

УДК 553.07(470.5)

**КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ
МЕТАМОРФОГЕННОГО ГЕНЕЗИСА
УФАЛЕЙСКОГО ГНЕЙСО-АМФИБОЛИТОВОГО
КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Савичев А. Н.

Уфалейский метаморфический комплекс на восточной окраине Восточно-Европейской платформы претерпел карельскую и гренвильскую эпохи складчатости, сопровождающиеся ареальным региональным метаморфизмом гранулитовой – амфиболитовой фации. Эти эпохи формирования геологических структур Урала сопровождались образованием кварцевых прожилков метаморфической дифференциации и жил слюдяногорского типа. Основным процессом образования кварца этих тел является перекристаллизация.

Ключевые слова: кварц; слюдяногорский кварц; метаморфическая дифференциация; Уфалейский комплекс; Урал; перекристаллизация.

В последнее время появилось большое количество статей и диссертаций, рассматривающих жильный кварц Кыштымского месторождения как однотипный, гранулированный, как-то упуская из виду, что на кыштымском месторождении несколько генетических типов жильного кварца, большую часть из которых нельзя называть гранулированным.

Детальные исследования [1, 2] подтвердили наличие разномасштабных разновидностей кварца и позволили найти этому онтогенетические и генетические объяснения. Нами выделены кварцево-жильные образования кварца следующих типов: 1) метаморфической дифференциации; 2) слюдяногорского; 3) уфалейского; 4) кыштымского; 5) егустинского, каждый из которых имеет свой собственный генетический процесс (способ) образования.

Уфалейский метаморфический комплекс на восточной окраине Восточно-Европейской платформы претерпел карельскую и гренвильскую эпохи складчатости, сопровождающиеся ареальным региональным метаморфизмом гранулитовой – амфиболитовой фации, реликты которого сохраняются в амфиболитах и плагиогнейсах уфалейской свиты [1]. Этапы метаморфизма сопровождались процессами ультраметаморфизма с появлением палингенно-метасоматических протяжён-

ных тел гиганто-мигматитов. В плагиогнейсах наблюдается образование кварцевых прожилков метаморфической дифференциации, сложенных мелкозернистым гранобластовым кварцем и кварцевыми жилами перекристаллизации слюдяногорского типа.

Кварцевые прожилки метаморфической дифференциации. Для пород гнейсово-мигматитового блока, претерпевших метаморфизм в условиях гранулитовой – амфиболитовой фаций (рис. 1), характерна метаморфическая полосчатость, контрастно подчеркнутая кварц-полевошпатовыми и кварцевыми прожилками метаморфической дифференциации (рис. 2).

Характерным текстурным признаком пород метаморфического комплекса является кристаллизационная сланцеватость – тонкая делимость породы, обусловленная высоким литостатическим давлением, высокой пластичностью пород и дифференциальными перемещениями отдельных пластин относительно друг друга. При этом в условиях высокого литостатического напряжения давление между пластинами в плоскостях кристаллизационной сланцеватости оказалось резко сниженным. Таким образом, дифференциальные послонные перемещения при пластических деформациях неизбежно сопровождаются появлением узколокализованных высоких

градиентов давления. Согласно принципу Э. Рикке, разница в давлении на твёрдые фазы вызывает химическую миграцию вещества из

участков с повышенным давлением к участкам с пониженным давлением. Перемещение компонентов происходит путём диффузии че-



Рис. 1. Бiotит-амфиболовый гнейс с крупными кристаллами граната. Карьер по отработке жилы 170, Кыштымское месторождение кварца. Размер образца – 1/2 натуральной величины

рез поровые растворы, а скорость перемещения при прочих равных условиях зависит от величины градиента давления, а также рас-

творимости минералов и их устойчивости, поэтому переотложению подвергаются минералы с наибольшей растворимостью. Так как

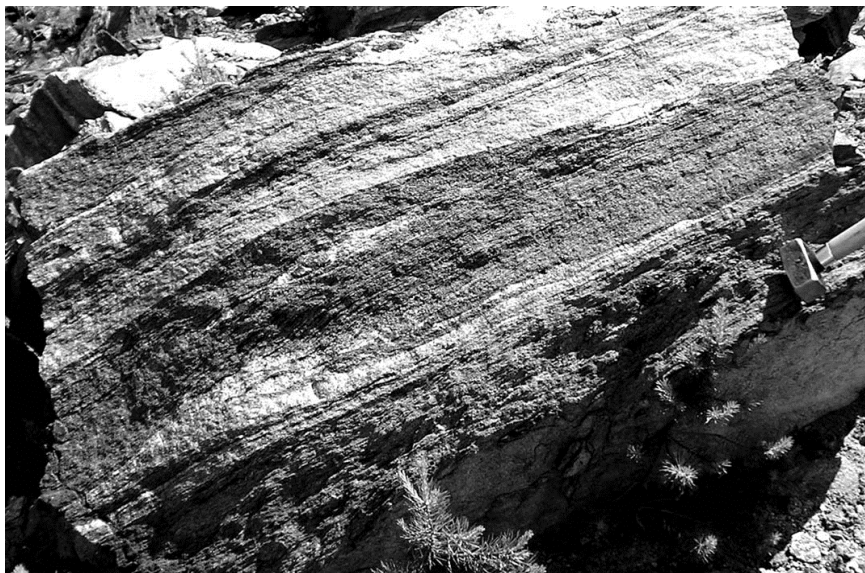


Рис. 2. Прожилки метаморфической дифференциации, смятые в изоклинальные складки во время ранней коллизии. Карьер по отработке жилы 170, Кыштымское месторождение кварца

растворимость кремнезёма по сравнению с другими компонентами значительно выше [3, 4], то в кристаллических сланцах и гнейсо-

сланцах метаморфического комплекса широким развитием пользуются сегрегационные прожилки кварца.

Метаморфическая дифференциация в гнейсо-сланцах выразилась в отделении мусковита и темноцветных минералов, представленных биотитом, гранатом и ставролитом, в обособленные тонкие прослойки, а кварца с полевым шпатом – в свои плоскости. Подобное разделение минералов порой достигает значительных масштабов и приводит к образованию грубополосчатой текстуры. Значительно реже сегрегация материала приводит к образованию маломощных непротяжённых прожилков (рис. 2). Их мощность никогда не превышает 0,1 м, а длина по простиранию и по падению – 0,5–1,0 м. Такие прожилки залегают согласно со сланцеватостью и участвуют в микроскладчатости.

В отдельных зонах сегрегационные прожилки несут следы интенсивной деформации в виде будинажа и дробления. Прожилки сложены мелкозернистым кварцем гранобластовой структуры, размеры зёрен которого редко в 2–3 раза превышают размеры кварца, слагающего сланцы.

В шовных зонах прожилки метаморфической дифференциации подвергаются деформации при тектонических воздействиях на метаморфические породы во время ранней коллизии и сминаются в изоклиальные складки. Такие кварцевые прожилки сложены прозрачным, грануломорфным, мелкозернистым высокотемпературным кварцем (рис. 3) (170/8).

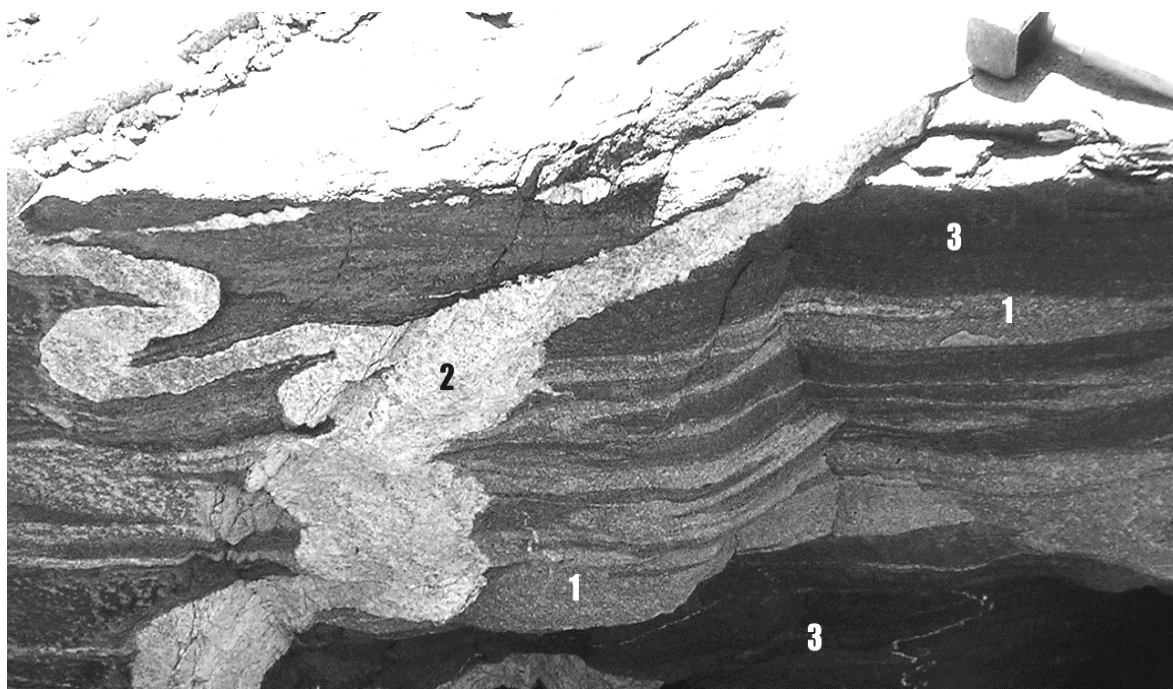


Рис. 3. Кварцевые прожилки метаморфической дифференциации (1), смятые в изоклиальные складки в биотит-амфиболовых гнейсах (3), секутся дайкой плагиогранита (2). Карьер по отработке жилы № 175, Кыштымское месторождение кварца

Раннеколлизийные дайки плагиогранитов Нижнеуфалейского комплекса секут прожилки метаморфической дифференциации и, в свою очередь, сминаются в изоклиальные складки во время поздней коллизии (рис. 3).

Процессом, приведшим к формированию кварцевых прожилков метаморфической дифференциации, является перекристаллизация первично полосчатых осадочных горных пород, послойно обогащённых кварцем

и глинистым минералом, и метаморфическая дифференциация относительно однородных глинисто-кварцевых пелитов.

Зоны кварцевых прожилков метаморфической дифференциации являются благоприятными участками для образования жиловмещающих трещин и развития более поздних процессов гидротермальных переработок вмещающих пород.

«Метаморфическая перекристаллизация

агрегатов представляет собой процесс преобразования одной минеральной ассоциации в другую, устойчивую в изменившихся условиях внешней среды» [5]. Авторы под метаморфической дифференциацией понимают процессы перемещения вещества внутри метаморфизируемых горных пород на незначительные расстояния и приводящие к образованию минеральных ассоциаций, не связанных с процессами метасоматоза.

Кварцево-жильные тела слюдяногорского типа. В нижнепротерозойских амфиболитово-гнейсовых блоках (Тараташский, Александровский, Уфалейский) вновь проявился региональный метаморфизм амфиболитовой фации в условиях высокого давления с образованием толщ кианитсодержащих гнейсов, который сопровождался изоклинальной складчатостью, смятием и будинажем ранее образованных гиганто-мигматитов, анортоклазовых гранитоидов. Возраст по анортоклазу, биотиту – 1100–1215 млн лет [6]; по цирконам из гнейсов – 990–1180 млн лет [7], иттроэпидот имеет возраст 1100–1200 млн лет [8].

Слюдяногорский тип жильного кварца являются результатом собирательной перекристаллизации с укрупнением зёрен ранних прожилков метаморфической дифференциации. Эти тела располагаются в долгоживущей шовной зоне (Слюдяногорская шовная зона), заложённой в рифее в результате процессов рифтогенеза (гренвильская эпоха складчатости), сопровождавшейся приразломным высокотемпературным метаморфизмом.

В силу геодинамической обстановки кварцевые прожилки метаморфической дифференциации и мелкие кварцевые жилы перекристаллизации, приуроченные к гнейсо-мигматитовому блоку, претерпели не менее трёх этапов перекристаллизации с укрупнением зёрен, что привело к формированию кварцевых жил перекристаллизации мощностью до 0,5–1,0 м. Поскольку жилы перекристаллизации приурочены к шовным зонам, то формируются зоны, насыщенные большим количеством кварцевых жил перекристаллизации, которые представляют промышлен-

ный интерес.

Тщательное полевое обследование кварцево-жильных образований Кыштымского месторождения показало, что при благоприятных геологических условиях могут образовываться кварцевые тела перекристаллизации крупных размеров. Слагающий этот тип жильный кварц очень похож на среднекрупнозернистый гранулированный кварц «кыштымского» типа, в связи с чем исследователями Уфалейского рудного поля в самостоятельный тип этот кварц не выделялся и относился к кварцу «кыштымского» типа.

Генотипом кварцевых жил, сложенных зернистым кварцем, сформировавшимся в результате перекристаллизации с укрупнением зёрен прожилков метаморфической дифференциации в результате процессов рифтогенеза (гренвильская эпоха складчатости) и испытавших дополнительные преобразования в стадии ранней и поздней коллизий, является кварцевая жила № 170. Кварцевая жила № 170 – это фактически жильная зона, размеры которой по простиранию 85 м, по падению 50 м при мощности до 6,5 м. Жильная зона, сложенная субпараллельными и кулисообразными небольшими кварцевыми телами, разделена большим количеством реликтов биотит-амфиболовых гнейсов (рис. 4). Размеры кварцевых тел колебались по мощности от 5 см до 1 м. По простиранию кварцевые тела располагались кулисообразно.

Кварц прозрачный, от светлого до дымчатого цвета, равномернозернистый, величина зёрен до 8–10 мм. В основной массе кварц гранобластовой структуры (рис. 5), которая характерна для кварцевых тел перекристаллизации.

Вмещающими породами являются амфиболовые и биотитовые гнейсы. Контакты кварцевых тел с вмещающими породами четкие, иногда резкие, но чаще с апофизами тонких ксенолитов гнейсов в кварце.

Кварцевые тела жильной зоны № 170 претерпели несколько этапов преобразований.

Для многих кварцевых прожилков характерно наличие в зальбанде маломощных и не выдержанных по простиранию альбититовых оторочек. Нередко альбититы размеще-

ны между кварцевыми будинами. Контакты между кварцевыми телами и гнейсами нечёткие, рапльчатые, заливообразные. В участ-

ках кварцевых жил, содержащих альбититы, жильный кварц становится светлодымчатым. Тонкие прожилки кварца и альбититов смяты

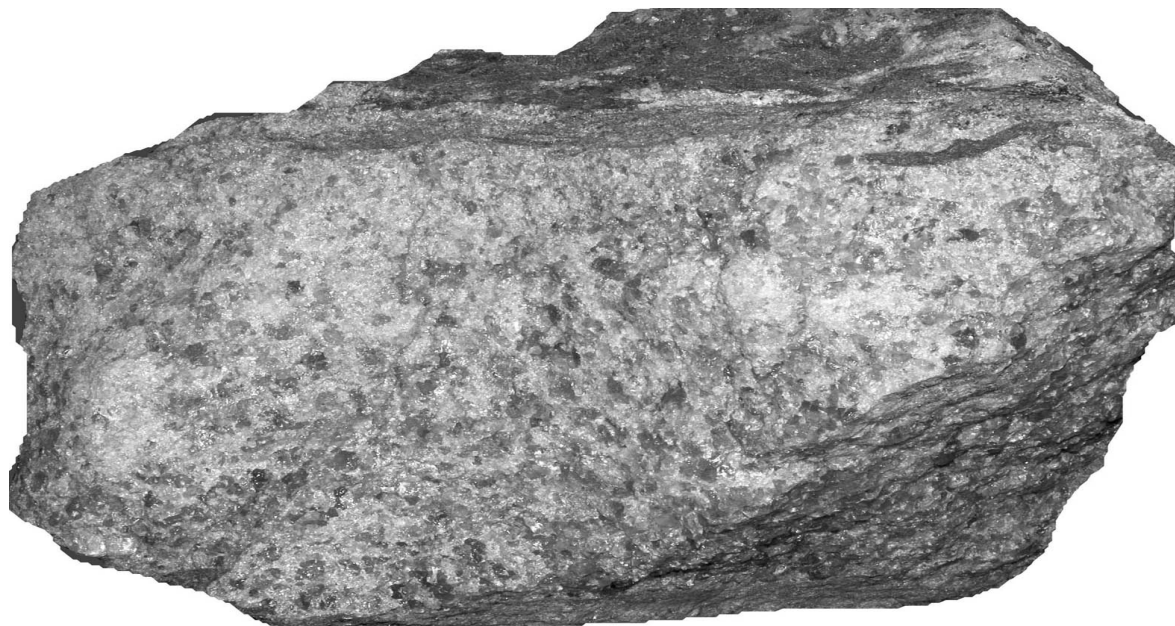


Рис. 4. Кварцевая жила перекристаллизации. Реликты первичного тонкозернистого, грануломорфного кварца (светло-серые реликты) в средне-крупнозернистом, новообразованном, гранулированном агрегате. Жила 170 (сландяногорский тип). Карьер по отработке жилы 170, Кыштымское месторождение кварца (размер глыбы 80 см)

в изоклинальные складки, а по зальбандам мощных кварцевых тел происходил тектонический срыв. При этом кварцевые тела не приобретали форму складок. Альбитизация

развитие биотитовые и амфиболовые образования типа «нельсонитов» с крупными кри-

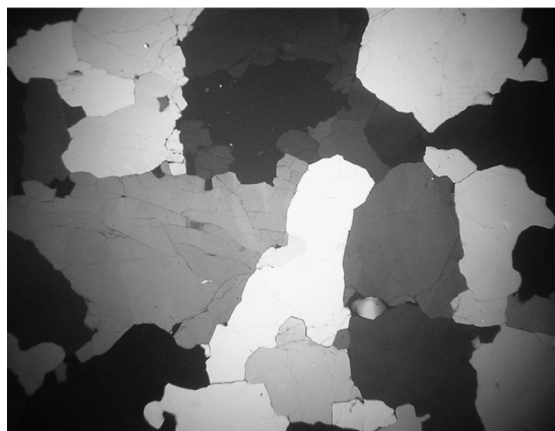


Рис. 5. Грануломорфный кварц перекристаллизации ранних жил. Кыштымское месторождение, жила 170, шлиф У-28/2, увел. 24х, с анализатором



Рис. 6. Кварцевый прожилок, представленный дымчатым крупнозернистым кварцем слюдяногорского типа с наложенной альбититовой минерализацией. Вмещающие породы и тонкий кварцевый прожилок метаморфической дифференциации рассланцованы и смяты в мелкие складки. Карьер по отработке жилы 170, Кыштымское месторождение кварца. Натуральная величина

кварцевых тел слюдяногорского типа (рис. 6) протекала, по нашим представлениям, в поздне-рифейское время.

В кадомский тектономагматический этап в зальбандах жил и в самом кварце получили

сталлами доломитов и ильменорутила. Жильный кварц заметных изменений не претерпел.

В этап ранней коллизии на кварцевые тела слюдяногорского типа наложился про-

цессы мусковитизации и рудообразования. Это привело к развитию по трещинам, параллельным и секущим жилы средне- и крупночешуйчатого мусковита, а в зальбандах с биотитовой оторочкой и в самом кварце – наложение рудной минерализации, представленной пиритом и халькопиритом.

В этап поздней коллизии в кварцевых телах слюдяногорского типа наблюдается развитие тонких трещин, залеченных тонкозернистым кварцем.

Основным процессом, приводящим к образованию кварцевых жил слюдяногорского типа, является перекристаллизация [9, 10] по принципу Рикке и принципу Кюри. В природе метаморфические преобразования всегда происходят на фоне движущихся флюидов, поскольку метаморфизм обязательно предполагает возникновение градиентов температур, давления, химических потенциалов компонентов. В зависимости от достижения энергии активации перекристаллизации в полифазных (полиминеральных) агрегатах могут встречаться разные случаи перекристаллизации: либо захватываются процессом все минералы агрегата, либо часть минералов (фаз). Соответственно, можно говорить о полностью перекристаллизованном агрегате или частично перекристаллизованном. При полной перекристаллизации все минералы должны быть с кристаллографическими полиэдрами, идиоморфных индивидов нет. Идиобластическое развитие минералов наблюдается почти исключительно в биминеральных или полиминеральных породах. В мономинеральных породах, как правило, отсутствуют идиобласты. Для них типичной является гранобластовая структура с изометрическим развитием в общем ксенобластических зёрен. Эта особенность объясняется одинаковыми условиями кристаллизации всех зёрен мономинеральной породы [11].

Равные условия роста в таких породах определяются тем обстоятельством, что все кристаллы принадлежат одному минералу, имеющему, естественно, одинаковый состав и физические свойства. Поэтому кристаллизация происходит одновременно, и ни один

из кристаллов не имеет каких-либо преимуществ перед другими. В этом случае возможно только образование ориентированных структур, когда в породе по тектоническим причинам создаётся анизотропия, и в связи с этим происходит неравный рост кристаллов в различных направлениях [9].

«К перекристаллизации целесообразно относить изменение формы и величины кристаллов, всесторонне соприкасающихся с другими кристаллами, без привноса-выноса вещества из растворяемого объёма и без изменения минерального состава системы» [12]. Весьма существенно, что все индивиды (кристаллы) при перекристаллизации стремятся к изометричной форме. Изометризованные индивиды представляют собой полиэдры, ограниченные поверхностями, в общем случае не совпадающие с кристаллографическими формами. «Полиэдры перекристаллизации всегда изометричны, независимо от типа структуры минерала» [11, 12]. В результате собирательной перекристаллизации образуется гранобластовый кварц слюдяногорского типа.

Мировой опыт изучения природных перекристаллизованных агрегатов позволяет ввести одно существенное ограничение. Речь идёт о максимальной величине индивидов в перекристаллизованных агрегатах. Если принять, что некоторые метаморфические породы возникли путём перекристаллизации, и времени для их образования было достаточно много (при достижении энергии активации перекристаллизации), то существует некоторый постоянно наблюдающийся предел в величине гранул (полиэдров). Этот предел диаметра гранул приблизительно равен 10 мм [11]. Наблюдения подтверждают и при изучении кварцевых прожилков метаморфогенного генезиса.

В заключение подчеркнем, что в силу геодинамических обстановок кварцевые прожилки метаморфической дифференциации и кварцевые жилы перекристаллизации слюдяногорского типа, которые являются докембрийскими образованиями, генетически приурочены к шовным зонам, где формируются

зоны, насыщенные большим количеством кварцевых жил перекристаллизации, представляющие промышленный интерес. При благоприятных геологических условиях могут образовываться кварцевые тела перекристаллизации крупных размеров. Подобные

шовные зоны являются благоприятной средой для наложения разнообразной минерализации в последующие геологические этапы развития Урала, а именно: альбитизации, карбонатизации трех стадий, мусковитизации, сульфидной минерализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Огородников В. Н., Сазонов В. Н., Поленов Ю. А. Минералогия шовных зон Урала. Ч. 3. Уфалейский гнейсово-амфиболитовый комплекс (Южный Урал). Екатеринбург: Изд. ИГГ УрО РАН-УГГУ, 2007. 187 с.
2. Поленов Ю. А. Эндогенные кварцево-жильные образования Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 269 с.
3. Хитаров Н. И. Экспериментальная характеристика устойчивости кварца и кремнезема в гидротермальных условиях. М.: АН СССР, 1952. 124 с.
4. Хитаров Н. И. О некоторых гидротермальных экспериментах // Вопросы петрологии и минералогии. М.: АН СССР, 1953. С. 3–25.
5. Руденко С. А. Процессы перекристаллизации и их место в лито- и рудогенезе // Проблемы лито- и рудогенеза. Зап. ЛГИ, 1985. Т. 104. С. 9–19.
6. Овчинников Л. Н. Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. 1963. Т. 1. С. 57–83.
7. Краснобаев А. А. Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 156 с.
8. Минеев Д. А. Редкоземельный эпидот из пегматитов Среднего Урала // ДАН СССР. 1959. Т. 127. № 4. С. 865–868.
9. Судовиков Н. Г. Региональный метаморфизм и некоторые проблемы петрологии. Л.: ЛГУ, 1964. 234 с.
10. Григорьев Д. П., Жабин А. Г. Онтогенез минералов. Индивиды. М.: Наука, 1975. 339 с.
11. Попов В. А. Практическая кристалломорфология минералов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 64 с.
12. Попов В. А. Практическая генетическая минералогия. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 167 с.

Поступила в редакцию 7 мая 2015 г.

Поленов Юрий Алексеевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.
E-mail: fgg.gl@ursmu.ru

Огородников Виталий Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.
E-mail: fgg.gl@ursmu.ru

Савичев Александр Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.
E-mail: fgg.gl@ursmu.ru