

**ГЕНЕЗИС И ГЕММОЛОГИЯ САПФИРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕЗАМЕТНОЕ
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

А.И. Ханчук, Б.Л. Залищак, В.А. Пахомова, Э.Г. Одариченко, В.И. Сапин

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

В работе приведены оригинальные материалы по исследованию включений в сапфирах из россыпи месторождения Незаметное, а также минералов тяжелой фракции гранит-порфиров штока коренного золоторудного месторождения Незаметного, на площади которого расположена россыпь сапфиров, гиацинтов и шпинелей. Выполнены химические анализы корунда и минеральных включений. На основании установленной ассоциации минеральных фаз включений (колумбит, альбит, циркон, цинксодержащий герцинит, рутил), состава стекол и присутствия акцессорного корунда в гранит-порфирах и граносиенит-порфирах месторождения Незаметное сделан вывод о том, что источником исследованных корундов являются редкометалльные пегматиты, грейзены и метасоматиты, связанные с мезозойскими гранитоидными телами, широко развитыми в районе.

Ключевые слова: корунд, минералогия, флюидные включения, генезис, Приморский край.

Единственное в России россыпное месторождение ювелирных корундов, гиацинтов и шпинелей Незаметное находится в Красноармейском районе Приморского края, в бассейне реки Кедровки.

Проблема происхождения корунда всегда привлекала внимание исследователей, но до сих пор остается дискуссионной. Корунд – обычный минерал различных богатых глиноземом пород (гранитоидов, нефелиновых сиенитов, метаморфических и метасоматических пород), он также известен в богатых глиноземом ксенолитах из различных магматических пород, в том числе кимберлитов. Существует несколько точек зрения на генезис корундов и его ювелирных разновидностей – сапфиров. Наиболее популярная из них основана на нередкой пространственной совмещенности россыпных месторождений сапфиров и проявлений базальтового магматизма. Так, среди щелочных базальтов встречаются разновидности с высоким содержанием корунда, которые, как предполагают, являются источником образования россыпных месторождений сапфиров и рубинов [1, 5–7].

Район россыпного месторождения Незаметное расположен в центральной части юрского аккреционного комплекса Сихотэ-Алиня [4], сложенного турбидитами и субдукционным меланжем средней и поздней юры. В меланже и в виде отдельных крупных пластин присутствуют фрагменты пород пермско-раннепалеозойской океанической плиты: плитчатые кремни и кремнисто-глинистые породы (рис. 1). В районе широко распространены дайки и штоки магматических пород.

Кайнозойские отложения слагают северо-западную и центральную часть площади месторождения. Они представлены слабо диагенезированными гравелитами, конгломератами и аргиллитоподобными глинами. Гравийно-галечный материал (40–60%) хорошо окатан, в его составе преобладают кремнистые и порфировые породы, часть которых метаморфизована. Аргиллитоподобные глины отмечаются в виде редких линз с включениями древесных остатков и бурого угля, глины плохо размокают, промывистость очень плохая. Установлены следующие генетические типы кайнозойских отложений: аллювиальные, пролювиальные, делювиальные и эллювиальные. Мощность их в борту долины составляет 3–5 м. По данным палинологических анализов эти отложения подразделены на средне-, верхнечетвертичные и современные. Среднечетвертичные отложения выполняют наиболее углубленные части долины реки Кедровки и повсеместно перекрыты поздним аллювием. Верхнечетвертичные отложения выполняют поймы долин и перекрывают с niveлированные надпойменные террасы. Современные образования распространены в поймах водотоков.

Докайнозойские осадочные породы повсеместно прорваны многочисленными телами магматических пород кислого, основного и ультраосновного состава. Базальтоиды представлены разновидностями нормального и щелочного ряда. В составе щелочных базальтоидов присутствуют, кроме обычных минералов, щелочные полевые шпаты и нефелин. Базальты и габброиды образуют дайки мощностью не более первых метров. Наибольшее

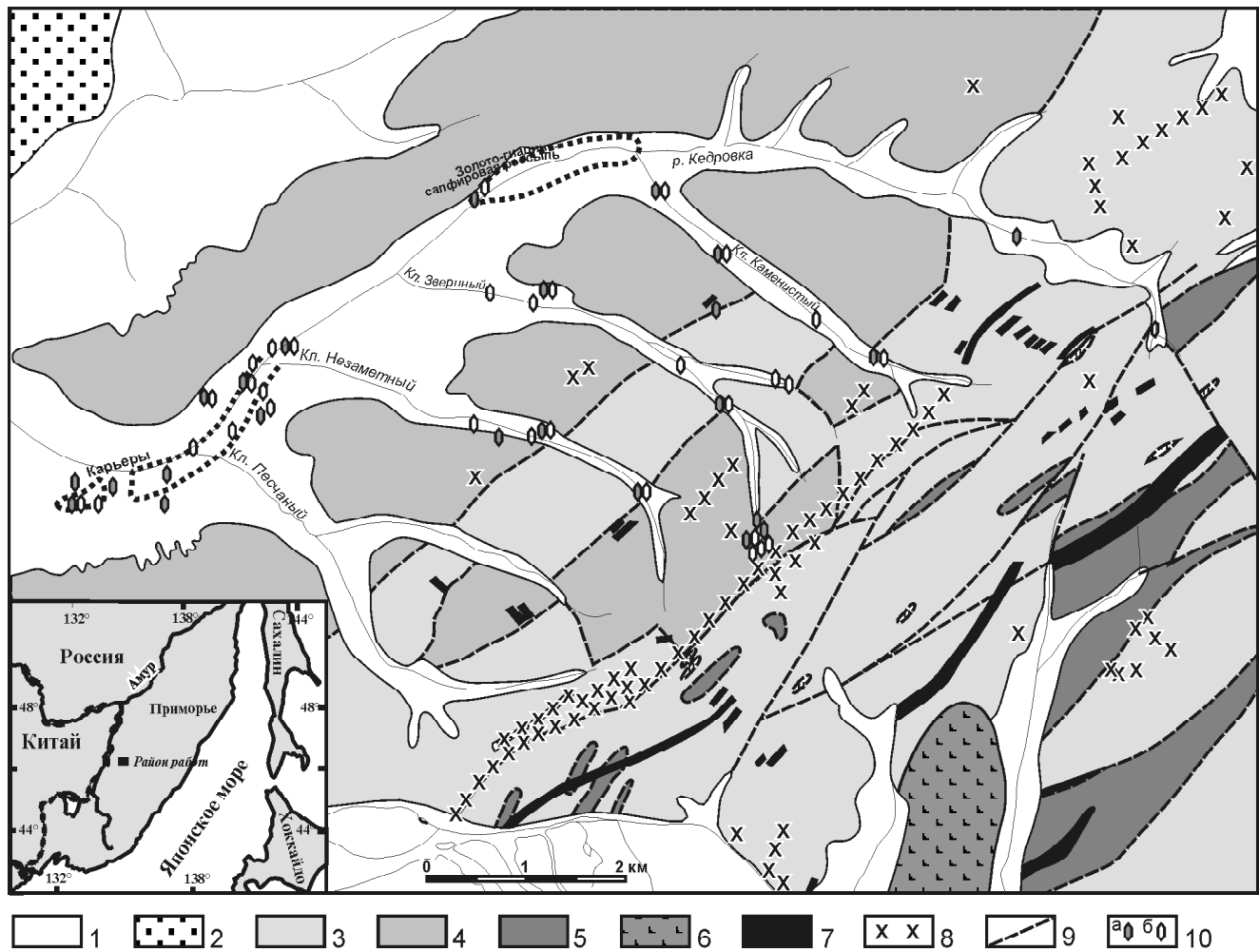


Рис. 1. Схематическая геологическая карта бассейна реки Кедровки (Приморский край) (по Сясько А.А., 1992 г.).

1 – четвертичные и современные отложения; 2 – неогеновые конгломераты, песчаники, глины; 3 – средне-позднеюрские меланжевые породы; 4 – средне-позднеюрские расланцованные алевролиты, переслаивающиеся с песчаниками; 5 – позднепермско-раннеюрские плитчатые кремни, кремнисто-глинистые породы; 6 – неогеновые базальты; 7 – раннемеловые диориты, габродиориты, габбро, спессартиты, диабазы, базальты; 8 – выходы тел и жил раннемеловых гранит-порфиров, гранодиоритов, риолитов, других гранитоидов; 9 – тектонические нарушения; 10 – находки в россыпях: а – корунда, б – гиацнта.

распространение в районе имеют штокообразные тела и жилы мезозойских гранитоидов, среди которых известны биотитовые граниты, граносиениты, гранодиориты, аляскиты, плагииграниты, разнообразные гранит-порфиры, редкометалльные пегматиты, грейзены, метасоматиты и гидротермалиты, в том числе золотоносные кварцевые жилы.

Корунды россыпного месторождения Незаметное представлены в разной степени окатанными кристаллами и их обломками размером до 20 мм. Кристаллы имеют боченковидный (комбинация гексагональной дипирамиды, призмы и пинакоида), пластинчатый и таблитчатый облик, часто деформированы и корродированы. Искаженные, уплощенные кристаллы имеют в сечении, перпендикуляр-

ном пинакоиду, очертания ромба, для них характерна отдельность, поверхность которой бывает блестящей и матовой, с характерной штриховкой в нескольких направлениях под углом 60° и перламутровым блеском. Окраска корундов разнообразная: зональная, пятнистая, полихромная, однородная. Цвет – фиолетово-синий (васильковый), синий, сероватосиний, голубой, зеленовато-синий, коричневатозеленый, коричневый, серый. Тон – от очень светлого и бесцветного до темного, характерен отчетливый плеохроизм. Чистота – от чистых прозрачных до просвечивающих и непрозрачных. В разрезах, параллельных пинакоиду, наблюдается ростовая зональность. Характерна "шелковистость", вызванная включениями игл рутила, реже – астеризм в виде звезд.

Для исследования геммологических характеристик взята коллекция из двенадцати ограненных камней, восьми фасетированных и четырех кабошонов, не подвергнутых термической обработке сапфиров ювелирного качества 0,37–5,3 карата. Коллекция задокументирована для выяснения диапазона цвета, прозрачности, реакции на ультрафиолетовое излучение и микроскопические особенности. Внутренние структуры роста ограненных камней исследованы на профессиональном геммологическом микроскопе. Оценка производилась по системам GIA и AIGS. Среди ограненных образцов установлены зеленые (G), голубовато-зеленые (bG), фиолетовато-голубые (vB), с тонами от средне-светлого (ml) до средне-темного (mdk). Насыщенность варьирует от светло-сероватой (slgr) до сильной (st). Чистота: большинство камней лишено включений, видимых невооруженным глазом (чистота VS – SI1). По системе AIGS, разновидности основного цвета – В (молочно- и шелковисто-голубой), С (васильково-голубой), D (чернильно-синий), F (фантазийный), G (зеленый), тон – от очень светлого до темного, насыщенность – от слабой до сильной, чистота – в интервале 1–4 (от Clean до VI2).

В ультрафиолетовых лучах все камни инертны. Стандартные геммологические свойства образцов незаметинских камней соответствуют сапфирам месторождений южного Вьетнама, Мьянмы и Таиланда [7]. Все образцы показали отчетливый до сильного дихроизм.

Для решения проблемы генезиса корундов россыпного месторождения Незаметное проведены детальные исследования включений в них. Выделены следующие типы включений: первичные расплавные, вторичные расплавные, минеральные, газовой-жидкие, газовые.

Первичные расплавные включения встречаются крайне редко. В основном они располагаются в центральных частях кристаллов согласно зонам роста. Чаще всего включения этого типа имеют овальную, иногда уплощенную форму, редко изометричную. Они состоят из прозрачного стекла и газового пузырька (рис. 2а), иногда содержат одну или несколько минеральных фаз. Так, крупное, размером около 500 микрон (рис. 2б) первичное расплавное включение кроме стекла и газа в качестве минералов-узников содержит шпинель, титаномагнетит и магнетит (табл. 1). В большинстве случаев объем газового пузырька составляет 30–35%, иногда 20–25% от объема вакуоли. Границы вакуолей с минералом-хозяином тонкие, прерывистые, часто неровные. Размер первичных расплавных включений варьирует от первых мкм до первых сотен мкм, преобладают включения размером 20–50 мкм. Включения этого типа почти всегда окружены вторичными включениями, которые образуют дактилотипные структуры (“fingerprints”).

Вторичные расплавные включения в корундах по сравнению с первичными более обильны. Они располагаются в краевых зонах, сопутствуют трещинам, либо окаймляют первичные расплавные и минеральные включения. Включения, которые находятся на периферии и вблизи трещин, состоят из прозрачного стекла, одного или нескольких газовых пузырьков, иногда содержат минеральную фазу. Объем газовой фазы в них изменяется незначительно и составляет не более 15% от объема вакуоли. В качестве минеральной фазы этих включений отмечены, по крайней мере, две, отличающиеся по оптическим характеристикам. Одна из них – непрозрачная под микроскопом, чаще всего субквадратной формы (по-видимому, рудный мине-

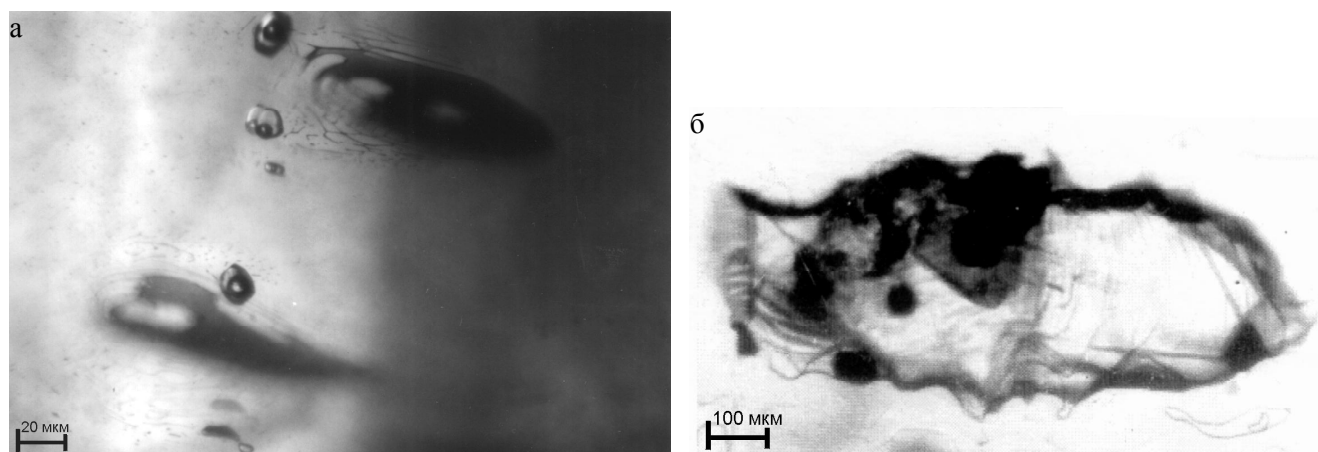


Рис. 2. Первичные расплавные включения в корунде, россыпь месторождения Незаметное.

а – содержат прозрачное стекло и газовый пузырек; б – содержит частично раскристаллизованное стекло, газовую и минеральные фазы.

Таблица 1. Средние содержания компонентов в корунде и твердых фазах включения в нем (микронзондовый анализ).

Минерал, фаза	Число анализов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	NiO	P ₂ O ₅
Корунд	21	0,07	0,02	98,48	1,25	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
		0,09	0,02	0,82	0,10	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Фаза 1	9	0,24	0,12	53,40	31,22	2,17	8,66	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01
		0,13	0,02	2,28	2,03	0,13	0,38	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Фаза 2	7	0,36	14,43	1,16	69,68	0,29	0,27	0,01	0,02	0,08	0,02	0,10	0,01	0,02
		0,15	0,38	0,17	0,97	0,04	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02
Фаза 3	2	0,64	0,36	2,45	78,54	0,57	0,25	0,02	0,09	0,07	0,02	0,02	0,00	0,04
		0,45	0,02	0,14	0,39	0,14	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,00	0,04
Фаза 4	30	58,86	0,10	23,99	0,36	0,04	0,09	0,21	1,80	6,23	0,01	0,02	0,03	1,16
		1,11	0,05	0,44	0,30	0,03	0,12	0,06	0,64	0,50	0,01	0,02	0,02	0,04

Примечание. В числителе – средние содержания, в знаменателе – средние отклонения, в мас. %.

Таблица 2. Химический состав включений альбита и стекла в корундах месторождения Незаметное (микронзондовый анализ).

N п/п	Минерал	Содержание, мас. %							
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
1	альбит	65,71	0,01	22,01	0,00	2,06	10,24	0,94	100,97
2	альбит	65,18	0,05	20,62	0,00	1,45	10,06	1,65	99,01
3	стекло	63,69	10,60	20,15	0,06	0,12	1,28	5,70	101,60

Кристаллохимическая формула: 1. (Na_{0,87}K_{0,06})_{0,93}Ca_{0,1}Al_{1,13}Si_{2,87}O₈; 2. (Na_{0,88}K_{0,1})_{0,98}Ca_{0,07}Al_{1,08}Si_{2,91}O₈.

Таблица 3. Химический состав включений цинксодержащего герцинита в корундах месторождения Незаметное (микронзондовый анализ).

N п/п	Минерал	Содержание, мас. %						
		TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	ZnO	Сумма
1	цинксодержащий герцинит	0,01	55,09	36,29	1,48	3,16	5,53	101,56
2	цинксодержащий герцинит	0,01	53,07	36,07	1,50	3,16	5,32	99,13
3	цинксодержащий герцинит	0,01	51,01	35,74	1,39	3,04	4,92	96,11

Кристаллохимическая формула: 1. (Fe_{0,88}Mn_{0,04}Mg_{0,14}Zn_{0,12})_{1,18}Al_{1,88}O₄; 2. (Fe_{0,90}Mn_{0,04}Mg_{0,14}Zn_{0,12})_{1,2}Al_{1,87}O₄; 3. (Fe_{0,93}Mn_{0,04}Mg_{0,14}Zn_{0,11})_{1,22}Al_{1,85}O₄.

Таблица 4. Химический состав включений колумбита в корундах месторождения Незаметное (микронзондовый анализ).

N п/п	Минерал	Содержание, мас. %							
		FeO	MnO	MgO	TiO ₂	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Сумма	
1	колумбит	центр зерна	16,35	0,31	4,09	1,06	5,75	73,70	101,26
		край зерна	16,47	0,34	3,91	1,16	6,40	72,97	101,25
2	колумбит	центр зерна	15,65	0,86	3,49	2,81	3,22	74,42	100,45
		край зерна	15,69	1,01	3,36	2,59	3,30	74,43	100,38
3	колумбит	центр зерна	16,11	1,26	2,36	4,21	3,32	73,26	100,52

Кристаллохимическая формула: 1. (Fe_{0,77}Mg_{0,03}Mn_{0,2})_{1,0}Ti_{0,05}(Ta_{0,08}Nb_{1,88})_{1,96}O₆; (Fe_{0,78}Mg_{0,03}Mn_{0,19})_{1,0}Ti_{0,05}(Ta_{0,09}Nb_{1,87})_{1,96}O₆.
2. (Fe_{0,73}Mg_{0,07}Mn_{0,16})_{0,96}Ti_{0,12}(Ta_{0,05}Nb_{1,87})_{1,92}O₆; (Fe_{0,74}Mg_{0,09}Mn_{0,05})_{0,88}Ti_{0,11}(Ta_{0,05}Nb_{1,91})_{1,96}O₆.
3. (Fe_{0,75}Mg_{0,1}Mn_{0,11})_{0,96}Ti_{0,17}(Ta_{0,06}Nb_{1,82})_{1,88}O₆.

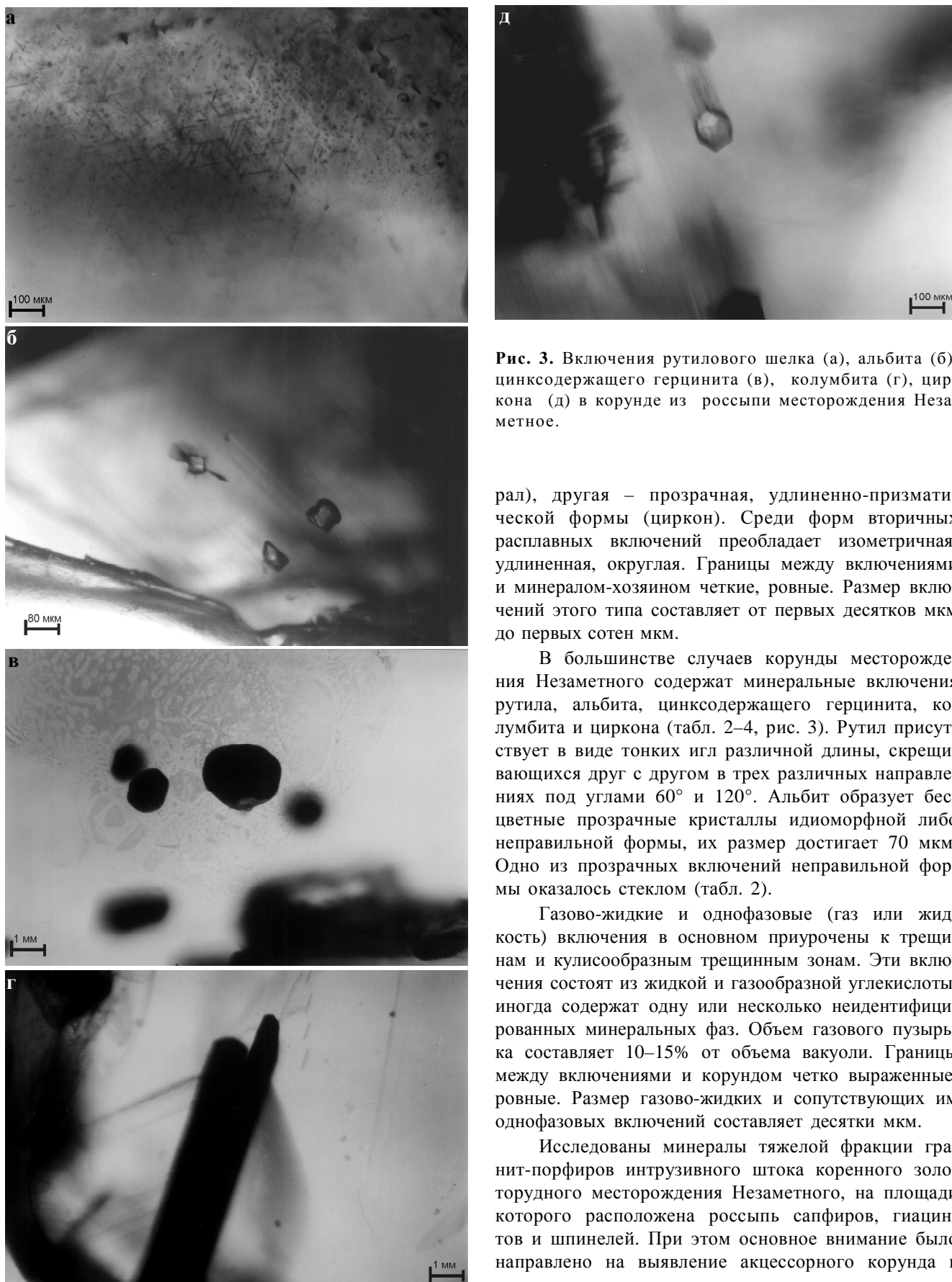


Рис. 3. Включения рутилового шелка (а), альбита (б), цинксодержащего герцинита (в), колумбита (г), циркона (д) в корунде из россыпи месторождения Незаметное.

рал), другая – прозрачная, удлиненно-призматической формы (циркон). Среди форм вторичных расплавных включений преобладает изометричная, удлиненная, округлая. Границы между включениями и минералом-хозяином четкие, ровные. Размер включений этого типа составляет от первых десятков мкм до первых сотен мкм.

В большинстве случаев корунды месторождения Незаметного содержат минеральные включения рутила, альбита, цинксодержащего герцинита, колумбита и циркона (табл. 2–4, рис. 3). Рутил присутствует в виде тонких игл различной длины, скрещивающихся друг с другом в трех различных направлениях под углами 60° и 120° . Альбит образует бесцветные прозрачные кристаллы идиоморфной либо неправильной формы, их размер достигает 70 мкм. Одно из прозрачных включений неправильной формы оказалось стеклом (табл. 2).

Газово-жидкие и однофазовые (газ или жидкость) включения в основном приурочены к трещинам и кулисообразным трещинным зонам. Эти включения состоят из жидкой и газообразной углекислоты, иногда содержат одну или несколько неидентифицированных минеральных фаз. Объем газового пузырька составляет 10–15% от объема вакуоли. Границы между включениями и корундом четко выраженные, ровные. Размер газово-жидких и сопутствующих им однофазовых включений составляет десятки мкм.

Исследованы минералы тяжелой фракции гранит-порфиров интрузивного штока коренного золоторудного месторождения Незаметного, на площади которого расположена россыпь сапфиров, гиацинтов и шпинелей. При этом основное внимание было направлено на выявление аксессуарного корунда в

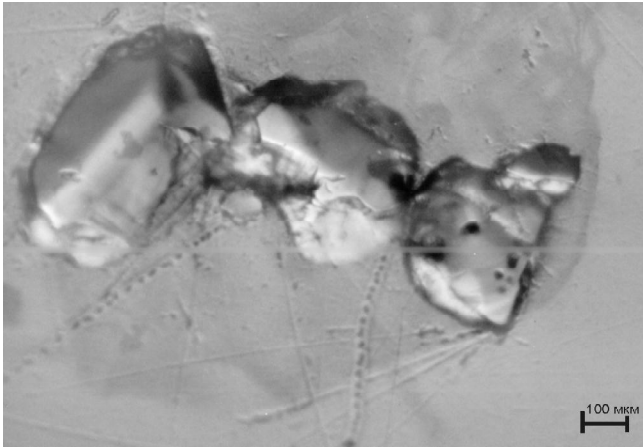


Рис. 4. Зерна корунда из протоочки гранит-порфира, месторождение Незаметное.

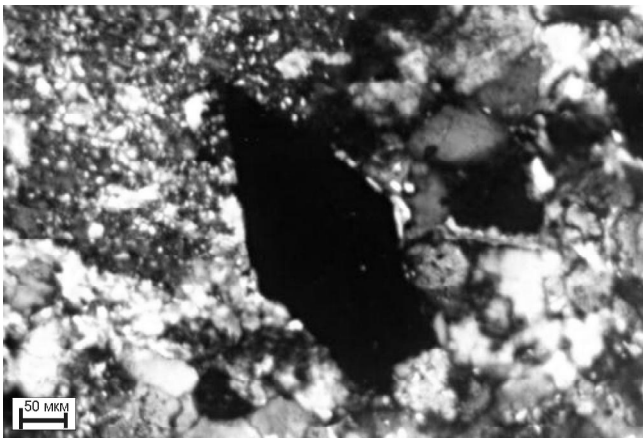


Рис. 5. Кристалл корунда в мусковитизированном граносиенит-порфире, месторождение Незаметное.

Шлиф, с анализатором.

составе тяжелой фракции. Установлено, что корунд (рис. 4, 5) является обычным аксессуарным минералом гранит-порфиров и представлен изометричными зернами размером 0,1–0,5 мм, иногда характерной дипирамидальной и боченовидной формы. Цвет исследованных зерен: бесцветные, коричневатые. Состав корунда подтвержден химическими анализами, выполненными В.И. Сапиным (ДВГИ ДВО РАН). Исследованием включений в кварце вкрапленников и основной массы гранит-порфиров, а также в кварце гидротермальных жил, секущих эти гранит-порфиры, установлены температуры гомогенизации расплавных включений – 960–990°C, газовой-жидких включений – 330–440°C и 160–260°C.

Таким образом, проблема генезиса сапфиров месторождения Незаметное в принципе решена. На основании установленной ассоциации минеральных включений в сапфирах (колумбит + цинксодержащий герцинит + циркон + альбит + рутил + кислое стекло) и присутствия аксессуарного корунда в гранит-порфирах месторождения Незаметное можно однозначно утверждать, что источником исследованных корундов являются редкометалльные пегматиты, грейзены и метасоматиты, связанные с мезозойскими гранитоидными телами, широко развитыми в районе [2]. Природные включения стекла обычно рассматриваются как закаленные расплавы, и принято считать, что их состав характеризует состав расплава на стадии кристаллизации минерала-хозяина. Частично раскристаллизованные включения представляют собой микросистему, "закаленную" на определенной стадии кристаллизации материнской магмы [3]. В этих включениях соотношения объема кристаллических фаз и стекла бывают самыми разными, но во всех случаях ассоциирующее с кристаллическими фазами стекло принято называть остаточным, т.е. оставшимся после кристаллизации высокотемпературных минералов. Стекла исследованных корундов соответствуют граносиенит-гранодиоритовому составу магмы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 01-05-96913.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев А.С., Ананьева Т.А., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П. Благородные корунды и цирконы из росыпей Приморья // Зап. ВМО. 1998. № 4. С. 120–125.
2. Иванов В.С., Бурьянова И.З., Залищак Б.Л. и др. Гранитоиды и монцититоиды рудных районов Приморья. М.: Наука, 1980. 160 с.
3. Костюк В.П., Панина Л.И., Жидков А.Я. и др. Калиевый щелочной магматизм Байкало-Становой рифтовой системы. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 239 с.
4. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края: очерк. Владивосток: Дальнаука, 1995. 68 с.
5. Gübelin E. J., Koivula J.I. Photoatlas of inclusions in gemstones. Zurich: ABC Edition, 1997. 536 p.
6. Schwarz D., Kanis J., Schmetzer K. Sapphires from Antsirana Province, Northern Madagascar // Gem. & Gemology. 2000. V. 36, N 3. P. 216–233.
7. Smith Ch.P., Kammerling R.C., Keller A.S., Scarratt K.V., Khoa Nguyen Dang and Repetto Saverio. Sapphires from Southern Vietnam // Gem. & Gemology. 1995. V. 31, N3. P. 168–186.

A.I.Khanchuk, B.L.Zalishchak, V.A. Pakhomova, E.G. Odarichenko, and V.I.Sapin

Genesis and gemology of sapphires from the Nezametny deposit (Primorye)

The paper presents original materials on the research of inclusions in sapphires from the Nezametny placer deposit, and also minerals of a granite - porphyry heavy fraction of a gold-ore native stock from the Nezametny deposit, where loose sapphires, hyacinths, and spinels occur. Chemical analyses of corundum and mineral inclusions are made. Based on the established association of mineral inclusion phases - columbite, albite, zircon, zinc-bearing hercynite, rutile, glass composition, and presence of accessory corundum in granite-porphyries and granosyenite-porphyries, it was concluded that rare-metal pegmatites, greisens, and metasomatites associated with Mesozoic granitoid bodies being widespread in the area, are the source of the corundums studied.