

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ БЕРИЛЛ ИЗ СУПРУНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЕСПОЛОСТНЫХ ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

© 2019 г. Е. И. Герасимова<sup>а,\*</sup>, В. Ю. Прокофьев<sup>б,\*\*</sup>, С. З. Смирнов<sup>с,\*\*\*</sup>,  
Т. Н. Ковальская<sup>д,\*\*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН  
Россия, 125009 Москва, Моховая ул., 11/11

<sup>б</sup>Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии РАН  
Россия, 119017 Москва, Старомонетный пер., 35

<sup>с</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН  
Россия, 630090 Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3

<sup>д</sup>Институт экспериментальной минералогии им. академика Д.С. Коржинского РАН  
Россия, 142432 Черноголовка, ул. акад. Осипьяна, 4  
e-mail: \*ekgera@gmail.com, \*\* vpr2004@rambler.ru, \*\*\*ssmr@igm.nsc.ru,  
\*\*\*\*tatiانا76@iem.ac.ru

Поступила в редакцию 04.09.2018 г.

После доработки 13.09.2018 г.

Принята к публикации 17.09.2018 г.

Получены новые данные по химическому составу берилла Супруновского месторождения SiO<sub>2</sub> 66.10; Na<sub>2</sub>O 0.51; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 17.99; MgO 0.37; K<sub>2</sub>O 0.03; CaO 0.02; FeO 0.58; BeO<sub>расч.</sub> 13.70 (мас.%). Впервые в минерале исследованы флюидные и расплавные включения. Установлено, что берилл формировался на поздних стадиях гранитного магматизма из специфического пегматитового силикатного расплава или водно-силикатной жидкости, обогащенной водой (>7 мас.%), тяжелыми РЗЭ (La/Yb = 0.48), литием, но обедненных фтором и бором при температуре около 700°C и давлении около 6 кбар.

**Ключевые слова:** берилл, аквамарин, бесполостные пегматиты, Супруновское месторождение, Ирельский комплекс, расплавные включения, гранитный магматизм

DOI: 10.31857/S0016-7525647750-756

### ВВЕДЕНИЕ

Берилл – один из самых распространенных минералов бериллия – стратегического металла, востребованного современными технологиями промышленности. Прозрачные кристаллы берилла зеленого (изумруд), желтого (гелиодор), розового (морганит) и голубого (аквамарин) цветов, как и бесцветный гошенит, являются ценным ювелирным материалом. Выяснение генезиса бериллиевой минерализации как источника рудного металла и ювелирного сырья важно для понимания процессов концентрирования стратегических металлов в поздних дифференциатах гранитных магм.

Супруновское пегматитовое месторождение находится в Казачинско-Ленском районе северной части Иркутской области (Восточная Сибирь), в юго-восточной части хр. Аkitкан, окаймляющего с запада Северо-Байкальское

нагорье, в районе слияния рек Кутима и Малая Кутима (рис. 1). Месторождение локализовано в гранитах, входящих в состав Аkitканского окраинно-континентального вулканоплутонического пояса рифейского возраста. Пегматитовое тело месторождения находится в непосредственной близости от гранитов Ирельского комплекса среднепротерозойского возраста, которые широко развиты среди эффузивов аkitканской серии (Геология СССР, 1962).

Замечательной особенностью Супруновского месторождения является формирование гигантских кристаллов берилла, размер которых достигает нескольких метров в длину и более 50 см в диаметре. В силу трудной доступности, месторождение было разведано, но не разрабатывалось. В связи с этим в научной литературе практически отсутствуют его описания и результаты



**Рис. 1.** Географическая схема расположения Супруновского месторождения в Иркутской области (юго-восточное обрамление Сибирской платформы).

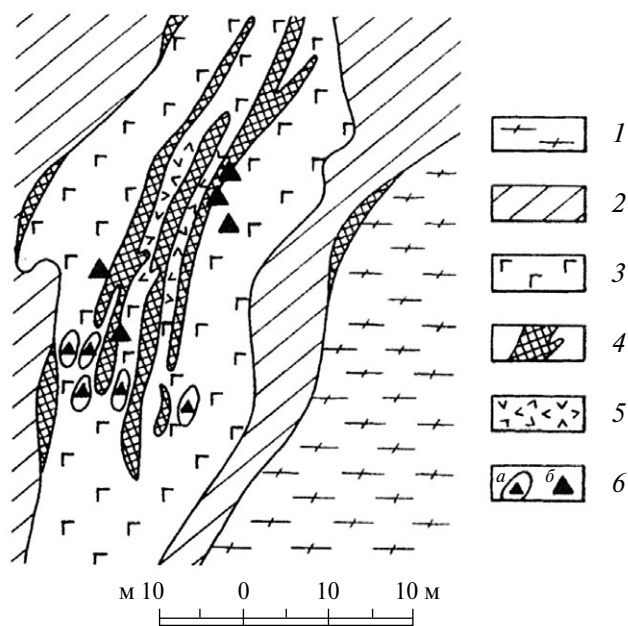
исследования условий образования уникальной берилловой минерализации.

В данной работе впервые представлены результаты исследования флюидных и расплавных включений в обломке одного из крупных кристаллов берилла Супруновского месторождения.

Бериллоносный пегматит Супруновского месторождения залегает в ксенолите биотит-мусковитового кристаллического сланца среди разgneisованных амфибол-биотитовых гранито-гнейсов раннего протерозоя (рис. 2). Пегматитовое тело имеет линзовидную форму, пологий угол падения, длина его по простиранию составляет около 150 м, мощность в раздуже 35 м (Киевленко, 2001). Центральная часть тела представляет собой кварцевое ядро, вблизи которого проявлена альбитизация. Следующая зона сложена грубозернистым, местами графическим пегматитом преимущественно микроклинового состава. Внутри этой зоны около контакта с двуслюдяными кристаллическими сланцами встречаются ксенолиты кварц-биотитового состава, иногда с зернами полевого шпата, имеющие линзовидную форму и достигающие 60 см в длину. Здесь же развиты линзовидные выделения гранулированного серого кварца с мелкими кристаллами желтого берилла.

Пегматиты Супруновского месторождения по минеральному составу относятся к мусковит-берилл-микроклиновым и являются бесплодными (Киевленко, 2001), так как в них отсутствуют характерные для миароловых пегматитов полости с кристаллами свободного роста.

Уникальные крупные кристаллы берилла образуются в контакте с кварцевым ядром и приурочены к зоне грубозернистого пегматита. Наиболее крупный из наблюдавшихся кристаллов обладает неравномерной полихромной окраской. Одни части его окрашены в желтый и зеленовато-желтый цвет, другие имеют зеленовато-синюю и синюю окраску. В некоторых кристаллах встречаются закономерные вросстки полевого шпата, образующего геометрически правильную сотовую структуру. Ниже по склону в делювии часто отмечаются крупные, до нескольких десятков сантиметров, обломки кристаллов аквамарина, с фрагментами ювелирного качества, а также мелкие кристаллы с хорошо выраженной морфологией. В осыпи также наблюдаются обломки корродированных кристал-



**Рис. 2.** Схема геологического строения бесплодного пегматита мусковит-бериллового типа Супруновского месторождения, Северо-Западное Прибайкалье, Россия (Киевленко, 2001).

1 — амфибол-биотитовые гнейсограниты; 2 — двуслюдяные кристаллические сланцы; 3 — кварц-микроклиновый графический, пегматоидный и блоковый пегматит; 4 — кварцевые блоки; 5 — участки альбитизации; 6 — скопления берилла: а — в кварц-мусковитовом агрегате; б — в блоковом кварце и микроклине.

лов густого синего цвета, обрастающие пластинчатыми кристаллами альбита и бериллиевого силиката – бертрандита.

В данной работе впервые проведено исследование состава крупного, около 8 см в поперечнике, кристалла берилла насыщенного синего цвета из делювия Супруновского месторождения. Определен состав включений минералообразующих сред в этом минерале.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для анализа химического состава аквамарина и силикатного стекла использован электронный микроанализатор “Самеса SX-100” (аналитик – Кононкова Н.Н., ГЕОХИ РАН, Москва). Анализы проводились при следующих условиях: ускоряющее напряжение 15 кВ, ток 30 нА. Электронно-зондовый анализ водосодержащего силикатного стекла сопровождается миграцией ионов натрия из зоны воздействия электронного пучка (Nielsen, Sigurdson, 1981). Для минимизации этого эффекта, который приводит к занижению концентраций Na, анализ проводился сканированием площадки 5×5 мкм. Погрешность определения элементов с концентрациями >10 мас.% составляла 2 отн.%, при содержаниях 5–10 мас.% — 5 отн.%, при содержаниях <5 мас.% — 10 отн.%. Нижняя граница измеряемых концентраций составляла 0.1 мас.%, а среднеквадратичное отклонение в интервале измеряемых концентраций не превышало 10 отн.%. Содержания воды, фтора, редких и рассеянных элементов в берилле и стеклах расплавных включений были определены методом вторично-ионной масс-спектрометрии на ионном микроанализаторе Самеса IMS-4f в Ярославском филиале Физико-технологического института РАН (г. Ярославль, аналитик – Симакин С.Г.) по методике, детально описанной в работе (Портнягин и др., 2002; Носова и др., 2002). Результаты этих исследований приведены в табл. 1 и 2. Кристаллохимическая формула берилла, рассчитанная по составу главных компонентов, следующая:  $Be_{2.93}Al_{1.93}Si_{6.01}O_{18.00}$ . Исследованный в данной работе аквамарин относится по составу к низкощелочным бериллам с суммарной концентрацией щелочных металлов около 0.5 мас.% (табл. 1) и характерным для этого типа бериллов повышенным содержанием железа (0.58 мас.% FeO) и магния (0.37 мас.% MgO). По соотношению щелочных металлов аквамарин Супруновского месторождения относится к натровым с низкими концентрациями

**Таблица 1.** Состав аквамарина и стекла расплавного включения в нем по данным микрозондового анализа, мас.%

Компонент	Аквамарин	Стекло
SiO <sub>2</sub>	66.10	67.38
TiO <sub>2</sub>	н.п.о.	н.п.о.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.99	16.49
FeO	0.58	0.71
MnO	н.п.о.	0.06
MgO	0.37	0.14
CaO	0.02	2.08
Na <sub>2</sub> O	0.51	0.44
K <sub>2</sub> O	0.03	3.07
BeO <sub>расч.</sub>	13.70	не опр.
Сумма	99.30	90.37

Примечания. н.п.о. — ниже предела обнаружения; не опр. — не определялся.

Содержание BeO<sub>расч.</sub> пересчитано исходя из  $Be(ф.к.) = 3 \cdot Li(ф.к.)$ ; содержания Li определены и указаны в табл. 2.

**Таблица 2.** Содержание воды (мас.%), фтора и элементов-примесей (ppm) в аквамарине и стекле расплавных включений в нем по данным ионно-зондового анализа

Компонент	Аквамарин	Стекло
H <sub>2</sub> O	2.91	7.9
F	н.п.о.	0.01
Li	129.74	132.8
B	0.05	175.08
Ti	11.11	17.60
V	9.00	3.50
Cr	1.95	10.60
Cu	1.55	10.60
Sr	0.06	30.45
Y	н.п.о.	9.91
Zr	0.06	6.08
Nb	0.01	13.24
Ba	0.01	16.16
Hf	0.02	0.83
Ta	н.п.о.	10.16
Pb	0.11	28.7
Th	н.п.о.	3.83
U	н.п.о.	17.09
La	н.п.о.	1.38
Ce	н.п.о.	2.94
Pr	н.п.о.	0.32
Nd	н.п.о.	0.88
Sm	0.13	0.5
Eu	0.00	0.14
Gd	0.01	1.10
Dy	н.п.о.	1.22
Er	н.п.о.	0.91
Yb	н.п.о.	2.88
Lu	н.п.о.	0.23
Th/U	не опр.	0.45
La/Yb	не опр.	0.48

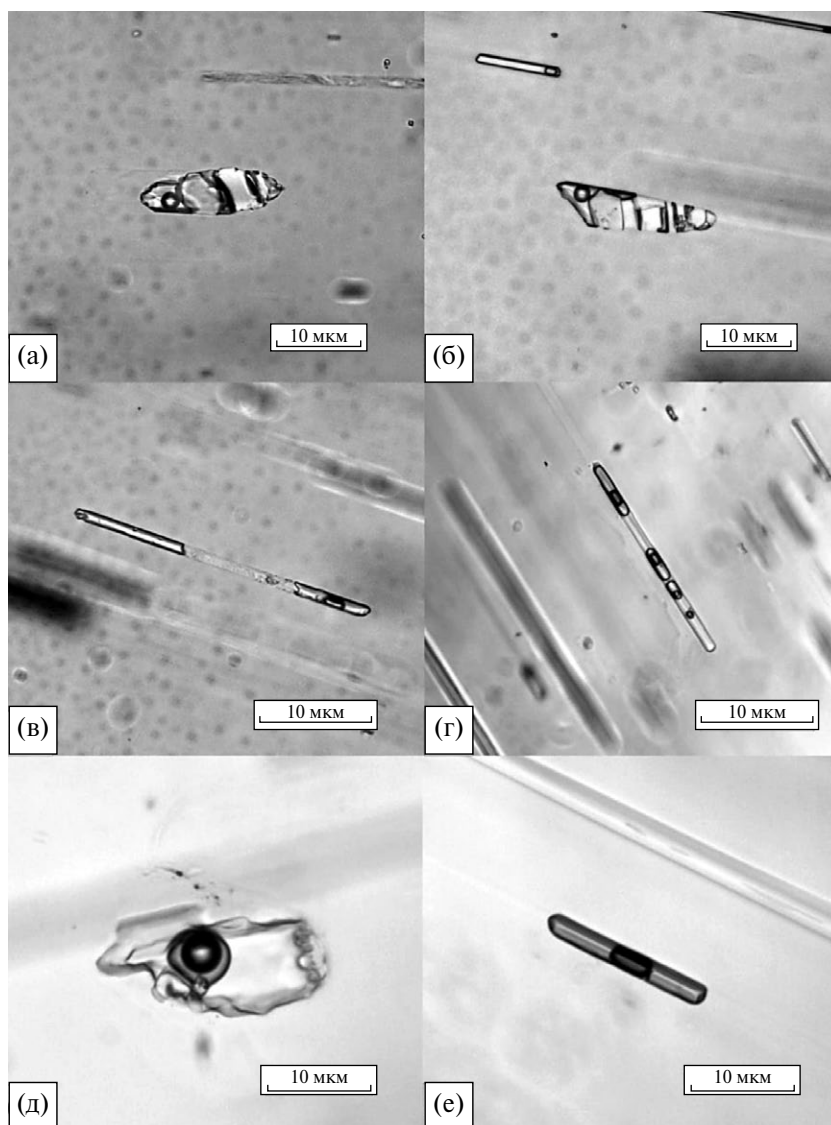
Примечания. н.п.о. — ниже предела обнаружения; не опр. — не определялся.

лития (130 г/т). Содержания  $K_2O$  существенно ниже, чем у аквамаринов слюдоносных бесплостных пегматитов и миароловых пегматитов с различной минерагенической специализацией (Загорский и др., 1999). По соотношению содержания  $Na_2O$  и суммы щелочей изученный кристалл близок к границе, разделяющей составы бериллов из сингенетических внутригранитных флюорито-хрусталеносных и топаз-берилловых пегматитов и эпигенетических субредкометалльных топаз-берилловых и турмалиноносных пегматитов (Загорский и др., 1999).

Для исследования включений аквамарина были изготовлены полированные с двух сторон пластинки толщиной 0.3–0.5 мм. При визуальном изучении под микроскопом в проходящем

свете в них было обнаружено два типа первичных включений: 1) многофазовые с флюидным обособлением, содержащие анизотропные твердые фазы, водный раствор и газовый пузырек, и 2) флюидные двухфазовые газовой-жидкие включения водно-солевых растворов (рис. 3).

При нагреве двухфазовые флюидные включения гомогенизируются в жидкость при температурах 140–189°C и содержат водно-солевой раствор с  $T$  эвтектики от –30 до –39°C. На основании этих данных можно предположить, что основными солями являются хлориды натрия, магния и железа. Определенная по температуре плавления льда концентрация солей составила 3.6–4.5 мас.%-экв. NaCl. Плотность гомогенного водного флюида составляла 0.91–0.95 г/см<sup>3</sup>.



**Рис. 3.** Многофазовые (а)–(д) и двухфазовые (е) флюидные включения в аквамарине Супруновского месторождения. На (а)–(в) показан исходный вид многофазовых включений, (г), (д) — вид включений после нагревания при 700°C в течение 3 ч и быстрой закалки. Масштаб 10 мкм.

Многофазовые включения были изучены методом спектроскопии комбинационного рассеяния с использованием спектрометра EnSpectr R532 на кафедре минералогии МГУ им. М.В. Ломоносова. Для возбуждения использовался лазер с длиной волны 532 нм. На основании данных спектроскопии комбинационного рассеяния было установлено, что твердые фазы являются микроклином, а газовая фаза содержит углекислоту.

Для изучения состава многофазовых магматических включений пластинки были нагреты до высокой температуры и закалены (в ИЭМ РАН). Для этого небольшой кусочек пластинки из аквамарина размером около 5 мм и толщиной 0.5 мм помещался в платиновую герметично закрытую ампулу диаметром 7 мм, заполненную дистиллированной водой. Ампула размещалась в автоклаве и выдерживалась в течение 3 ч при 700°C и давлении 5 кбар (коэффициент заполнения 0.7482), после чего подвергалась быстрому изобарическому охлаждению до комнатной температуры. После закалки включения первого типа содержали стекло и сингенетичное флюидное обособление, что свидетельствует о наличии водно-углекислотного флюида высокой плотности, сосуществовавшего с расплавом (рис. 3д). Одно из таких включений было выведено на поверхность и его закалочное стекло проанализировано микроаналитическими методами.

Результаты исследования состава стекла расплавного включения приведены в табл. 1, 2. Определено, что захваченный расплав имеет необычный для включений из типичных гранитов состав: для него характерно пониженное содержание  $\text{SiO}_2$ , 67.38 мас.%. Обращает на себя внимание также необычное соотношение щелочных металлов. Сумма содержаний  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  едва превышает 3.5 мас.% с преобладанием калия над натрием ( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 7.0$ ). По сравнению с миароловыми пегматитами, для которых были изучены составы наиболее поздних силикатных жидкостей, включения в берилле Супруновского месторождения содержат существенно меньше  $\text{Na}_2\text{O}$ , F и  $\text{B}_2\text{O}_3$  (Смирнов, 2015; Peretyazhko et al., 2004; Tomas et al., 2000). При этом в них значительно выше содержание CaO. Для пегматитовых расплавов характерно повышенное содержание типичных некогерентных литофильных элементов, таких как Li, Be, Cs, Ta и Nb. Стекла прогретых расплавных включений отличаются повышенным содержанием крупноионных литофильных элементов — Sr и Ba, что нетипично для расплавов гранитных пегматитов. Низкое Th/U отношение может быть кос-

венным свидетельством высокого содержания воды и повышенной степени окисленности минералообразующей среды на момент захвата исследуемого включения. При относительно низких температурах и высоком потенциале воды в окислительных условиях уран приобретает степень окисления 6+ и в таком виде становится хорошо растворимым в водных растворах. По этой причине Th/U соотношения в гидротермальных парагенезисах и осадочных породах ниже, чем в магматических (Hazen et al., 2009).

Сумма электронно-зондового анализа стекла по данным микрозондового метода составляет 90.37 мас.%, что предполагает высокое содержание воды в расплаве, которое может быть оценено около 10 мас.%. Содержание воды, оцененное по данным метода вторично-ионной масс-спектрометрии (SIMS), составило 7.9 мас.%. При довольно высоких содержаниях воды возможно ее недоопределение методом SIMS, так как при содержаниях воды более 2.5 мас.% вода находится в стекле преимущественно в молекулярной форме, а под воздействием ионного пучка, который легче ионизирует диссоциированные формы воды, возможна ее частичная потеря. При более низких концентрациях вода обычно находится в виде OH (Thinger et al., 1999). Поэтому мы считаем, что истинное содержание находится между оценкой по недостатку суммы и определением методом SIMS.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главным источником ювелирного аквамарина являются миароловые гранитные пегматиты с повышенными содержаниями Li, Be, B и F (Загорский и др., 1999). В телах этих пегматитов присутствуют минерализованные полости — миаролы, в которых и содержатся кристаллы ювелирного качества. Образование миарол связывают с гидротермальной стадией процесса пегматитообразования и считают, что рост кристаллов происходит из пневматолитовых или пневматолито-гидротермальных водных растворов. По аналогии можно было бы предположить, что образование берилла в бесполостных пегматитах Супруновского месторождения также относится к пневматолито-гидротермальной стадии минералообразования. Однако находки включений расплава или водно-силикатной жидкости, описанные в данной работе, говорят о том, что образование берилла может быть результатом кристаллизации этих сред. Приуроченность крупных кристаллов берилла к зонам, примыкающим к кварцевому ядру пегматитовой жилы, дает основание считать, что

этот процесс имел место на поздних стадиях ее становления.

Развитие крупных и гигантских кристаллов в пегматитах связывают с процессами кристаллизации или перекристаллизации в средах, обеспечивающих активное диффузионное питание растущих кристаллов. Кислые силикатные расплавы обладают высокой вязкостью, что препятствует образованию гигантских кристаллов. Однако водно-силикатные жидкости и водно-солевые расплавы, которые являются наиболее поздними продуктами эволюции водонасыщенных пегматитовых расплавов (Смирнов, 2015; Thomas et al., 2000), обладают пониженными вязкостями благодаря высокому содержанию воды и пониженному – кремнезема. Существует предположение, что водно-силикатные жидкости представляют собой высокотемпературные коллоидные системы (Smirnov et al., 2012; Томас и др., 2014). Такие среды, несмотря на значительное содержание кремнезема, способны обеспечивать достаточно высокие скорости диффузии, необходимые для роста крупных и гигантских кристаллов.

В ходе исследования состава стекла расплавленного включения нами было обнаружено пониженное содержание  $\text{SiO}_2$  и высокое содержание воды: по-видимому, расплавные включения представляют собой специфические водно-силикатные жидкости, возникающие на заключительных стадиях процессов пегматитообразования (Смирнов, 2015).

Наблюдаемое постоянное присутствие флюидного обособления во включениях второго типа указывает на то, что расплав сосуществовал с высокоплотным водным флюидом с концентрацией солей 1.2–2.7 мас. %-экв. NaCl. Его плотность при температуре гомогенизации (188–285°C) можно оценить в 0.75–0.89 г/см<sup>3</sup>. Расчет по методу В.Б. Наумова (Наумов, 1969) дает давление водного флюида 3.1–5.4 кбар при 500°C и 4.8–8.8 кбар при 700°C.

Согласно расчетам *P-T* параметров (Мазуказов и др., 2006), кристаллизация гранитных расплавов Ирельского комплекса проходила при температуре 861–926°C и давлении 1.7–3.0 кбар. Изученный нами аквамарин из пегматитового тела Супруновского месторождения, расположенного в непосредственной близости с породами Ирельского комплекса, мог формироваться на поздних стадиях внедрения гранитного тела из остаточного силикатного расплава или водно-силикатной жидкости, обогащенной водой

(>7 мас. %), литием, но обедненной фтором и бором, при температурах около 700°C и давлении около 6 кбар.

Проведенные нами исследования позволили показать на примере берилла из пегматита Супруновского месторождения, что образование этого минерала на поздних стадиях формирования пегматитовых тел может быть связано с кристаллизацией специфических по составу водно-силикатных жидкостей или расплавов, а не типичных водных растворов. Это согласуется с находками и результатами исследования расплавных и флюидных включений в бериллах редкометалльных пегматитов Муиане (Мозамбик) (Thomas, Davidson, 2010) и амазонитовых гранитов Орловского массива в Забайкалье (Thomas et al., 2009).

### Благодарности

*Авторы хотят выразить благодарность академику Л.Н. Когарко за ценные консультации и Н.В. Сорохтиной за сотрудничество.*

### Источник финансирования

*Работа частично выполнена в соответствии с программой исследования ИГМ СО РАН (№ 0330-2014-0005).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геология СССР. (1962) Иркутская область. Геологическое описание Т.17. Ч.1. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 525 с.
- Загорский В.Е., Перетяжко И.С., Шмакин Б.М. (1999) Гранитные пегматиты. Том 3. Миароловые пегматиты. Н.: Наука, 488 с.
- Киевленко Е.Я. (2001) Геология самоцветов. М.: Ассоциация Экоист, 582 с.
- Мазуказов А.М., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Станевич А.М., Диденко А.Н., Бибииков Е.В., Волозов В.Ю., Казанский А.А., Кирилова Т.И., Козаков И.К., Константинов К.М., Кочнев Б.Б., Метелкин Д.В., Ота Т., Немеров В.К., Постников А.А., Юлдашев А.А., Пономарчук В.А. (2006) Эволюция южной части Сибирского кратона в докембрии. Н.: СО РАН, 367 с.
- Наумов В.Б. (1969) Термометрическое исследование включений расплава во вкрапленниках кварца кварцевых порфиоров. *Геохимия* (4), 494–498.
- Носова А.А., Сазонова Л.В., Наркисова В.В., Симакин С.Г. (2002) Элементы-примеси в клинопироксенах из палеозойских вулканитов Тагильской островной дуги Среднего Урала. *Геохимия* (3), 254–268.
- Nosova A.A., Sazonova L.V., Narkisova V.V., Simakin S.G. (2002) Minor elements in Clinopyroxene from Paleozoic

- volcanics of the Tagil Island Arc in the Central Urals. *Geochem. Int.* **40**(3), 219–235.
- Портнягин М.В., Симакин С.Г., Соболев А.В. (2002) Фтор в примитивных магмах офиолитового комплекса Троодос (о. Кипр): методика определения и основные результаты. *Геохимия* (7), 691–699.
- Portnyagin, M.V., Simakin, S.G., and Sobolev, A.V. (2002) Fluorine in Primitive Magmas of the Troodos Ophiolite Complex, Cyprus: Analytical Methods and Main Results. *Geochem. Int.* **40**(7), 625–632.
- Смирнов С.З. (2015) Флюидный режим кристаллизации водонасыщенных гранитных и пегматитовых магм: физико-химический анализ. *Геология и геофизика* **56**(9), 1643–1663.
- Томас В.Г., Смирнов С.З., Козьменко О.А., Дребушак В.А., Каменецкий В.С. (2014) Образование и свойства водно-силикатных жидкостей в системах  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  и гранит —  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  при 600°C и 1.5 кбар. *Петрология*. **22**(3), 327–344.
- Hazen R.M., Ewing R.C., Sverjensky D.A. (2009) Evolution of uranium and thorium minerals. *Am. Mineral.* **94**(10), 1293–1311.
- Ihinger, P.D., Zhang, Y., Stolper, E.M. (1999) The speciation of dissolved water in rhyolitic melt — preliminary results. *Geochim. Cosmochim. Acta* **63**(21), 3567–3578.
- Nielsen C.H., Sigurdson H. (1981) Quantitative methods for electron microprobe analysis of sodium in natural and synthetic glasses. *Am. Mineral.* **66**, 547–552.
- Peretyazhko I.S., Zagorsky V.Y., Smirnov S.Z., Mikhailov M.Y. (2004) Conditions of pocket formation in the Oktyabrskaya tourmaline-rich gem pegmatite (the Malkhan field, Central Transbaikalia, Russia). *Chem. Geol.* **210**(2), 91–111.
- Smirnov S.Z., Thomas V.G., Kamenetsky V.S., Kozmenko O.A., Lager R.R. (2012) Hydrosilicate liquids in the system  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  with NaF, NaCl and Ta: Evaluation of their role in ore and mineral formation at high T and P. *Petrology*. **20**(3), 271–285.
- Thomas R., Davidson P. (2010) Hambergite-rich melt inclusions in morganite crystals from the Muiane pegmatite, Mozambique and some remarks on the paragenesis of hambergite. *Mineral. petrol.* **100**(3), 227–239.
- Thomas R., Davidson P., Badanina E.V. (2009) A melt and fluid inclusion assemblage in beryl from pegmatite in the Orlovka amazonite granite, East Transbaikalia, Russia: Implications for pegmatite-forming melt systems. *Mineral. petrol.* **96**(3), 129–140.
- Thomas R., Webster J.D., Heinrich W. (2000) Melt inclusions in pegmatitic quartz: complete miscibility between silicate melts and hydrous fluids at low pressure. *Contrib. Mineral. Petrol.* **139**, 394–401.

## HIGH-TEMPERATURE AQUAMARINE FROM VUGLESS GRANITE PEGMATITES OF THE SUPRUNOVSKOYE DEPOSIT IRKUTSK OBLAST, RUSSIA

© 2019 E. I. Gerasimova<sup>a,\*</sup>, V. Yu. Prokofiev<sup>b,\*\*</sup>, S. Z. Smirnov<sup>c,\*\*\*</sup>, T. N. Kovalskaya<sup>d,\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Vernadsky State Geological museum of the Russian Academy of Sciences  
Mokhovaya st., 11/11, Moscow 125009, Russia

<sup>b</sup>Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS  
Staromonetny st., 35, Moscow 119017, Russia

<sup>c</sup>Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences  
Akademika Koptuga pr., 3, Novosibirsk 630090, Russia

<sup>d</sup>D.S. Korzhinskii Institute of Experimental Mineralogy RAS  
Akademika Osip'yana st., 4, Moscow region 142432, Russia

e-mail: \*ekgera@gmail.com, \*\*vpr2004@rambler.ru, \*\*\*ssmr@igm.nsc.ru, \*\*\*\*tatiana76@iem.ac.ru

Received: 04.09.2018

Received version received: 13.09.2018

Accepted: 17.09.2018

New data on the chemical composition were obtained for the aquamarine of the Suprunovskoye deposit:  $\text{SiO}_2$  66.10;  $\text{Na}_2\text{O}$  0.51;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  17.99;  $\text{MgO}$  0.37;  $\text{K}_2\text{O}$  0.03;  $\text{CaO}$  0.02;  $\text{FeO}$  0.58;  $\text{BeO}_{\text{calc}}$  13.70 (wt%) and fluid and melt inclusions were investigated. Defined that aquamarine was formed in the late stages of granitic magmatism from a specific pegmatite silicate melt or water-silicate liquid enriched with water (>7 wt%), heavy REE ( $\text{La}/\text{Yb} = 0.48$ ), lithium, but depleted in fluorine and boron at temperatures of about 700°C and a pressure of about 6 kbar.

**Keywords:** beryl, vugless pegmatites, Suprunovskoye deposit, Irel complex, melt inclusions, granite magmatism  
**(For citation):** Gerasimova E.I., Prokofiev V.Yu., Smirnov S.Z., Kovalskaya T.N. High-Temperature Aquamarine From Vugless Granite Pegmatites of the Suprunovskoye Deposit Irkutsk Oblast, Russia. *Geokhimiya*. 2019;64(7):750–756. DOI: 10.31857/S0016-7525647750-756)