УДК 549.651:548

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ ОБ АМАЗОНИТЕ

В.А. Попов

Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, Россия; popov@mineralogy.ru

MORPHOLOGICAL NOTES ABOUT AMAZONITE

V.A. Popov

Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Russia; popov@mineralogy.ru

Морфологические признаки амазонита определяют некоторые модели онтогенеза полевых шпатов. Кристаллы амазонита зональны и секториальны. «Микроклиновая решётка» напряжений в калиевом полевом шпате возникает после его роста при полиморфном превращении моноклинной структуры в триклинную. «Отжиг» напряжённой структуры микроклина сопровождается появлением микропористости. Среди «пертитов» в калишпате установлены только распадовые и синтаксические. Эвтектическая кристаллизация амазонита предполагает обширный его парагенезис со многими минералами, в том числе – с галенитом.

Илл. 19. Библ. 13.

Ключевые слова: амазонит, анатомия, распад твёрдого раствора, синтаксия минералов.

Morphological features of amazonite cause some onthogenic models of K-feldspars. The crystals of amazonite are zonal and sectorial. «Microcline lattice» of stresses in K-feldspar is formed after its growth during polymorphic transformation of monoclinic to triclinic structure. The «annealing» of tense structure of microcline is accompanied by formation of microporosity. Only exsolution and syntax «perthites» are identified in K-feldspar. Eutectic crystallization of amazonite suggests its broad assemblage with many minerals, including galena.

Figures 19. References 13.

Key words: amazonite, anatomy, solid solution exsolution, syntaxy of minerals.

Введение

Онтогеническое моделирование минералообразования основано на морфологических признаках явлений в минеральных телах. В группе полевых шпатов самыми яркими и запоминающимися выглядят морфологические признаки явлений в кристаллах амазонита – роста, растворения, распада твёрдого раствора, диффузии в кристаллах, полиморфного превращения, синтаксии и эпитаксии минералов и другие. В широком смысле, амазонит - это калиевый полевой шпат (далее - калишпат) зелёного, синевато-зелёного или голубого цвета. В России амазонит впервые встречен в XVIII веке в Ильменских горах (рис. 1) на Южном Урале (Минералы.., 1949) в топазовой копи казака Прутова (ныне № 74) возле старой Чебаркульской дороги (рис. 2). К настоящему времени в Ильменских горах известно 66 копей, заложенных на жилах амазонитовых гранитных пегматитов, в которых амазонит предстал во всей красе и многообразии (рис. 3). А.Е. Ферсман (1922), размышляя о закономерностях графических срастаний кварца с полевым шпатом, пришёл к формулировке фундаментального минералогического закона - закона кристаллографической индукции, в соответствии с которым на кристаллах минералов при совместном одновременном росте обязательно возникают индукционные поверхности (рис. 4). Индукционные поверхности – единственный точный критерий синхронной кристаллизации соприкасающихся минералов. При распознавании индукционных поверхностей важно не путать их с поверхностями, унаследованными от предшествующего акта кристаллизации минералов (например, возникновения псевдоморфоз).



Puc. 1. Ильменские горы (вид с востока). *Fig. 1.* Ilmeny Mountains (westward view).

Амазониту посвящено большое число разнообразных исследований (Заварицкий, 1943; Минералы, 2003; Остроумов и др., 2008; и мн. др.), но некоторые вопросы морфологии, зональности, относительного возраста пертитов и других рассмотрены недостаточно.

Ниже в статье обсуждается ряд морфологических особенностей амазонита, уточняющих генетические модели калиевых полевых шпатов.

Кристалломорфология и анатомия амазонита

Форма кристаллов амазонита, по-видимому, ничем особенным не отличается от часто встречающихся форм кристаллов калишпата. Из литературных данных и многочисленных фотографий в Интернете вытекает, что чаще всего встречаются слабо удлинённые по оси [001] кристаллы и карлсбадские двойники, реже – изометричные кристаллы и совсем редко – слабо удлинённые по оси [100]. В друзах из пегматитовых жил амазонит обычно имеет индукционные поверхности одновременного роста с альбитом и дымчатым тригональным кварцем (рис. 5). Удлинённый по оси [001] амазонит сокристаллизовался с удлинённым по оси [0001] кварцем, а удлинённый по оси [100] амазонит рос одновременно с изометричным кварцем (рис. 6). Поскольку кварц кристаллизовался в тригональной симметрии (см. наличие ромбоэдров, трапецоэдров и тригональной дипирамиды), то можно говорить о температуре минералообразующей среды в пегматитовой камере ниже 573 ± 20 °C. По наблюдаемым соответственным формам кварца и амазонита (По-



Рис. 2. Современный вид первого месторождения амазонита в России (копь № 74, Ильменские горы).

Fig. 2. Present-day view of the first amazonite deposit in Russia (pit no. 74, Ilmeny Mountains).

пов, 2011) можно предположить щелочные условия для кристаллизации длиннопризматического (или обелисковидного) кварца, слабо щелочные – для короткопризматического и близнейтральные – для субизометричного по облику кварца (см. рис. 6).

В соответствии с законами ростовой анатомии, сфомулированными Д.П. Григорьевым (1971), все ростовые кристаллы минералов обязательно зональны и секториальны. В кристаллах калишпатов зональность и секториальность обычно визуально слабо проявлены и не контрастны. В кристаллах амазонита элементы анатомии бывают представлены весьма ярко (рис. 7), наглядно показывая физическое и химическое их различие. Анатомическое устройство кристаллов определяется их онтогенезом, обусловленным особенностями кристаллизации и последующей «жизни» – релаксации ростовых напряжений, растворением и регенерацией, распадом твёрдых растворов, «упорядочением», полиморфными переходами и прочими явлениями.

О генезисе «микроклиновой решётки» в калиевых полевых шпатах

Так называемая «микроклиновая решётка» (рис. 8) обычно интерпретируется в учебниках как полисинтетическое двойникование калишпата одновременно по двум законам – альбитовому и периклиновому. Однако морфологических доказательств такой интерпретации нет. Рассмотрим некоторые морфологические данные.

Первое, что привлекает внимание, – это вторичность появления микроклиновой решётки по



Puc. 3. Разнообразие ильменского амазонита. *Fig. 3.* A variety of the Ilmeny amazonite.



Fig. 4. Синтаксические «графические» срастания кварца с калишпатом (Ильменские горы).

Fig. 4. Syntactic «graphic» intergrowths of quartz with K-feldspar from Ilmeny Mountains.

отношению к ростовым элементам анатомии кристаллов калишпата. «Сетка замутнения» амазонита соответствует по положению «микроклиновой решётке» по $\{100\}$ и $\{010\}$ (рис. <u>9</u>). Скульптура (бугры роста) на гранях $\{001\}$ и $\{\overline{1}\ 01\}$ соответствует



Рис. 5. Парагенезис тригонального кварца с амазонитом (Колорадо, США) (https://ribalych.ru).

Fig. 5. Assemblage of trigonal quartz with amazonite (Colorado, USA) (https://ribalych.ru).

наличию плоскости симметрии (рис. 10), т.е. моноклинной сингонии. Двойниковых швов на этих гранях не видно. Следовательно, триклинность в объёме кристаллов калишпата (амазонита) появилась после роста в результате полиморфного перехода моноклинной структуры в триклинную (более плотную). «Зародыши» (домены) триклинной модификации возникли, очевидно, одновременно во всём объёме кристалла калишпата. При их разрастании возникают напряжения в атомной структуре кристалла из-за неполного совпадения параметров моноклинной и триклинной ячеек. Напряжения



Рис. 6. Ряды соответственных форм кварца и калишпата.

Fig. 6. Series of corresponding forms of quartz and K-feldspar.

отображаются на оптической картине кристаллов, которую мы видим в шлифах как «микроклиновую решётку». Между видимыми доменами нет двойниковых границ – при введённом анализаторе и вращении столика микроскопа угасание «бежит» по доменам в виде волны (см. рис. 8).

Если после образования оптически наблюдаемой микроклиновой решётки возникнут условия для «отжига» напряжённого состояния структуры, то миграция дислокаций приведёт к появлению и разрастанию микропор в кристалле. Общий объём микропор соответствует примерно 0.5 % объёма (при объёме элементарной ячейки ортоклаза 723.4 Å³, а микроклина – 719.8 Å³, по справочным дан-





ным). Поры располагаются вначале соответственно сетке максимальных напряжений, видимых визуально и в оптической картине (см. рис. 8 и 9). При полной релаксации напряжений (отжиге) весь объём кристалла содержит микропоры, кристалл становится мутным, микроклиновая решётка исчезает (см. рис. 8, нижняя часть фото). В шлифах в проходящем свете при небольших увеличениях микропористость выглядит похожей на явление «пелитизации» (развития глинистых минералов), и в петрографических работах эта ошибочная интерпретация всё ещё встречается. При максимальных увеличениях поры легко отличаются от пластинок глинистых минералов. В косом освещении множество пор придают кристаллу калишпата белизну и мутность, а в проходящем свете в шлифе выглядят тёмными буроватыми точками за счёт отражения света от поверхности раздела сред и прохождения части огибающих волн красной части спектра соответственно величине пор.

О зональности и секториальности окраски в амазоните

Морфологические данные, как и раньше, не утратили своей информативности и могут внести вклад в минералогическое моделирование взаимоотношения идиохроматической и аллохроматической окраски амазонита. Так, зональное и секториальное распределение окраски кристаллов амазонита говорит о ростовом распределении её предцентров. В анатомической картине кристаллов хорошо видны смена формы кристаллов во времени (см. рис. 7), появление и исчезновение расщеплённости граней некоторых простых форм, вростки разных минералов, указывающие на кристаллизацию амазонита в изменяющихся условиях. Эти же наблюдения позволяют предполагать, что кристаллохимические характеристики разных элементов анатомии одного и того же кристалла должны быть различны – параметры элементарной ячейки, «упорядоченность», состав ячеек, «триклинность» и т.п. (Попов, Попова, 1983).

Рис. 7. Зональные и секториальные кристаллы калишпата из Забайкалья (*a*; Орловка) и Ильменских гор (б, в).

Fig. 7. Zonal and sectorial K-feldspar crystals from Transbaikalia (*a*; *Orlovka*) and Ilmeny Mountains (δ , ϵ).



Рис. 8. «Микроклиновая решётка» в поздней зоне роста (*вверху*) калишпата. Шлиф, с анализатором.

Fig. 8. «Microcline lattice» in late growth zone (*top*) of K-feldspar. Thin section, with analyzer.

В гранитных пегматитах Ильменских гор устанавливается относительное время появления амазонитовой окраски в кристаллах калишпата: ранние выделения имеют желтовато-красноватый цвет, а в более поздних зонах роста появляется неяркий голубовато-зелёный цвет; далее к ядерной части пегматитового тела – яркая амазонитовая окраска (см. рис. 7). В Блюмовской копи (№ 50) в отвалах часто встречаются образцы, где яркие амазонитовые прожилки являются секущими по отношению к более раннему желтоватому или светло-зелёному калишпату (рис. 11). Такая позиция ярко окрашенного амазонита иногда ведёт к представлениям об амазонитизации - наложенности амазонитовой окраски на ранний бесцветный или желтоватый калишпат (Заварицкий, 1943; Остроумов и др., 2008). Предполагалось, что ранний розовато-желтоватый калишпат по секущим трещинам и в полостях диффузионно взаимодействует с поздними флюидами, несущими повышенные концентрации компонентов, вызывающих амазонитовую окраску (щёлочи, железо, свинец и др.).

Анатомические исследования кристаллов калишпата не подтвердили гипотезы амазонитизации как диффузионного процесса в кристаллическом теле (Попов, 2011). Обнаружены секториальность амазонитовой окраски в кристаллах и явления многоглавой регенерации раннего амазонита в трещинах и в полостях. Центры идиохроматической окраски амазонита являются во всех случаях ростовыми, радиационными, разрушаются при нагревании и восстанавливаются при гамма- или рентгеновском облучении, а при перегреве не вос-



Рис. 9. «Сетка замутнения» амазонита соответствует по положению «микроклиновой решётке» по $\{100\}$ и $\{010\}$.

Fig. 9. «Turbidity mesh» of amazonite corresponding to «microcline lattice» along $\{100\}$ and $\{010\}$ by position.

станавливаются. Кроме того, центры окраски разрушаются при рекристаллизации калишпата, в процессе распада твёрдого раствора и объёмной пластической деформации. Из явлений распада твёрдого раствора под микроскопом наблюдались только выделения мельчайшего гематита с образованием жёлтой или розовой аллохроматической окраски калишпата и исчезновением амазонитовой окраски в участках пластической деформации. Это явление условно можно назвать «деамазонитизацией». Возможные явления встречной твердотельной диффузии в амазоните пока отмечены только для щелочей на примере картин нейтронно-активационной радиографии (Попова, 1995; рис. 12), при этом амазонитовая окраска не исчезла.

Комбинаторика явлений зональности и секториальности окраски в кристаллах калишпата, разрушения центров окраски при деформации и



Рис. 10. Бугры роста на грани базопинакоида {001} соответствуют плоскостной симметрии.

Fig. 10. Mounds of growth on the pinacoid {001} correspond to planar symmetry.



Рис. 11. Амазонит в щелях и пустотах, секущих ранний калишпат.

Fig. 11. Amazonite in cracks and cavities in early K-feldspar.

рекристаллизации (деамазонитизации), появления сетки и «облаков» пор ведёт к сложному пятнистому распределению окраски калишпата в некоторых телах гранитных пегматитов. Это пятнистое чередование красноватых, желтоватых и голубоватозелёных тонов А.Е. Ферсман называл «ситцевой» окраской калишпата (см. рис. 11) по сходству с пёстрой хлопчатобумажной тканью (ситцем).

Об относительном возрасте ориентированных альбитовых вростков (пертитов) в калиевом полевом шпате

Возникновение ориентированных вростков альбита в калишпате сродни синтаксическим кварц-полевошпатовым срастаниям (рис. 13*a*, *б*), для которых известно 12 кристаллографических законов срастания (Бакуменко, 1966). Структуры альбита и калишпата тоже допускают при повышенных температурах несколько законов взаимной ориентировки (см. рис. 13*в*, *г*), в том числе – двойниковой. Нередко встречаются синхронные срастания трёх минералов – калишпата, альбита и кварца (рис. 14).

В конце XIX века в петрографии были известны следующие генетические типы пертитов (Розенбуш, 1934): распадовые, эвтектические, перекристаллизационные и метасоматические (пертиты замещения). С.А. Руденко (1954) выделял пертиты распадовые, сегрегационно-метасоматические, метасоматические и перекристаллизационные. Этой



Рис. 12. Нейтронно-активационная радиография пертитового амазонита горы Плоской. Видны тёмные области обеднения натрием возле альбитовых вростков. Сечение II {001}.

Fig. 12. Neutron activation radiography of amazonite from Mt. Ploskaya with visible dark Na-depleted areas near albite ingrowths. Section || {001}.

классификации следуют российские учебники по петрографии. Термин «эвтектические пертиты» не прижился, его следовало бы изначально заменить на «синтаксические пертиты». Морфологические признаки генетически различных пертитов рассмотрены недостаточно подробно, что приводит к неточности их диагностики, особенно в плоских сечениях шлифов.

Собственно распадовые пертиты в калишпатах (преимущественно криптопертиты, микропертиты) образуют пластинки, параллельные плоскости {701} (рис. 15). Эти «грани» не появляются на кристаллах калишпата в качестве ростовых. Подобно этому, распадовые пластинки гематита расположены параллельно плоскостям {021}, {112}, {150} и {410} калишпата, тоже не относящихся к ростовым граням (Попов и др., 1978). Распадовые пертиты изначально не имеют полисинтетических альбитовых двойников. Возможно, это связано с механизмом распада в калишпатовой матрице, не имеющей альбитовых двойников.

Синтаксические пертиты бывают разных форм – изометричные, пластинчатые, столбчатые (рис. 16). Их форма определяется «геометрическим отбором», т.е. соотношением относительных скоростей роста граней калишпата и альбита. В разных физико-химических условиях относительные скорости роста граней разных простых форм могут существенно меняться, что определяет различие форм пертитов. Нередко синтаксические пертиты в процессе роста ветвятся (см. рис. 162). В этом они



Puc. 13. Модели синтаксических срастаний калишпата с кварцем (a, δ) и с альбитом (e, c). *е* – вид сростка на (010) калишпата, *г* – модель сростка. *Fig. 13.* Models of syntaxy intergrowths of K-feldspar with quartz (a, δ) and albite (e, c).

 r_{12} rough of syntaxy intergrowths of K-reldspar with quartz (*a*, *b*) and able (*b*, *z*) *e* – view of intergrowth on (010) of K-feldspar, *z* – model of intergrowth.



Рис. 14. Асимметрия в сечении кварцевых ихтиоглиптов в амазоните (*a*) и модель формирования асимметричных ихтиоглиптов как влияния гравитации на зародыши альбита в процессе роста (*б*, *в*).

Fig. 14. Asymmetry in cross-section of quartz ichthyoglipts in amazonite (*a*) and a model of formation of asymmetric ichthyoglipt as effect of gravity on albite embryos during the growth process (δ , β).



Рис. 15. Пертиты распада (пластинки альбита) расположены в калишпате параллельно плоскости {701}. Шлиф, с анализатором.

Fig. 15. Exsolution perthite (albite plates) in K-feldspar parallel to plane $\{\overline{7}01\}$. Thin section, with analyzer.



Рис. 16. Синтаксические пертиты разной формы в ранних (а, б) и поздних (в, г) зонах роста амазонита из пегматита горы Плоской (Кольский п-ов).
Fig. 16. Syntaxy perthite of different forms in early (a, б) and late (в, г) growth zones of amazonite of pegmatites from Mt. Ploskaya (Kola Peninsula).



Рис. 17. Индукционные границы между вмещающим калишпатом (Kfs), синтаксическими пертитами (п) и случайным вростком клевеландита (кл). Ильменские горы.

Шлиф, с анализатором.

Fig. 17. Compromise growth surfaces between host K-feldspar (Kfs), syntaxic perthite (π) and random ingrowth of clevelandite ($\kappa\pi$). Ilmeny Mountains.

Thin section, with analyzer.

резко отличаются от пертитов распада, которые никогда не разветвляются. У пертитов распада поверхность идиоморфна, а синтаксические пертиты покрыты индукционной (компромиссной) поверхностью (рис. 17). Нередко совместно с синтаксическими пертитами наблюдаются случайные (неориентированные) вростки кристаллов или двойников альбита (см. рис. 9), также имеющие индукционные поверхности с калишпатом (рис. 18).

«Пертитов замещения» и «пертитов перекристаллизации» в общепринятом понимании терминов наблюдать нам не удалось. Конечно, многие исследователи наблюдали признаки замещения калишпата альбитом по периферии зёрен и по трещинам, но характерной «пертитовой картины» при этом явлении не возникало. Явления перекристаллизации в альбит-калишпатовых агрегатах, например, весьма часты в метаморфических породах, но при этом возникают полиэдры перекристаллизации обоих минералов без «пертитовой картины» в агрегате. По-видимому, «пертиты замещения и перекристаллизации» являются в петрографии излишними терминами, поскольку их морфологического обоснования в литературе не приведено.

Парагенезисы амазонита

В гранитных пегматитах Ильменских гор совместно и одновременно с амазонитом кристаллизовались кварц, альбит, биотит, мусковит, гранат (альмандин-спессартин), берилл, топаз, циркон, ильменорутил, монацит, фенакит, галенит, шерл, гельвин и др. (рис. 19). Особенно необычным ка-



Рис. 18. Незакономерные вростки двойников альбита с индукционными поверхностями в амазоните.

Fig. 18. Irregular intergrowths of albite twins with compromise growth surface in amazonite.



Рис. 19. Парагенезисы амазонита с турмалином (a) и с гельвином (δ) в гранитном пегматите Ильменских гор.

Fig. 19. Assemblages of amazonite with tourmaline (*a*) and helvite (δ) in granitic pegmatite from Ilmeny Mountains.

зался парагенезис амазонита с галенитом. В копях № 50 и 60 индивиды галенита оказались вростками в амазоните с явно выраженными индукционными поверхностями между минералами. Казалось бы, что это случайность или ошибка. Но позднее на горе Плоской в Хибинах в амазоните тоже обнаружены вростки синхронного галенита величиной до 1 см. Эти примеры подтверждают наличие в некоторых случаях достаточных концентраций свинца и серы в среде кристаллизации амазонита, циркона, монацита и других синхронных минералов. Возможно, этим объясняется наличие свинецсодержащих предцентров зелёной окраски в амазоните.

Заключение

Морфологические признаки явлений кристаллизации, полиморфных переходов, распада твёрдого раствора, двойникования, формирования и разрушения центров окраски выражены в амазоните более ярко и наглядно, чем в калишпате обычной окраски. Это позволяет строить более корректные модели онтогенеза амазонита. Скульптура на гранях пояса [010] кристаллов амазонита соответствует плоскостной симметрии, и, следовательно, кристаллы росли в моноклинной сингонии. В дальнейшей истории в связи с понижением температуры произошёл полиморфный переход моноклинной структуры в более плотную триклинную с образованием напряжённой «микроклиновой решётки». При релаксации напряжений («отжиге») мигрирующие дислокации объединяются и образуют поры вследствие усадки структуры. Системы пор образуют сетку замутнения в кристаллах калишпата, которая оптически при малых увеличениях походит на явление «пелитизации».

Калишпат образует синтаксические сростки с альбитом и кварцем в температурном интервале приблизительно 550–650 °С (около точки полиморфного перехода гексагонального кварца в тригональный при понижении температуры). В синтаксических пертитах количественные соотношения альбита и микроклина могут быть любыми независимо от Р-Т-условий кристаллизации. Распадовые пертиты, по-видимому, могут быть использованы при разработке геотермометра. Соответственные формы кварца и амазонита позволяют предполагать нейтральные и щелочные условия среды их кристаллизации.

Амазонитовая окраска является радиационной и связана с «ажурными» ростовыми сложными предцентрами окраски, которые разрушаются при перегреве или сильной пластической деформации и рекристаллизации. Морфологических признаков диффузионного наложения амазонитовой окраски (амазонитизации) в калишпатах нами не обнаружено.

Литература

Бакуменко И.Т. (1966) Закономерные кварцполевошпатовые срастания в пегматитах и их генезис. М., Наука, 172 с.

Григорьев Д.**П.** (1971) О законах анатомии кристаллов. *Кристаллография*, **16**(6), 1226–1229.

Заварицкий А.Н. (1943) Об амазоните. Записки ВМО, 72(1), 29–38.

Минералы Ильменского заповедника (1949). М.– Л., Издательство АН СССР, 659 с.

Минералы. Справочник. Каркасные силикаты. Т. 5, вып. 1 (2003). М., Наука, 583 с. (Амазонит, с. 241–247).

Остроумов М.Н., Платонов А.Н., Попов В.А. (2008) Амазонский камень: минералогия, кристаллохимия, типоморфизм. СПб., Политехника, 255 с. **Попов В.А.** (2011) Практическая генетическая минералогия. Екатеринбург, УрО РАН, 167 с.

Попов В.А., Попова В.И. (1983) Секториальность амазонита – новое доказательство первичности распределения предцентров его окраски. Докл. АН СССР, **268**(2), 417–419.

Попов В.А., Поляков В.О., Брагин Н.П., Леванов А.А. (1978) Солнечный камень из северной части Ильменских гор. Исследования по минералогии и геохимии Урала. Свердловск, УНЦ АН СССР, 60–65.

Попова В.И. (1995) Нейтронно-активационная радиография минералов. Миасс, ИМин УрО РАН, 188 с.

Розенбуш Г. (1934) Описательная петрография. Л.–М.–Грозный–Новосибирск, Горгеонефтеиздат, 720 с.

Руденко С.А. (1954) Морфолого-генетическая классификация пертитовых срастаний. *Записки ВМО*, **83**(1), 23–36.

Ферсман А.Е. (1922) Элементы разграничения двух одновременно кристаллизующихся веществ. Докл. *АН СССР*, серия А, декабрь–январь, 7–8.

References

Bakumenko I.T. (1966) [Natural quartz-feldspar intergrowths in pegmatites and their genesis]. Moscow, Nauka, 172 p. (in Russian)

Grigoryev D.P. (1971) [Laws of crystal anathomy]. *Kristallografiya* [*Crystallography*], **16**(6), 1226–1229. (in Russian)

Fersman A.E. (1922) [Elements of division of two simultaneously crystallizing substances]. *Doklady AN SSSR, seriya A [Doklady AS USSR, series A, December–January],* 7–8. (in Russian)

[Minerals of the Ilmeny Reserve] (1949). Moscow– Leningrad, Academy of Sciences USSR, 659 p. (in Russian)

[Minerals. Handbook. Tectosilicates]. Vol. 5, issue 1 (2003). Moscw, Nauka, 583 p. (Amazonite: 241–247). (in Russian)

Ostroumov M.N., Platonov A.N., Popov V.A. (2008) [Amazon stone: mineralogy, crystal chemistry, typomorphism]. St-Petersburg, Polytechnic, 255 p. (in Russian)

Popov V.A. (2011) [Practical genetic mineralogy]. Yekaterinburg, UB RAS, 167 p.

Popov V.A., Polyakov V.O., Bragin N.P. Levanov A.A. (1978) [Solar stone from the northern part of the Ilmeny Mountains]. *Issledovaniya po mineralogii i geokhimii Urala [Studies of Mineralogy and Geochemistry of the Urals]*. Sverdlovsk, UNC AN SSSR, 60–65. (in Russian)

Popov V.A., Popova V.I. (1983) [Sectoriality of amazonite – a new evidence of primary distribution of precentral colour]. *Doklady AN SSSR [Doklady Academy of Sciences USSR]*, **268**(2), 417–419. (in Russian)

Popova V.I. (1995) [Neutron activation radiography of minerals]. Miass, IMin UB RAS, 188 p. (in Russian)

Rozenbush G. (1934) [Descriptive petrography]. Leningrad-Moscow-Groznyi-Novosibirsk, Gorgeonefteisdate, 720 p. (in Russian)

Rudenko S.A. (1954) [Morphological and genetic classification of perthite intergrowths]. Zapiski VMO [Proceedings of Russian Mineraiogical Society], 83(1), 23–36. (in Russian)

Zavaritsky A.N. (1943) [On amazonite]. *Zapiski VMO* [*Proceedings of Russian Mineraiogical Society*], **72**(1), 29– 38. (in Russian)

Поступила в редакцию 15 февраля 2018 г.