном были посвящены выяснению геолого-структурных, минералогических, геохимических особенностей месторождения, характера околорудных изменений, параметров распределения элементов-примесей в рудных минералах и других геолого-генетических признаков, а также решению вопроса о происхождении золото-вольфрамовой минерализации. Проблема генезиса корунда считалась, в лучшем случае, второстепенной, и серьезно не рассматривалась. На сегодняшний день большинство из разведанных золотоносных россыпей отработано, а коренное Au-W месторождение Незаметнинское не отрабатывается ввиду низких содержаний. Целенаправленные работы на камнесамоцветы на площади месторождения и его окрестностей начали проводить с конца 1980-х годов, после сообщения геолога прииска «Приморский» И.Ф. Федчина о находках в золотоносных песках аллювия р. Кедровка сапфиров и гиацинтов [Геологическая служба Приморского края, 2000]. Это сообщение послужило основой для проведения поисковых работ на камнесамоцветное сырье «Камнесамоцветным отрядом» под руководством А.Ф. Жигулы. В результате было установлено, что драгоценные камни концентрируются вместе с золотом в приплотиковой части аллювиальных отложений и повторяют струйчатые россыпи золота, а также сделан вывод о том, что коренным источником сапфиров и гиацинтов являются кайнозойские щелочные оливиновые базальты [Жигула, 1989г.].

Незаметнинское коренное и россыпное месторождение золота с благородными корундом и цирконом административно расположены в Красноармейском районе Приморского края, а с геологической позиции - в пределах Самаркинской аккреционной призмы Сихотэ-Алиня (рис. 1),

сложенной средне-позднеюрскими турбидитами с аллохтонными глыбами известняков верхней перми и пластин кремней и кремнисто-глинистых пород триаса [Ханчук и др., 1995].

В районе стратифицированные образования преобладают. Они представлены терригенными, кремнисто-терригенными, вулканогенно-осадочными и вулканогенными комплексами пород, позднепалеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. Выделено три комплекса пород: *аллохтонный* — хворостянкинская (P_2hv) и кремнистая толщи (Тк), *автохтонный* — олистостромовая толща (J_2-3o) и ариадненская свита (J_3ar) и *азональные образования* — конгломератовая (N_1k) и острогорская толщи (N_1og), четвертичные породы (Q) [Кандауров, 1994 г.]. Все породы, за исключением четвертичных отложений, смяты в сложные складки и разбиты многочисленными разрывными нарушениями преимущественно северо-восточного простирания. Кайнозойские отложения слагают долины р. Кедровка и ее левых притоков представлены слабо диагенезированными гравелитами, конгломератами и аргиллитоподобными глинами.

В районе магматические породы представлены породами трех комплексов: позднеюрского, раннемелового (Маревского интрузивного) и позднемиоценового (Острогорского вулканического). Породы позднеюрского интрузивного комплекса представлены дайками габбро, габбродиоритов, диоритов, спессартитов и вогезитов мощностью от 1-2 м до 20-30 м. Широким распространением в районе пользуются небольшие интрузии и дайки гранитоидов Маревского интрузивного комплекса. Интрузии сложены средне- и мелкозернистыми гранитами, гранит-порфирами, аплитами и граносиенитами; дайки - гранит-порфирами, аплитами и гранодиоритами. Дайки образуют пояс протяженностью порядка 10 км и представляют собой крутопадающие тела мощностью от 5 до 300 м и протяженностью от 30-40 до 500 м. Один из наиболее крупных выходов предполагаемой на глубине гранитной интрузии площадью 15 км^2 обнажается в виде штока гранит-порфиров в верховьях кл. Незаметного [Макаров и др., 1991г.]. В плане он имеет эллипсовидную форму, осложненную небольшими выступами и

дайкообразными апофизами, его размер составляет 400×200 м. Нашими исследованиями установлено, что гранит-порфиры сложены кварцем, калиевым полевым шпатом, плагиоклазом, биотитом и мусковитом, акцессорные минералы - гранат, циркон, монацит, ортит, корунд и рудные. Для гранит-порфиров характерна грейзенизация, проявленная в новообразованиях серицита, мусковита, кварца, пирита, шеелита, вольфрамита, колумбита и корунда. Среди гранит-порфиров штока нами впервые установлены высокоглиноземистые разности — альмандин-мусковитовая и альмандин-биотит-мусковитовая ($\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 11.70\text{—}15.50$ мас.%). Гранат по составу отвечает альмандин-спессартину и представлен хорошо ограненными кристаллами, иногда ситовидного облика размером до 3 мм, распределенными неравномерно в кварц-полевошпатовой основной массе. Корунд образует зерна неправильной, иногда скипетровидной формы размером 0,3 × 0,16 мм и микроагрегаты 0,5—1,0 мм. В шлифах он приурочен к участкам, сложенным полевым шпатом, мусковитом и серицитом, а также неравномерно развит среди полевошпатовой основной массы. Граносиениты сложены ортоклазом, альбитом и примесью кварца (не более 10%) и акцессорными цирконом и корундом.

По своим петрохимическим параметрам Незаметнинские гранитоиды принадлежат к нормальным лейкогранитам калиево-натриевым крайне и весьма высокоглиноземистым, среди которых встречены граносиениты калиево-натриевые крайне высокоглиноземистые. Гранитоиды характеризуются постоянством химического состава, пересыщенностью кремнеземом, преобладанием содержания калия над натрием. Согласно геохимической классификации Л.В. Таусона [Таусон, 1977] они принадлежат к гранитоидам плюмазитового редкометального ряда с величиной коэффициента агапитности близкой к 0,8. По классификации Б. Чаппела и А. Уайта [Chappell & White, 1974; 1992] они относятся к S-типу и характеризуются высоким индексом насыщенности алюминием (ASI - от 1,05 до 1,60), отражающим их перглиноземистый состав.

На начальном этапе наших исследований в качестве рабочей принималась гипотеза, постулирующая образование корунда и циркона

(обнаруженных в Незаметнинской россыпи) в неогеновых щелочных базальтоидах Острогорского вулканического комплекса, именно поэтому им уделялось особое внимание, несмотря на их крайне ограниченное распространение в районе месторождения. Базальтоиды слагают корневые части единичных, мелких вулканических построек, их потоки и редкие дайки. Жерловые и покровные образования представлены оливиновыми и оливин-анальцимовыми базальтами, иногда с включениями лерцолитов, оливиновыми и миндалекаменными трахибазальтами, оливиновыми нефелинитами и долеритами. Дайки сложены долеритами. Среди вкрапленников в щелочных базальтоидах присутствуют оливин, клино- и ортопироксен, основной плагиоклаз, плеонаст, иногда ортоклаз и нефелин, акцессорные минералы - апатит, магнетит, титаномagnetит и ильменит. Следует обратить внимание, что в полевых условиях при визуальном наблюдении образцов щелочных базальтов среди вкрапленников мы часто фиксировали «кроваво-красный циркон (гиацинт)», но при просмотре шлифов оказалось, что это – оливин в иддингситовой оторочке. Очень важно отметить, что корунд и циркон не обнаружены нами ни только в многочисленных (более 200) шлифах базальтоидов, но и в их протопочках.

Метасоматическим изменениям в той или иной степени подвергнуты все породы месторождения за исключением неогеновых базальтоидов. Толщи ороговикованных пород, в пределах которых расположена большая часть метасоматитов (рис. 2), образуют на площади месторождения купольную структуру (около 4 км в поперечнике). Особый интерес представляют биотит-кордиеритовые и биотит-андалузит-кордиеритовые роговики, образовавшиеся по глинистым породам. Минералогический состав этих роговиков следующий: биотит – 50-60%, кордиерит – 25-30%, андалузит – 3-10%, кварц – 10-15% [Никогосян, 1970 г.]. На контакте с интрузивными массивами, штоками и дайками гранитоидов широко проявлены яшмо-кварциты и кварциты.

Следует заметить, что неоднократный метаморфизм, вызванный периодическим возобновлением тектонической активности, сильно затруднил изучение последовательности образования различных типов гидротермально-

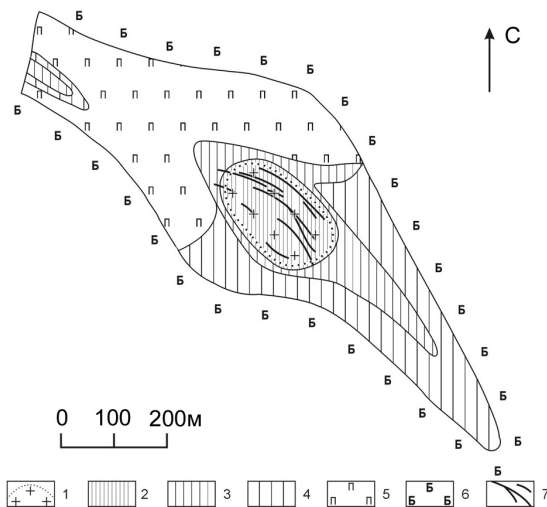


Рис. 2. Схема метасоматической зональности Незаметнинского месторождения (по материалам О.П.Макарова, В.И.Дахина, Н.А.Кукушкина и др., 1991 г.).

1 — контур штока гранит-порфиров; 2 — грейзены (кварц-серицит-мусковитовые и кварц-мусковитовые породы); 3 — осветленные породы (кварц-серицитовые и кварц-серицит-альбитовые); 4 — осветленные породы (кварц-альбитовые); 5 — пропилиты (кварц-альбит-эпидот-актинолитовые породы); 6 — биотитовые роговики; 7 — кварцево-рудные жилы

метасоматических преобразований. Эта последовательность представляется в следующем виде:

1 этап — внедрение штока и даек гранит-порфиров, в том числе альмандин-биотитовых гранит-порфиров, по ослабленным тектоническим зонам северо-западного ($310-340^{\circ}$) и северо-восточного ($30-60^{\circ}$) простирания вызвало интенсивный контактовый метаморфизм вмещающих осадочных отложений (автометасоматоз).

2 этап — в результате возобновления тектонической деятельности образуются трещины, в основном, северо-западного ($310-340^{\circ}$) простирания, по которым внедрились дайки гранодиоритов и, вероятно, граносиенитов, гранодиоритов. Изменения в этой стадии характеризуются широким развитием калишпатизации, натрового метасоматоза (альбитизации) и поздней микроклинизации, предшествующих раннему кислотному метасоматозу.

В раннюю стадию кислотного метасоматоза изменения гранит-порфиров штока и дайкового комплекса выражаются в окварцевании основной массы с образованием мелкозернистого агрегата кварца, в котором присутствуют серицит, мусковит и идиоморфные кристаллы флюорита. Затем интенсивность процессов кислотного метасоматоза усиливается, что проявляется в образовании большого количества рудных жил и разномасштабных прожилков, содержащих рудные минералы.

На Незаметнинском месторождении и его флангах процесс грейзенизации захватывает все гранитоиды. Грейзены представлены кварц-мусковитовыми и кварц-серицит-мусковитовыми фациями, развитыми по гранит-порфирам штока, дайкам гранодиорит-порфиров и вмещающим шток кремнисто-глинистым сланцам. Из аксессуарных минералов в грейзенах постоянно присутствуют апатит, рутил, циркон, вольфрамит, шеелит, флюорит, реже монацит, колумбит и корунд. Мощность зоны грейзенизации в экзоконтакте штока составляет от 1 до 10 м. Кварц-серицитовые, кварц-серицит-альбитовые, кварц-альбитовые метасоматиты обрамляют зону грейзенизации. Кварц-альбит-эпидот-актинолитовые пропилиты развиты в северо-западной части Незаметнинского штока и пространственно тяготеют к его внешней зоне.

Сводная вертикальная колонка типов метасоматитов Незаметнинского месторождения выглядит следующим образом (снизу-вверх): кварц-мусковитовые – кварц-серицит-мусковитовые – кварц-серицитовые – кварц-серицит-альбитовые – кварц-альбитовые – кварц-альбит-эпидот-актинолитовые [Макаров и др., 1991 г.].

ГЛАВА 4. КОРУНДЫ НЕЗАМЕТНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Корунды представлены в разной степени окатанными кристаллами и их обломками размером до 20 мм. Кристаллы имеют веретенообразный, боченковидный, пластинчатый и таблитчатый облик. Часто деформированы и корродированы. Характерна хорошо выраженная отдельность по пинакoidу, реже - ромбоэдру. Излом неровный, иногда в связи с отдельностью - ступенчатый. Поверхности плоскостей отдельности гладкие, блестящие, с

часто наблюдаемой тонкой штриховкой под углом $60/120^0$ в двух, гораздо реже трех направлениях. Цвет фиолетовато-синий, серовато-синий, синий, голубой, зеленовато-синий, сине-зеленый, зеленый, желтовато-зеленый, серовато-зеленый, пурпурный, коричневый, зеленовато-коричневый, жемчужно-серый. Окраска часто зональная, пятнистая. Тон от очень светлого до темного. У некоторых камней наблюдается сильный плеохроизм. Встречены прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные корунды. Иногда у синих камней на поверхностях отдельности, параллельных пинакоиду, видны шестилучевые звезды (под углом 60^0) коричневатого цвета, совпадающие с элементами симметрии. В разрезах, параллельных пинакоиду, наблюдается ростовая зональность - чередование разноокрашенных полос с резкими границами, повторяющими кристаллические грани. Для коричневых, зеленовато-коричневых и жемчужно-серых корундов характерна «шелковистость», вызванная включениями игл рутила, встречаются камни с эффектом астеризма. Иногда включения видны невооруженным глазом.

Анализ характера полученных спектров поглощения для разноокрашенных корундов месторождения Незаметнинское позволил подразделить их на четыре группы. Окраска желтых корундов обусловлена вхождением ионов Fe^{3+} , замещающим ионы Al^{3+} в октаэдрических позициях, а также, вероятно, присутствием обменно-связанных пар ионов Fe^{3+} . Окраска корундов с цветовой гаммой от желто-зеленой, зеленой, зеленовато-голубой до синей (большая часть образцов) обусловлена как вхождением ионов Fe^{3+} , так и присутствием обменно-связанных пар ионов $Fe^{2+} \leftrightarrow Ti^{4+}$ и $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{2+}$. Окраска синих с фиолетовым оттенком сапфиров, вероятно, обусловлена присутствием в них обменно-связанных пар ионов $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+}$. Окраска пурпурных корундов вызвана одновременным вхождением ионов Cr^{3+} и Fe^{3+} , изоморфно замещающих ионы Al^{3+} в октаэдрических позициях.

Наиболее достоверным источником информации для решения проблемы генезиса любого минерала, в данном случае корунда из Незаметнинской россыпи, служат сингенетичные включения, которые сохраняются в кристаллах корунда длительное время вследствие его высокой устойчивости и, таким образом, являются надежными реперами химизма среды и *PT*-условий роста

монокристаллов корунда в природе. Визуально-оптическое исследование фазового наполнения включений в корундах позволило выделить среди них три группы: минеральные, расплавные и газовой-жидкие. В связи с тем, что результаты наших генетических построений основаны на информации, полученной по сингенетическим минеральным и первичным расплавным включениям, то им и уделялось основное внимание.

Сингенетические минеральные включения в кристаллах корунда представлены рутилом, цирконом, альбитом, цинксодеждающим герцинитом, колумбитом, флюоритом и монацитом. Сингенетичность этих включений подтверждается присутствием индукционных поверхностей, угнетенностью форм минеральных индивидов, эпитаксиальным характером срастания с корундом-хозяином, а также особенностями расположения в кристаллах.

В коричневых, синих, голубых, сине-зеленых прозрачных и просвечивающих корундах встречаются тонкие коричневые и красновато-коричневые иголки рутила различной длины, скрещивающиеся в трех различных направлениях под углами $60/120^{\circ}$. Они диагностированы под поляризационным микроскопом и характеризуются высоким показателем преломления ($>2,5$; у корунда $\sim 1,76$) и очень высоким двупреломлением. В синих, голубых, сине-зеленых прозрачных и просвечивающих корундах обнаружены: 1) призматические или округлые бесцветные кристаллы циркона размером 20-100 мкм; 2) неправильные редко идиоморфные прозрачные кристаллы альбита размером до 70 мкм; 3) октаэдрические и ромбо-додекаэдрические кристаллы черного и зеленоватого (в тонких сколах) цинксодеждающего герцинита размером 40-300 мкм; 4) таблитчатые коричневые и черные кристаллы колумбита размером от 70 до 800 мкм; 5) неправильной формы кристаллические агрегаты флюорита размером от 5 до 60 мкм; 6) выделение монацита неправильной формы размером около 2 мкм (качественный анализ), зафиксированное в цирконе, являющимся включением в синем просвечивающем корунде (фото 1).

Необходимо особо подчеркнуть, что среди сингенетических включений, обнаруженных в корунде, минералы базальтового парагенезиса (оливин, клино- и ортопироксен, основной плагиоклаз, плеонаст, а также свойственные им акцессорные минералы - апатит, магнетит, титаномагнетит и ильменит) не

обнаружены. В то же время, установленный парагенезис корунда, сопоставим с набором акцессорных минералов маревских гранитоидов (гранат, циркон, монацит, ортит, корунд и рудные) и связанных с ними метасоматитов (апатит, рутил, циркон, вольфрамит, шеелит, флюорит, монацит, колумбит и корунд).

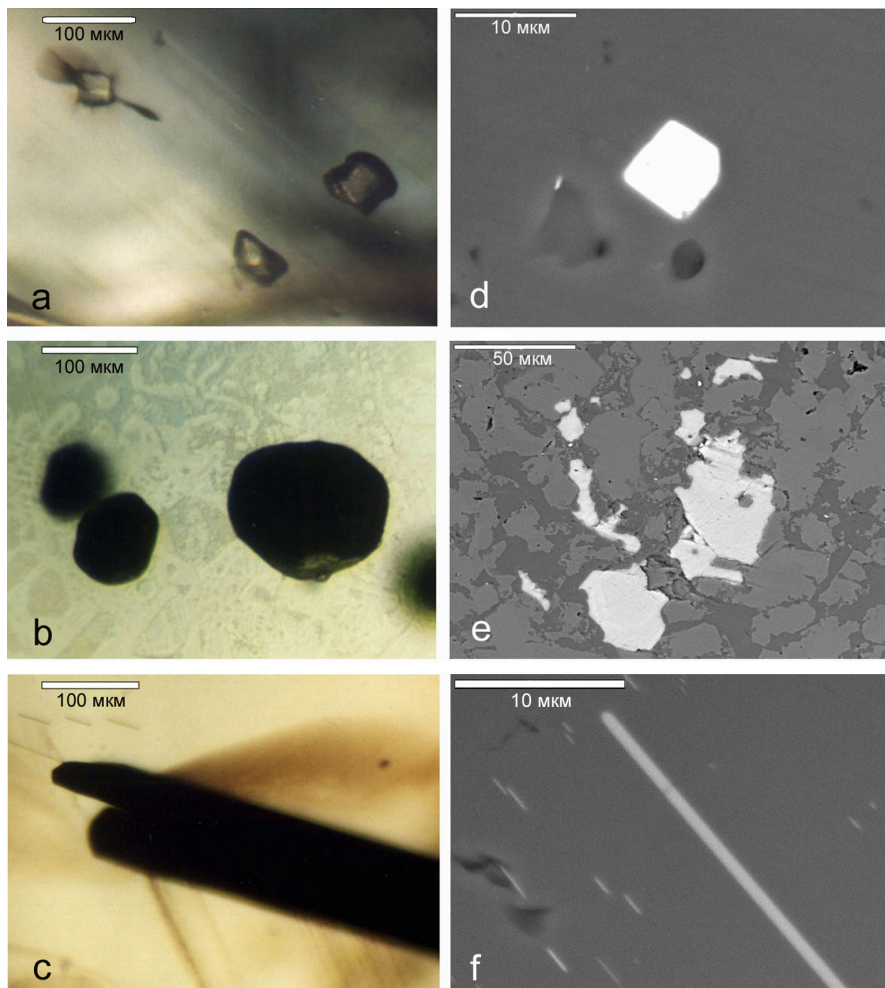


Фото 1. Сингенетические минеральные включения в корунде (a, b, c — в проходящем свете; d, e, f — в отраженных электронах): a — альбит, b — цинксодержающий герцинит, c — колумбит; d — циркон, e — флюорит, f — рутил

Первичные расплавные включения в незаметнинских корундах встречаются крайне редко. После визуально-оптического исследования в полированных пластинах преобладающей части отобранных образцов (около 150) надежно первичные расплавные включения были установлены только в семи. При этом выяснилось, что первичные включения в корундах представлены двумя типами: включениями силикатного расплава и существенно углекислотными. Первичные расплавные включения образуют одиночные вакуоли или их группы, располагающиеся в центральных участках зональных кристаллов. Чаще всего включения этого типа имеют овальную, иногда уплощенную, редко изометричную форму. Они состоят из прозрачного стекла и гетерофазного пузырька и довольно часто содержат одну или несколько минеральных фаз. Среди минеральных фаз, присутствующих в первичных расплавных включениях, надежно диагностирован биотит. Размер включений этого типа варьирует от 1–2 мкм до 500 мкм, преобладают включения размером 10–30 мкм.

Первичные существенно углекислотные включения (фото 2), образующие самостоятельные азональные группы, непротяженные слепые шлейфы или сопутствующие расплавным включениям также распространены в центральных участках зональных кристаллов. Установление двух типов первичных включений имеет принципиальное значение, т.к. является свидетельством кристаллизации корундов из расплава, находящегося в гетерогенном состоянии.

Температура плавления твердой CO_2 в флюидных включениях (-59.0°C) ниже, чем в тройной точке чистой CO_2 (-56.6°C). Это предполагает присутствие примеси CH_4 или N_2 . Однако пренебрегая влиянием возможных примесей, можно в первом приближении определить плотность содержимого ФВ по температуре гомогенизации жидкой и газообразной углекислоты (31.2°C в жидкую фазу). В итоге получаем $d = 0.46 \text{ г/см}^3$. При 1080°C ($T_{\text{гом}}$ сингенетичного РВ) углекислота такой плотности будет развивать давление около 1690 бар. Указанные признаки микрогетерогенности расплава (объемно-равномерное насыщение мельчайшими включениями) подтверждаются безуспешными попытками гомогенизации крупных РВ (размером более 20 микрон), проведенными без противодавления. Интересно отметить, что при нагревании крупных первичных РВ ($\sim 200 \text{ мкм}$) в интервале температур $645\text{—}672^\circ\text{C}$ происходит увеличение объема газового пузырька,

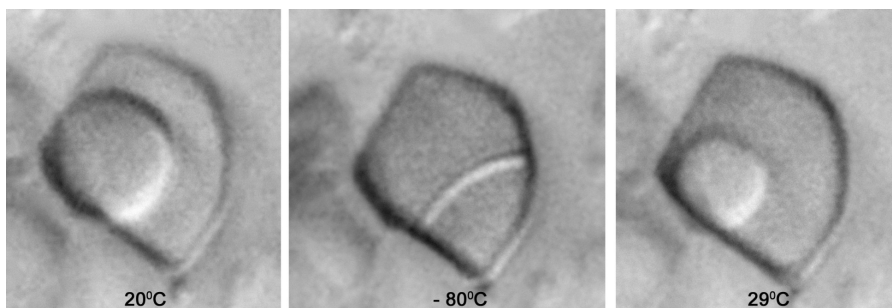
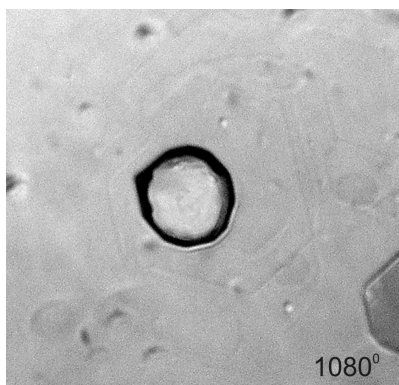
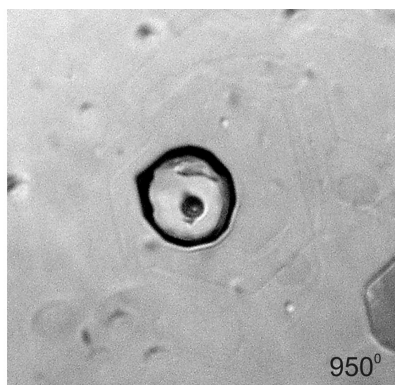


Фото 2. Поведение первичного углекислотного включения в корунде в процессе термометрического эксперимента

искажение его формы и «расслоение» на две несмешивающиеся фазы, что пока не находит корректного объяснения и скорее всего, связано с обособлением силикатной (или солевой) фазы, но уже при достижении 700°C его объем близок к первоначальному. Подплавление стекла и минеральных фаз происходит в диапазоне $750\text{—}800^{\circ}\text{C}$, гомогенизация наступает в интервале $1050\text{—}1080^{\circ}\text{C}$. В процессе термометрического изучения мелких включений выявились признаки, указывающие на низкую вязкость законсервированных расплавов, которые проявились в гетерогенизации гомогенизированных РВ при их охлаждении (фото 3).



а



б

Фото 3. Поведение первичного расплавного включения в корунде в процессе термометрического эксперимента: а – в момент гомогенизации; б – в период охлаждения

Кроме того, ни в одном из препаратов не наблюдалась гомогенизация флюидной части ПВ в жидкую фазу, что свидетельствует о низком содержании воды в расплаве. Состав прогретых стекол первичных ПВ, приведенный в мас.%, ($\text{SiO}_2 \sim 62,74\text{—}68,91$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 9,04\text{—}20,84$, $\text{Na}_2\text{O} \sim 6,18\text{—}11,03$, $\text{K}_2\text{O} \sim 0,58\text{—}7,06$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \sim 0,38\text{—}1,12$, $\text{P}_2\text{O}_5 \sim 0,92\text{—}2,26$ и $\text{Cl} \sim 0,18\text{—}0,66$) отвечает граносиенитовым расплавам.

Согласование результатов изучения включений в корундах с диаграммами состояния модельных систем гранит- H_2O - CO_2 и альбит- H_2O - CO_2 [Рябчиков, 1975; Кадик, 1975; Кадик, Френкель, 1982; Рейф, 1990] позволило определить параметры начала природного процесса: кристаллы корундов Незаметнинской россыпи возникли из флюидонасыщенного граносиенитового расплава низкой вязкости, обогащенного углекислотой, фосфором и хлором при дефиците воды во флюидной фазе, в интервале температур 780 - 820 °С и давлений 1.7 – 3 кбар.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов проведенных исследований позволил выявить некоторые важные особенности природного процесса, необходимые для обсуждения генезиса корунда из Незаметнинской россыпи и, как представляется, имеющие более общее значение:

1. Минеральный парагенезис сингенетичных включений в незаметнинских корундах (рутил, альбит, цинксодержащий герцинит, колумбит, циркон, флюорит и монацит) соответствует гранитоидному парагенезису стадии метасоматических преобразований, при этом среди минеральных включений в корундах минералы базальтового парагенезиса не обнаружены.

2. Состав и особенности первичных включений в корундах свидетельствуют о том, что, по крайней мере, часть из них кристаллизовалась из флюидонасыщенного граносиенитового расплава, обогащенного углекислотой, фосфором и хлором при дефиците воды во флюидной фазе.

3. Кристаллизация корунда происходила в интервале температур 780 - 820°С и давлений 1.7 – 3 кбар.

4. Присутствие высокоглиноземистых разностей среди гранитоидов Незаметнинского штока, обнаружение в них и связанных с ними метасоматитах

акцессорного корунда позволяет рассматривать эти породы в качестве основного коренного источника корунда.

Принимавшаяся нами в качестве рабочей в начальный период исследований гипотеза, постулирующая происхождение корундов из щелочных базальтов, несмотря на несомненную привлекательность, оказалась в явном противоречии со следующими геологическими и петрогенетическими фактами: 1) совпадение ареала распространения россыпи с полями проявления гранитоидов на площади месторождения; 2) совместная концентрация золота и камнесамоцветов в приплитиковой части аллювиальных отложений и отсутствие корундов в незолотоносных россыпях района; 4) отсутствие корундов, а также минералов, обнаруженных в корунде в виде сингенетичных минеральных включений, в шлифах, пластинах и протопочках щелочных базальтов, при том что акцессорный корунд зафиксирован в шлифах и протопочках высокоглиноземистых грейзенизированных гранит-порфиров и граносиенитов.

Безусловно, далеко не все физико-химические параметры природного процесса, связанного с образованием корундов, расшифрованы. Дискуссия относительно генезиса и способов образования реальных месторождений корунда далека от завершения. Остается еще множество интереснейших физико-химических аспектов исследования этого минерала в связи с развитием и применением новейших методов и аппаратуры.

Тем не менее, проведенные исследования позволили прояснить некоторые важные черты генезиса корундов Незаметнинского месторождения. Принципиальная возможность кристаллизации корунда в условиях, подобных установленным нами для природных кристаллов, подтверждена экспериментами по его выращиванию методом ХТР (химико-транспортных реакций). Успехи последних лет в области исследований физико-химических условий образования корунда и петрогенезиса сиенитовых магм вызвали необходимость пересмотра генезиса известных тайландских и австралийских месторождений сапфиров, традиционно относимых к формации щелочных базальтов. Полученные результаты могут иметь важное значение при проектировании поисковых и эксплуатационных работ на Незаметнинском

месторождении, которое считается одним из наиболее перспективных в России.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Одариченко Э.Г. Включения в корундах месторождения Незаметное (Приморский край) // Тр. IX Международной конференции по термобарогеохимии, 10-14 сентября, ВНИИСИМС, Александров, 2001. с. 97-111.

2. Одариченко Э.Г. Включения в корундах месторождения Незаметное (Приморский край) // Тез. докл. IX Международной конференции по термобарогеохимии, 10-14 сентября, ВНИИСИМС, Александров, 2001. с. 49-52.

3. Мясников Е.А., Одариченко Э.Г. Прогнозные оценки камнесамоцветного сырья на морфоструктурной основе // Материалы XI сессии Северо-Восточного отделения ВМО "Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий", Региональная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Ю.А. Билибина. Т.2. Металлогения, 2001. с. 56-59.

4. Краснобаева М.В., Тишкина В.Б., Одариченко Э.Г., Залищак Б.Л., Пахомова В.А. Месторождение сапфиров и цирконов в Приморье // V Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле» Тез. докл. Т.2. Секция геммологии; МГГА, Москва 2001. с. 108.

5. Ханчук А.И., Залищак Б.Л., Пахомова В.А., Одариченко Э.Г., Сапин В.И. Генезис и геммология сапфиров месторождения Незаметное (Приморский край) // Тихоокеанская геология, №1, 2002. с. 89-95.

6. Одариченко Э.Г., Лапина М.И. Генетические аспекты корундовой минерализации (россыпное месторождение Незаметное, Приморский край) // Материалы III Международного минералогического семинара «Новые идеи и концепции в минералогии», 19-21 июня, Коми научный центр УрО РАН, Институт геологии, Сыктывкар, 2002. с. 213-215.

7. Краснобаева М.В., Одариченко Э.Г., Федоров А.В. Геммологические свойства корундов Приморья // Вестник Геммологии, № 7, 2002. с. 22-28.

8. Одариченко Э.Г., Тишкина В.Б., Лапина М.И. Минеральный парагенезис корунда – ключ к решению проблемы его происхождения (месторождение Незаметное, Приморский край) // Минералогия, геммология, искусство. СПб: Изд-во СПбГУ, 2003. с. 49-51.

9. Одариченко Э.Г., Залищак Б.Л., Пахомова В.А., Мохов А.В., Лапина М.И., Екимова Н.И., Тишкина В.Б. Корунды, гиацинты, гранаты, шпинелиды и некоторые другие минералы Незаметинской золотоносной россыпи (Приморский край) // Материалы VI Международной конференции «КРИСТАЛЛЫ: рост, реальная структура, свойства, применение», Александров: ВНИИСИМС, 2003. с. 299-303.

10. Пахомова В.А., Залищак Б.Л., Одариченко Э.Г., Тишкина В.Б. Диагностика природных, термообработанных и выращенных корундов // Минералогия, геммология, искусство. СПб: Изд-во СПбГУ, 2003. с. 54-55.

11. Залищак Б.Л., Тишкина В.Б., Пахомова В.А., Одариченко Э.Г. Камнесамоцветы Дальнего Востока России: месторождения, минералогия, геммология // Минералогия, геммология, искусство. СПб: Изд-во СПбГУ, 2003. с. 26-27.

12. Khanchuk A., Zalishchak B., Pakhomova V., Odarichenko E., Tishkina V. Genesis and Gemmology of Sapphire from the Nezametnoye Deposit, (Primorye Region, Russia) // The Journal of The Gemmological Association of Hong Kong, Vol. 23, 2002. p. 31-34.

13. Khanchuk A., Zalishchak B., Pakhomova V., Odarichenko E., Sapin V. Genesis and Gemmology of Sapphire from the Nezametnoye Deposit, Primorye Region, Russia // Australian Gemmologist, Vol. 21, 2003. p. 329-335.



Элла Геннадьевна ОДАРИЧЕНКО

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
КОРУНДОВ НЕЗАМЕТНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО
ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ
И ПРОБЛЕМА ИХ ГЕНЕЗИСА**

Автореферат

Подписано в печать 22.04.04

Формат 60х90/16 Уч.-изд.л. 1. Тираж 100. Заказ № 20
Типография ТИНРО-центра, Владивосток, пер. Шевченко,4