
МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ

АКВАРЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ОКРАСКИ “ПЛАГИОКЛАЗ–АМАЗОНИТА”¹© 2021 г. д. члены М. А. Иванов^{1, *}, Е. А. Васильев¹, О. Л. Галанкина²¹*Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия, 2, Санкт-Петербург, 199106 Россия*²*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,
наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, 199034 Россия***e-mail: ivan@spmi.ru*

Поступила в редакцию 07.10.2020 г.

После доработки 23.10.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

Рассмотрено положение мест локализации голубовато-зеленого олигоклаза (плагио-клаз-амазонита) в телах плагиоклазовых пегматитов Северо-Байкальской мусковитовой провинции. Представлены результаты изучения окраски этого минерала оптико-и электронно-микроскопическим, спектроскопическим (рамановским) и электронно-зондовым методами. Установлено, что цвет минерала обусловлен не изоморфным вхождением в его структуру атомов меди, как ранее предполагалось первыми исследователями этой разновидности олигоклаза, а имеет аллохроматическую природу и обусловлен эффектом отражения и просвечивания множества микровключений хризоколлы, образовавшихся при гипергенном изменении борнита, халькозина и других сульфидов меди в приповерхностных условиях химического выветривания пегматитовых тел.

Ключевые слова: плагиоклаз-амазонит, плагиоклазовые пегматиты, халькопирит, борнит, халькозин, хризоколла, акварельный эффект

DOI: 10.31857/S0869605521010056**ВВЕДЕНИЕ**

Голубовато-зеленый плагиоклаз (олигоклаз № 22–25), названный плагиоклаз-амазонитом (Руденко, Вохменцев, 1969), известен как одна из достопримечательностей Северо-Байкальской (Мамско-Чуйской) мусковитовой провинции. Он встречается в пегматитовых жилах плагиоклазового состава, относимых к первой возрастной группе промышленно ценных пегматитов провинции (Иванов, 1999), и на белом фоне таких пород довольно эффектно выделяется одиночными кристаллами и сростками в виде небольших гнезд. Некоторые его полупрозрачные изумрудно-зеленые образцы выглядят весьма привлекательно и вполне могут быть отнесены к ювелирным (рис. 1, 2).

Природа столь необычной окраски плагиоклаза была изучена его первыми исследователями (Руденко и др., 1976), отнесена к типу идиохроматических и связывалась с примесно-дефектными центрами меди, возникающими в при изоморфном вхождении атомов этого элемента в структуру минерала. Предпосылкой для такого заключения явилось пространственное совмещение ореолов зеленой окраски в кристаллах плагиоклаза с проявлениями в пегматитах и вмещающих их метаморфических породах медной сульфидной минерализации, представленной преимущественно борнитом, халькозином и ковеллином. Спектрометрические исследования минерала пока-

¹ Термин “плагиоклаз-амазонит” впервые был введен С.А. Руденко и А.Я. Вохменцевым (1969) в качестве названия голубовато-зеленой разновидности олигоклаза.

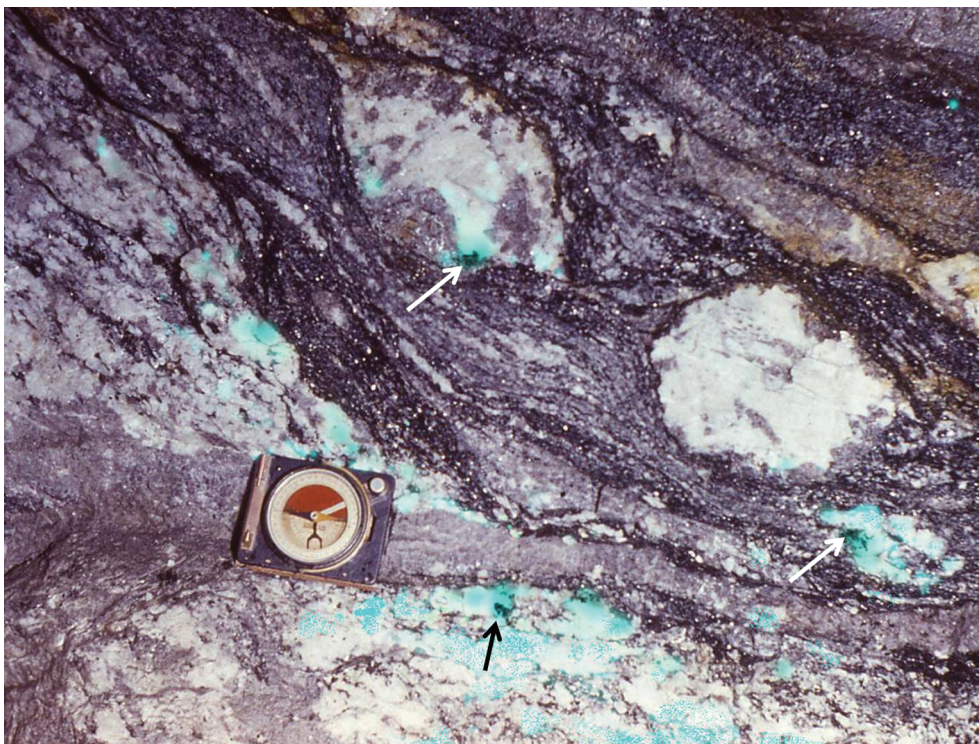


Рис. 1. Плаггиоклаз-амазонит в пегматитах на контакте с гранат-биотитовыми плаггиогнейсами (показан стрелками). Заявка № 4, голец Снежный, Луговское пегматитовое поле, Северо-Байкальская мусковитовая провинция.

Fig. 1. Plagioclase-amazonite in pegmatite near its contact with garnet-biotite gneisses (shown by arrows). Pegmatite vein "Zaiavka-4", Snezhny hill, Lugovskoye pegmatite field, North-Baikalian muscovite-bearing province.

зали наличие полос поглощения меди в спектре отражения. Наконец, микрондозовое изучение не выявило в индивидах зеленого плаггиоклаза дискретности в распределении меди и связи ее концентраций с отдельными минеральными фазами (Руденко и др., 1976). Такая же особенность в распределении изоморфной примеси, с которой связывают зеленую окраску микроклина (амазонита) – свинца, установлена более поздними исследованиями (Ostroumov, Vanerjee, 2005). Таким образом, вывод указанных авторов о природе зеленой окраски плаггиоклаза представлялся вполне логичным.

Следует отметить, что теоретически окраску плаггиоклаза можно также связывать с примесно-дефектными центрами свинца по аналогии с известными центрами этого элемента в микроклин-амазоните (Petrov et al., 1993; Santos et al., 2017) с учетом ее зависимости от упорядоченности структуры полевого шпата (Hofmeister, 2005). Но такому предположению противоречат данные о низком содержании этого химического элемента в плаггиоклаз-амазоните: 0.015–0.07% (Руденко и др., 1976).

В данной статье представлен новый фактический материал, позволяющий внести в имеющиеся представления о природе амазонитовой окраски плаггиоклаза существенные коррективы.

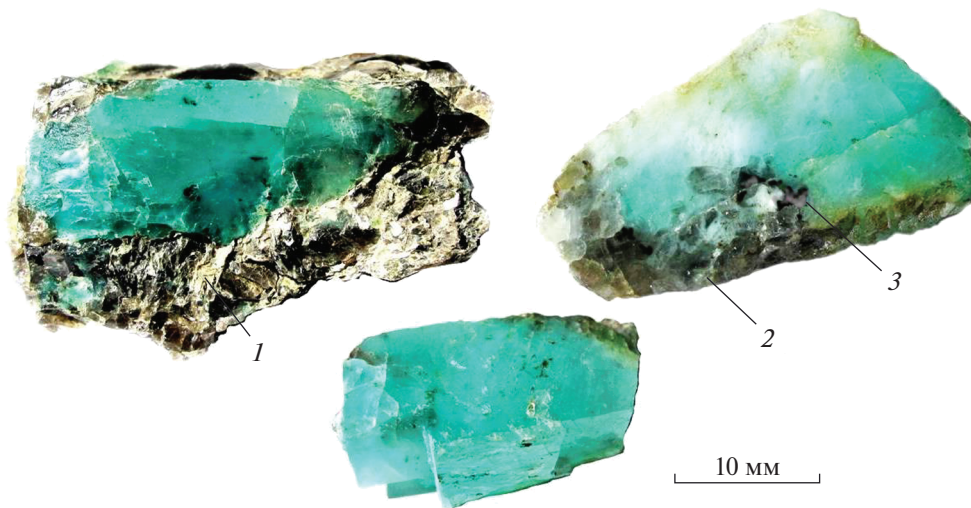


Рис. 2. Плагиоклаз-амазонит в сростании с мусковитом (1), кварцем (2) и борнитом (3). Северо-Байкальская мусковитовая провинция.

Fig. 2. Plagioclase-amazonite intergrowing with muscovite (1), quartz (2) and bornite (3). North-Baikalian muscovite-bearing province.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ПЛАГИОКЛАЗ-АМАЗОНИТОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Известно, что находки зеленого плагиоклаза отмечены в разных частях провинции на всем ее более 200-километровом протяжении от Чуйского до Витимского и Максимихинского пегматитовых полей и определяются сходными геологическими условиями его образования (Иванов, 1999; Лир и др., 2011). Это, во-первых, нахождение только в пегматитах 1-й возрастной группы мусковит-биотит-кварц-плагиоклазового состава и преимущественно согласных форм залегания диабластической и неяснографической структуры. Во-вторых, образование исключительно в пегматитовых телах, залегающих в меланократовых гранат-биотитовых гнейсах и амфиболитах, составляющих в Мамской метаморфической толще провинции горизонты так называемых меланократовых метасоматитов, которые рассматриваются некоторыми исследователями и как метабаты (ортопороды). В-третьих, гнезда плагиоклаз-амазонита сочетаются с участками проявления медной сульфидной (преимущественно борнит-халькозиновой) минерализации в плагиоклазовых пегматитах и во вмещающих гнейсах и амфиболитах. На контактах с сульфидами меди зеленым становится плагиоклаз не только пегматитов, но иногда и метаморфических пород. Такой плагиоклаз вместе с сульфидными вкраплениями распределяется в пегматитах крайне неравномерно, но его скопления тяготеют к контактам пегматитов с вмещающими породами (Руденко и др., 1975).

Вот основные известные авторам данной статьи места находок плагиоклаз-амазонита в плагиоклазовых пегматитах, вскрытых геологоразведочными и эксплуатационными горными выработками в пределах пегматитовых полей Северо-Байкальской провинции: гольцы Голый, Встречный (Чуйское поле); голец Зеленый (Кочектинское поле); гольцы Поворотный, Первый (Слюдянское поле); гольцы Медвежий, Брусничный, Снежный (Луговское поле); гольцы Валежный, Эпидотовый (Колотовское поле); голец Зеленый (Витимское поле), голец Заманчивый (Максимихинское поле).

В настоящее время наиболее доступным объектом для поисков этого минерала, по-видимому, являются отвалы карьера и верхних эксплуатационных штолен крупнейшей в провинции слюдоносной пегматитовой жилы, известной как “Заявка № 4” (Луговское пегматитовое поле), расположенной на гольце Снежном в 20 км юго-западнее пос. Колотовка. Наиболее богатыми в отношении находок этого минерала представляются пегматиты гольца Встречного (Чуйское пегматитовое поле).

В процессе геологического картирования пегматитовых полей (Иванов, 1999) выяснилось, что зеленый плагиоклаз обнаруживается только в местах, где плагиоклазовые пегматиты вскрыты горными выработками вблизи поверхности. Неизвестны случаи его обнаружения в естественных обнажениях пегматитовых тел. Замечено, что после нескольких лет нахождения на поверхности под открытым небом зеленый цвет некоторых образцов бледнеет, а иногда совсем исчезает. С глубиной по мере прослеживания пегматитовых тел в подземных горных выработках плагиоклаз-амазонит встречается все реже до полного исчезновения на самых глубоких горизонтах. Например, этот минерал обнаруживается в поисковых шурфах, в карьере и верхних эксплуатационных штольнях Заявки № 4, в то время как в отвалах самого нижнего очистного горизонта (в уклонах) этой жилы зеленый плагиоклаз не встречен.

Таким образом, данные о генетической связи плагиоклаз-амазонита с проявлениями в плагиоклазовых пегматитах низкотемпературной сульфидной медной минерализации, контролируемой горизонтами определенных пород Мамской метаморфической толщи, дополняются сведениями о возникновении этого минерала преимущественно в приповерхностной части эродированных пегматитовых тел, в зоне развития гипергенных процессов.

ОНТОГЕНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАГИОКЛАЗ-АМАЗОНИТА

Ранее изучению внутреннего строения индивидов зеленого плагиоклаза методами оптической микроскопии особого внимания не уделялось. И это понятно, так как насыщенность окраски плагиоклаз-амазонита столь низкая, что в стандартных петрографических шлифах толщиной 0.02 мм она не замечается и минерал кажется бесцветным. Но возникает вопрос: что собой представляет видимое цветовое поле этого минерала в препаратах другого типа, причем при разных условиях освещения?

На установке по огранке ювелирных камней были изготовлены полированные пластинки клиновидной формы по (001) и (010) толщиной с одного края 0.01 мм, где минерал кажется бесцветным, с другого — 1.0 мм, где он выглядит явно зеленым.

Оказалось, что в таких препаратах на границе перехода от бесцветного к явно различимо зеленому полю окраски плагиоклаз-амазонита выглядит неоднородным, дискретным и представляет собой сеть тончайших, с трудом выявляемых под оптическим микроскопом зеленых прожилков и включений в бесцветном плагиоклазе. Такие включения отчетливо видны под электронным микроскопом (рис. 4, а, б, в). Их толщина большей частью составляет около 0.001 мм, очень редко — 0.1–0.5 мм. Насыщенный зеленый цвет включений хорошо виден в условиях косого освещения, когда свет от них отражается или их просвечивает, отражаясь от находящихся ниже микротрещин. По форме и характеру распределения в объеме кристаллов плагиоклаза зеленые прожилки подобны микротрещинам, а отдельные наиболее крупные включения имеют уплощенный облик и ступенчатые контакты с плагиоклазом. В их ориентировке нет строгой закономерности, но отмечаются случаи их параллельности границам полисинтетических двойников и трещинам спайности по {001}. Сам плагиоклаз в промежутках между указанными прожилками при любой толщине исследованных пластинок бесцветен. Соотношение густоты сети указанных включений и прожилков, их толщины и характера распределения микротрещин в кристаллах плагиоклаза определяют уровень насыщенности зеленой окраски и ее оттенки.

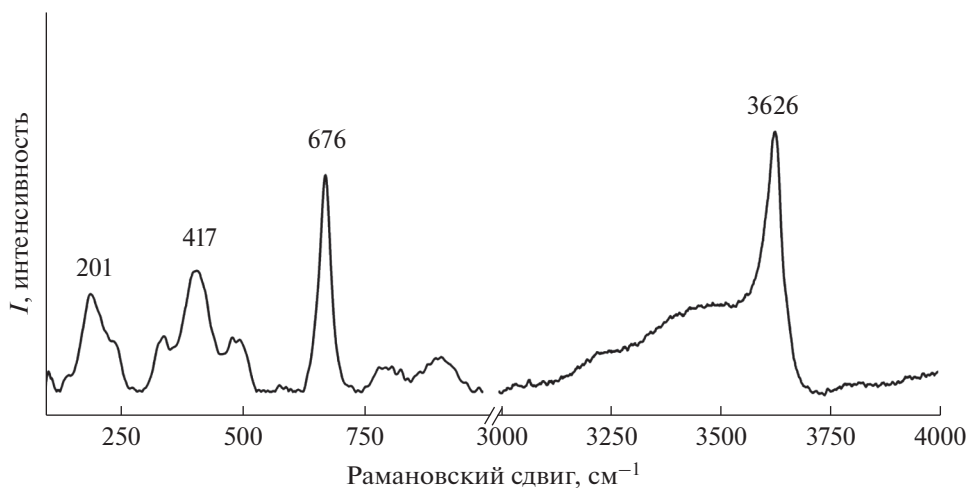


Рис. 3. Графики комбинационного рассеяния включений хризоколлы в плагиоклаз-амазоните.

Fig. 3. Plots of Raman scattering spectrum of chryzocolle in plagioclase-amazonite

Судя по тому, что данные прожилки расчлняют и пересекают индивиды полисинтетических двойников, концентрируются преимущественно на контактах с зернами сульфидов меди, они возникли не в процессе развития в пегматитах низкотемпературной медной сульфидной минерализации, а являются результатом преобразования сульфидов и плагиоклаза. Вероятно микротрещиноватость, представленная в плагиоклазе открытыми и слабо минерализованными трещинами и придающая этому минералу в основном объеме пегматитовых тел непрозрачность и белый цвет, возникла позднее сульфидов меди и послужила средой для образования ореолов зеленых микровключений на контактах с сульфидами.

СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Методом комбинационного рассеяния (КР) выяснено, что включения зеленого цвета в плагиоклаз-амазоните представлены хризоколлой (рис. 3).

Спектры КР регистрировали на спектрометре Renishaw InVia с лазерами 785 нм в диапазоне 100–3000 см^{-1} и 488 нм в диапазоне 100–4000 см^{-1} , с объективом 50/0.5 с усреднением по 10 сканированиям при времени накопления 10 с. Калибровка спектрометра проводилась по линии 520.5 нм кремниевого стандарта. Зарегистрированы несколько линий хризоколлы с максимумами 200–205, 335–340, 405–410, 675–678, 3620–3627 см^{-1} , характерные для спектра хризоколлы, согласно базе спектров RRUFF.INFO. При этом принята во внимание интерпретация колебательных спектров хризоколлы, выполненная ранее (Frost, Xi, 2013), а также сравнительный анализ спектров хризоколлы и других минералов светло-зеленой окраски, приведенный в работе известных специалистов (Coccato et al., 2016).

Химический состав этих минеральных включений, как и минералов – сульфидов меди, с которыми эти включения контактируют, определен методом ЭДС-анализа под электронным микроскопом микроанализатором JEOL-JSM-6510LA в лаборатории Института геологии и геохронологии докембрия РАН (Санкт-Петербург). Установлено, что в минеральной фазе включений содержатся компоненты, характерные для хризоколлы – медь, кремний, а их количественные показатели в приведенных анали-

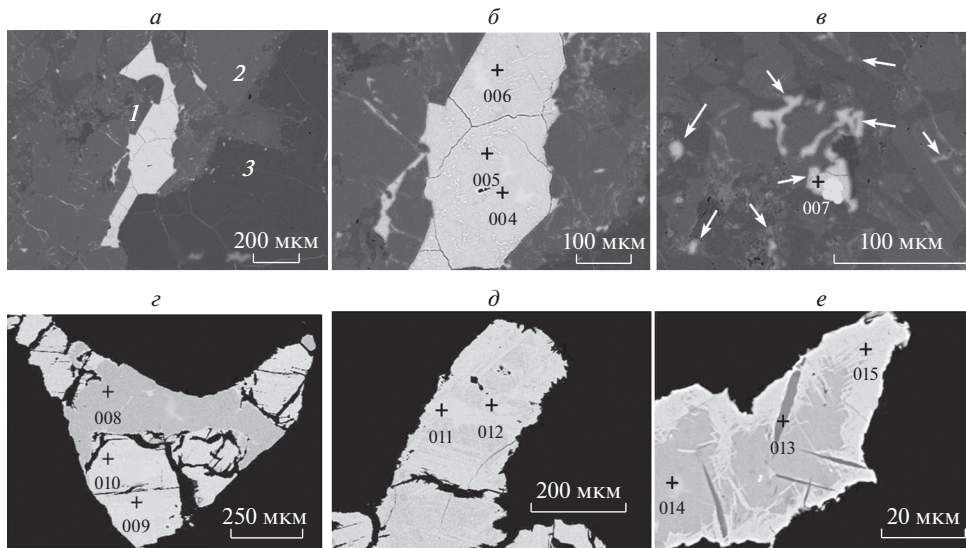


Рис. 4. Минеральные включения в плагиоклаз-амазоните под электронным микроскопом (изображения в режиме BSE) с указанием точек и номеров электронно-зондового анализа, указанных в табл. 1, 2:

a – крупное включение хризоколлы (1) в плагиоклазе (2) на контакте с кварцем (3); *б* – микротрещины в хризоколле; *в* – мельчайшие включения хризоколлы (указаны стрелками) в плагиоклазе; *г* – сросток борнита (009) и халькозина (008); *д* – пластинчатые сростания халькозина (011, 012) с борнитом; *е* – сросток халькопирита (013), борнита (014) и халькозина (015).

Fig. 4. Mineral inclusions in plagioclase-amazonite, BSE images (points and numbers of the microprobe analyses as in Tables 1, 2): *a* – large inclusion of chrysocolla (1) in plagioclase (2) at contact with quartz (3); *b* – microcracks in chrysocolla; *c* – tiniest inclusions of chrysocolla (shown by arrows) in plagioclase; *d* – intergrowth of bornite (009) and chalcocite (008); *e* – lamellar-shaped intergrowths of chalcocite (011, 012) with bornite; *e* – intergrowth of chalcocite (013), bornite (014), and chalcocite (015).

зах могут интерпретироваться с учетом количества воды, входящей в состав минерала, и не определяемой данным видом химического анализа (рис. 4, табл. 1, 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, цвет плагиоклаз-амазонита определяется не центрами изоморфного вхождения атомов меди в структуру плагиоклаза, как это представлялось ранее (Руденко, Вохменцев, 1969; Руденко и др., 1975), а микровключениями и прожилками

Таблица 1. Содержание химических элементов в минеральных включениях хризоколлы в плагиоклаз-амазоните (мас. % по данным ЭДС-анализа)

Table 1. Contents of chemical elements in inclusions of chrysocolla in plagioclase-amazonite (wt %, according to EMF-analysis)

Номер анализа	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	CuO	Сумма
004	30.33	5.3	0.33	0	0.71	41.77	78.44
005	33.08	12.08	7.62	1.03	0.55	33.4	87.76
006	34.59	4.93	0	0	0.66	43.04	83.22
007	29.83	6.88	0	0	0.69	39.06	76.46

Таблица 2. Содержание химических элементов в сульфидах меди и железа, ассоциирующих с плагиоклаз-амазонитом (мас. %, по данным микронзондового анализа)**Table 2.** Contents of chemical elements in copper and iron sulfides associating with plagioclase-amazonite (wt %, microprobe analysis data)

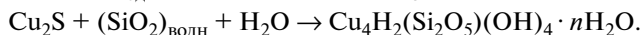
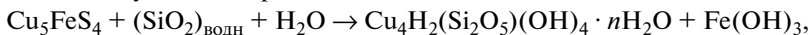
Минерал	Номер анализа	Fe	S	Cu	Сумма
Борнит	008	11.42	24.79	63.78	99.99
Халькозин	009	0	22.37	77.63	100
	010	0	20.47	79.53	100
	011	0	20.67	79.33	100
	012	5.19	23.01	71.79	99.99
Халькопирит	013	27.36	33.96	38.68	100
Борнит	014	11.19	25.47	63.34	100
Халькозин	015	0.47	20.88	78.65	100

хризоколлы. Сам по себе бесцветный плагиоклаз выглядит окрашенным из-за того, что часть проникающих в него лучей отражается от множества мельчайших включений голубовато-зеленой хризоколлы, а другая часть, отраженная от микротрещин, такие включения просвечивает. Так что по своей природе окраска плагиоклаз-амазонита является аллохроматической и образно в какой-то степени сравнима с цветовым эффектом, создающимся при насыщении белой бумаги зеленым пигментом акварельной краски, микроскопические частицы которой также отражаются и просвечиваются на белом фоне. Естественно, с той разницей, что в плагиоклаз-амазоните белый фон, необходимый для просвечивания зеленых прожилков, создается отражением падающего на минерал света от открытых микротрещин в самом плагиоклазе. В этом смысле природу окраски плагиоклаз-амазонита образно можно выразить в таком сравнении, как “акварельный эффект”.

В отношении генезиса плагиоклаз-амазонита ранее высказанные представления о его генетической связи с гидротермальным процессом низкотемпературного метасоматоза и медной сульфидной минерализации в плагиоклазовых пегматитах дополняются свидетельствами о непосредственной связи самого явления образования зеленой окраски в плагиоклазе с процессами гипергенного преобразования сульфидов меди. Очевидно, что в приповерхностных условиях при проникновении воды и кислорода в зоны сульфидной минерализации в сульфидах могли развиваться процессы окисления серы, железа, меди, происходило химическое разложение борнита, халькозина и других сульфидов с образованием в растворах сульфатов соответствующих элементов и серной кислоты. Повышение концентрации и химической активности таких растворов способствовало разложению плагиоклаза с образованием глинистых минералов и переходом в раствор части кремнезема (Morad et al., 2010).

Сочетание в поровых растворах всех этих компонентов вполне могло привести к обменным химическим реакциям. Железо, как относительно малоподвижный элемент по сравнению с медью, при этом будет оставаться в местах разложения сульфидов и связываться в виде гётита и других гидроксидов этого элемента. Медь, как более подвижный компонент, в растворах вполне могла мигрировать по микропорам в стороны от мест разложения сульфидов в пегматитах. Также медь могла мигрировать в пегматиты из вмещающих их метаморфических пород, где также развивались процессы химического разложения сульфидов. Непосредственно в плагиоклазе, являющемся источником кремнезема, медь осаждалась в виде водного силиката меди – хризоколлы.

В принципе такое образование микровключений хризоколлы в плагиоклаз-амазоните, ответственных за “акварельный эффект” его амазонитовой окраски, может быть представлено следующими вариантами химического преобразования сульфидов железа и меди водой с участием кремнезема:



Результаты проведенных исследований, как и ранее высказанные суждения об аллохроматической природе окраски зеленого микроклина (амазонита) — дискретности и “акварельном эффекте” его окраски (Иванов, 2017), вполне согласуются с представлениями А.Н. Заварицкого и его последователей о вторичной природе зеленой окраски полевых шпатов и явления их “амазонитизации” (Вохменцев и др., 1989).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Голубовато-зеленая окраска плагиоклаза (плагиоклаз-амазонита) в пегматитах Северо-Байкальской мусковитовой провинции является аллохроматической. Она обусловлена эффектом отражения и просвечивания микровключений хризоколлы, образовавшихся в результате гипергенного химического изменения плагиоклаза и сульфидов меди, проявившегося в поверхностных условиях выветривания пегматитовых тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вохменцев А.Я., Остроумов М.Н., Марин Ю.Б., Попов В.А., Таращан А.Н., Шмакин Б.М. Амазонит. М.: Недра, 1989. 192 с.
- Лир Ю.В., Никитин Д.В., Тутова А.А. Структуры пегматитовых полей // Записки Горного института. 2011. Т. 194. С. 72–78.
- Иванов М.А. Фации мусковитовых пегматитов Сибири (Северо-Байкальская и Восточно-Саянская провинции). СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1999. 117 с.
- Иванов М.А. Дискретность окраски амазонита / Мат. Юбилейного съезда Российского минералогического общества “200 лет РМО”. СПб.: ЛЕМА, 2017. Т.1. С. 214–216.
- Руденко С.А., Вохменцев А.Я. Плагиоклаз-амазонит // ДАН СССР. 1969. Т. 184. № 2. С. 422–434.
- Руденко С.А., Вохменцев А.Я., Романов В.А., Соррокин Н.Д. Условия образования и происхождение окраски плагиоклаз-амазонита / Физика минералов и проблемы типоморфизма Мат. Всесоюз. конф. 1975 г. 1976. С. 103–108.

An Aquarelle Effect in Colouring of “Plagioclase-Amazonite”

M. A. Ivanov^{a, *}, E. A. Vasilev^a, and O. L. Galankina^b

^aSaint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

^bInstitute of Geology and Geochronology of Precambrian, Saint Petersburg, Russia

*e-mail: ivan@spmi.ru

The term “plagioclase-amazonite” has been for the first time put in application by S.A. Rudenko and A.Ya. Vokhmentsev in 1969 as the name for bluish-green variety of oligoclase. The article analyses location of bluish-green oligoclase (plagioclase-amazonite) in plagioclase pegmatites of the North-Baikal muscovite-bearing province. Origin of the mineral colouring was studied by optical and electron microscopic, spectroscopic (Raman) and electron microprobe methods. It has been found that the mineral color is not determined by the non-isomorphic incorporation of copper atoms into its structure, as it was assumed previously, but has an allochromatic nature due to the effect of reflection and transmission by multiple microinclusions of chrysocolla formed while hypergenic alteration of bornite, chalcocite, and other copper sulfides in near-surface conditions of chemical weathering of pegmatite bodies.

Keywords: plagioclase-amazonite, plagioclase pegmatites, chalcopyrite, bornite, chalcosine, chrysocolla, aquarelle effect

REFERENCES

- Cocato A., Bersani A., Coudray A., Sanyova J., Moens L., Vandenaabeele P. Raman spectroscopy of green minerals and reaction products with an application in Cultural Heritage research. *J. Raman spectr.* **2016**. Vol. 47. N 12. P. 1429–1443.
- Frost R.L., Xi Y. Is chrysocolla $(\text{Cu,Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ related to spertiniite $\text{Cu}(\text{OH})_2$? — A vibrational spectroscopic study. *Vibrational Spectr.* **2013**. Vol. 64 P. 33–38.
- Hofmeister A.M., Rossman G.R. A spectroscopic study of irradiation coloring of amazonite: Structurally hydrous, Pb-bearing feldspar. *Amer. Miner.* **1985**. Vol. 70. P. 794–804.
- Ivanov M.A. Discontinuity in the amazonite coloring. Proc. 200-anniversary Russian Mineralogical Society meeting. Saint-Petersburg, **2017**. Vol. 1. P. 214–216 (in Russian).
- Ivanov M. A. Facies of the muscovite pegmatite (North-Baikal East-Sayan provinces). Saint-Petersburg, **1999**. 117 p. (in Russian).
- Lir Yu.V., Nikitin D.V., Tutakova A. Y. The pegmatite fields structures. *J. Mining Inst.* **2011**. Vol. 194. P. 72–78 (in Russian).
- Morad S., El-Ghali M.A.K., Caja M.Á. et al. Hydrothermal alteration of plagioclase in granitic rocks from Proterozoic basement of SE Sweden. *Geol. J.* **2010**. Vol. 45. N 1. P. 105–116.
- Ostroumov M., Banerjee A. Typomorphic features of amazonitic K-feldspar from the Keivy granitic pegmatite (Kola Peninsula, Russia). *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitt.* **2005**. Vol. 85. P. 89–102.
- Petrov I., Mineeva R.M., Bershov L.V., Agel A. EPR of $[\text{Pb}-\text{Pb}]^{3+}$ mixed valence pairs in amazonite-type microcline. *Amer. Miner.* **1993**. V. 78. N 5–6. P. 500–510.
- Rudenko S.A., Vokhmentsev A.J., Romanov V.A., Sorokin N.D. Formation and colouring of plagioclase-amazonite. *Proc. Conf. Physics of minerals and origin problems.* **1976**. P. 103–108 (in Russian).
- Rudenko S.A., Vokhmentsev A.J. Plagioclase-amazonite. *Dokl. USSR Acad. Sci.* **1969**. Vol. 184. P. 422–424 (in Russian).
- Santos G.L., Watanabe E.T.F., de Araújo Neto J.F. et al. Mineralogical characterization of amazonites from Serra do Pinheiro, Sertânia (Pe), Brazil. *Estudos Geológicos.* **2017**. Vol. 27. P. 95–107.
- Vokhmentsev A.J., Ostroumov M., Marin Yu.B., Popov V.A., Taraschan A.N., Schmakin B.M. Amazonite. Moscow: Nedra, **1989**. P. 151–161 (in Russian).