

МИНЕРАЛОГИЯ МИАРОЛ В ПЕГМАТИТАХ МАЛХАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТУРМАЛИНА В ЗАБАЙКАЛЬЕ: ПОЛЕВЫЕ ШПАТЫ ЖИЛЫ СОСЕДКА

В.Е. Загорский

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия

Детально изучены состав и структурное состояние щелочных полевых шпатов из миарол пегматитовой жилы Соседка, являющейся крупным источником самоцветов в пределах Малханского месторождения турмалина. Жила имеет концентрически-зональное строение. По минеральному составу выделено три типа миарол: А — кварц-лепидолит-Мп-Ли-Аl-турмалиновые (\pm поллуцит, гамбергит, борокукеит, боромусковит, данбурит, светло-розовый берилл); Б — кварц-адуляр-аксинитовые (\pm ломонтит); В — кварцевые и ломонтитовые (\pm борсодержащий кукеит). Каждому типу миарол присущи свои специфические особенности состава и структурного состояния полевых шпатов. Это свидетельствует о резко различных условиях их формирования, несмотря на то, что миаролы разных типов могут быть расположены всего лишь в 0.5—2.0 м друг от друга в пределах одной зоны. Изложенные в статье материалы не согласуются с традиционной моделью формирования зональных пегматитовых тел в результате процессов внутри-жилной кристаллизационной дифференциации.

Миароловые пегматиты, микроклин, ортоклаз, адуляр, плагиоклаз, структурное упорядочение.

MINERALOGY OF POCKETS OF THE MALKHAN TOURMALINE DEPOSIT (*Transbaikalia*): FELDSPARS OF THE SOSEDKA VEIN

V.E. Zagorsky

A detailed study was given to the composition and structure of alkali feldspars from the pockets of the Sosedka pegmatite vein, a large source of gems within the Malkhan tourmaline deposit. The vein is of concentric-zonal structure. Three types of pockets were recognized by mineral composition: A — quartz-lepidolite-Mn-Li-Al-tourmaline (\pm pollucite, hambergite, borocookeite, boromuscovite, danburite, light-pink beryl); B — quartz-adularia-axinite (\pm laumontite); and C — quartz and laumontite (\pm B-containing cookeite). Each type of pockets contains feldspar of specific composition and structure. This evidences that pockets formed in strongly different conditions, though some pockets of different types are localized as close as 0.5–2.0 m from each other within a zone. The reported data disagree with the common model implying the formation of zonal pegmatite bodies as a result of crystallization differentiation within the vein.

Pegmatite, microcline, orthoclase, adularia, plagioclase, structural ordering

ВВЕДЕНИЕ

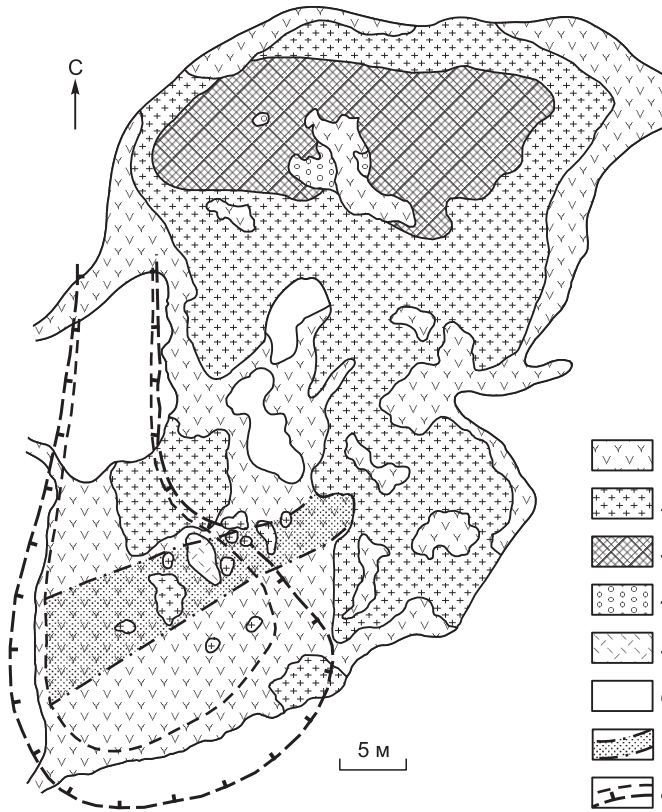
Малханское поле миароловых пегматитов входит в число крупнейших месторождений благородного турмалина в Евразии, а пегматитовое тело Соседка является одним из наиболее высокопродуктивных его источников в этом поле, обладая рядом специфических особенностей морфологии, внутреннего строения, а также видового состава друзовой минерализации. В нем в наибольшей степени по сравнению с другими пегматитовыми жилами проявлено непостоянство минерального состава материала заполнения миарол, в том числе минерализованных полостей, расположенных в одной и той же зоне на расстоянии иногда всего лишь 0.5—2.0 м друг от друга. Только в этом теле развиты миаролы с адуляром, аксинитом и турмалин-асбестом (турмалиновой «ватой») [Zagorsky, 2009; Загорский, 2010]. Именно здесь был открыт пока нигде более не обнаруженный борокукеит [Zagorsky et al., 2003]. Геология, минералогия и геохимия пегматитов Малханского поля детально охарактеризованы ранее [Загорский, Перетяжко, 1992; Загорский и др., 1999]. В результате многолетних исследований в процессе отработки жилы Соседка были получены новые материалы, имеющие принципиальное значение для понимания генезиса не только пегматитов Малхана, но и миароловых пегматитов в целом. Часть этих материалов приведена в настоящей работе.

СОСТАВ И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ПЕГМАТИТОВОГО ТЕЛА СОСЕДКА

Пегматитовое тело Соседка вскрыто сплошной расчисткой с поверхности, изучено на глубину скважинами по сети 10×10 м, а его юго-западная и северо-восточная части обрабатываются карьерами. На дневной поверхности тело имеет форму, близкую к овалу размером 80×50 м, осложненную на юго-

Геологический план пегматитового тела Соседка (по материалам экспедиции «Байкал-кварцсамоцветы» и ЗАО «Турмалхан», с добавлениями В.Е. Загорского).

1—5 — пегматит: 1 — кварц-олигоклазовый (с шерлом) графической, неясно-графической, мелкопегматоидной структур; 2 — кварц-калишпатовый графической структуры; 3 — блоковый калишпат; 4 — блоковый кварц; 5 — линза петалит-рубеллит-альбит-лепидолитового состава (без миарол); 6 — метадiorиты; 7 — полоса повышенной насыщенности пегматита миаролами с турмалином; 8 — контуры карьера в юго-западной части тела (2009 г.).



- 1 западном фланге несколькими апофизами мощностью до нескольких метров. Контакты с вмещающими метадiorитами крутые (75—90°) с падением на северо-запад. По падению жильное тело расщепляется на несколько апофиз типа конского хвоста. Жила Соседка имеет нечетко выраженное концентрически-зональное строение (рисунок). По минеральному составу выделяются две крупные зоны — внешняя (кольцевая) и внутренняя (центральная). Площади внешней и центральной зон на дневной поверхности соотносятся примерно как 0.45:0.55.
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

Во внешней зоне шириной от 0—3 до 18—20 м резко доминирует кварц-олигоклазовый с шерлом пегматит крупнорубографической, чаще неясно-графической (субграфической), нередко с элементами мелкопегматоидной структур. Количество шерла составляет 1—3 об. %, достигая в отдельных участках 5—8 об. %. Шерл образует конусовидные кристаллы длиной до 5—7 см, а иногда и крупнее. В таком кварц-олигоклазовом пегматите в юго-западной части тела, где мощность внешней зоны максимальна, присутствуют многочисленные «плавающие» шаро- и яйцеобразные обособления калишпатового рубографического пегматита и/или блокового калишпата (КПШ). Размеры их редко превышают 1.5—2 м в поперечном сечении, а количество возрастает по направлению к внутренней зоне тела. Примечательно, что шерл в обособлениях кварц-калишпатового пегматита и блокового КПШ отсутствует, тогда как темно-красный до оранжевого гранат встречается как в калишпатовых, так и в олигоклазовых разновидностях пегматита во внешней зоне.

Среди кварц-олигоклазового пегматита внешней зоны, вблизи ее границы с центральной зоной, в пределах карьера было вскрыто и почти полностью извлечено линзообразное тело размером 8 × 5 × 4 м, сложенное резко неравномерно-зернистым петалит-рубеллит-лепидолит-альбитовым комплексом, которое сопровождается более мелкими сателлитами того же состава. Соотношение породообразующих минералов в пределах этой линзы весьма непостоянное. Выделяются участки, обогащенные белым петалитом блоковой структуры, с которым ассоциируют крупные индивиды рубеллита размером до 15—20 см, редко — бледно-розового берилла, а также участки существенно-лепидолитового состава с подчиненным количеством белого или бледно-голубоватого альбита и неравномерно распределенными скоплениями мелких кристаллов рубеллита. Лепидолит фиолетовый, мелко- и крупночешуйчатый, реже пластинчатый.

Центральная зона жилы сложена кварц-калишпатовым пегматитом крупнографической, пегматоидной и блоковой структур. Шерл в этой зоне отсутствует. Блоковый пегматит представлен в основном КПШ с резко подчиненным количеством гораздо более мелких обособлений блокового кварца. Внутренняя зона содержит участки кварц-олигоклазового с шерлом пегматита размером до 7 × 4 м. По данным бурения, в ней отмечаются также участки кварц-плагиоклазового пегматита, структура которого близка к гранитной. Плагиоклаз в такой породе соответствует альбит-олигоклазу ($Ab_{90-92}An_{8-10}$). В целом центральная кварц-калишпатовая зона смещена в сторону северо-восточного фланга тела. На отдельных участках она контактирует с вмещающими метадiorитами.

При сплошной расчистке жилы на поверхности были обнаружены только две небольшие миаролы с цветным турмалином на юго-западном фланге жилы, в пределах внешней зоны, а также многочисленные миаролы без турмалина, преимущественно в центральной зоне. В дальнейшем при проходке экс-

плуатационного карьера в юго-западной части жилы было обнаружено около 500 миарол объемом от 1—2 дм³ до 40—50 м³ при общем объеме извлеченной пегматитовой массы около 7500 м³. Форма миарол варьирует от шарообразной до трубчатой и щелеобразной, с пережимами, карманами и ответвлениями. Иногда миаролы полностью или частично окружены специфическими так называемыми околомияроловыми минеральными комплексами непостоянного состава, состоящими из альбита, лепидолита, цветного турмалина, кварца, при этом стенки миарол могут быть инкрустированы кристаллами кварца, турмалина, клевеландита, лепидолита, КПШ. Турмалин в околомияроловых комплексах нередко полихромный. Но часто друзовая минерализация на стенках миарол, а также околомияроловые комплексы отсутствуют. В этих случаях стенки миарол сложены массивной неясно-графической, мелкопегматоидной кварц-полевошпатовой матрицей либо блоковыми кварцем и/или КПШ. Следует подчеркнуть, что, несмотря на явное сходство минерального состава околомияроловых комплексов и отмеченной выше петалит-рубеллит-лепидолит-альбитовой линзы, миарол в ней не обнаружено.

ХАРАКТЕРИСТИКА МИАРОЛ

Миаролы в пегматитовом теле Соседка значительно различаются по степени заполнения их рыхлым материалом (от 5—10 до 90—100 %), его минеральному составу, друзовым парагенезисам, качеству и количеству кристаллосырья. И хотя можно выделить миаролы, сходные в той или иной степени по набору этих характеристик, но нет среди них абсолютно идентичных миарол. Ниже приводится краткое описание миарол, послуживших основным источником исследованных в данной работе образцов.

Миарола 1 размером 40 × 25 × 20 см располагалась среди кварц-олигоклазового пегматита неясно-графической, переходящей в мелкопегматоидную, структуры во внешней зоне жилы. Олигоклаз вблизи миаролы приобретает бледно-голубоватый оттенок. Околомияроловый комплекс проявлен слабо. Среди кварц-олигоклазовой матрицы, на ее границе с миаролой, в виде отдельных пятен отмечаются лепидолит, цветной турмалин и пластинчатый альбит. Последние два минерала иногда выходят непосредственно в миаролу в виде щеток клевеландита и кристаллов рубеллита, ассоциирующих с растущими на стенках миаролы кристаллами кварца со светло-дымчатыми корневыми и бесцветными внешними зонами. Миарола относится к типу так называемых беспустотных миарол. Практически целиком она была заполнена рыхлым материалом, состоящим в основном из крупночешуйчатого (чешуи размером до 2—3 см) бледно-фиолетового лепидолита, обломков полевого шпата и песчано-глинистой фракции, в которой также присутствуют полевые шпаты, кварц, лепидолит и рубеллит. Кроме того, в материале заполнения миаролы были обнаружены несколько десятков кристаллов рубеллита до 5—6 см в длину и до 1.5 см в поперечном сечении, а также кристаллы кварца с зональностью, аналогичной таковой в кристаллах на стенках миаролы.

Миарола 2 размером 45 × 25 × 15 см локализована во внешней зоне среди кварц-олигоклазового пегматита пегматоидной структуры с обильной мелкой сыпью оранжевого граната. Как и предыдущая миарола, она является беспустотной и характеризуется преобладанием чешуйчатого лепидолита в миароловом материале, содержащем также длиннопризматические кристаллы розового, иногда с темно-малиновым оттенком турмалина, кристаллы светло-дымчатого кварца, обособления массивного пластинчатого клиновидного лепидолитового агрегата с включениями мелких кристаллов рубеллита, обломки слегка выщелоченных с поверхности кристаллов КПШ и пластинки клевеландита.

Миарола 3 размером 0.7 × 0.5 × 0.6 м, также расположенная во внешней зоне вблизи западного контакта жилы, была более чем наполовину заполнена рыхлым щербенисто-глинистым материалом с многочисленными обломками кварц-олигоклазового пегматита и плохо образованными кристаллами дымчатого кварца. По краям миаролы, особенно в одном из мелких карманов, обнаружены реликты кристаллов полихромного турмалина с центральной желтой, промежуточной розовой зонами и тонкой темной внешней каймой. Турмалин интенсивно замещен агрегатом цеолита и подвержен процессу перекристаллизации с образованием турмалин-асбеста. В одном из образцов рядом с реликтом турмалина в цеолитовом агрегате отмечен аксинит. В наибольшей степени процессу замещения и перекристаллизации подвержен розовый турмалин, а наименее изменен темный турмалин внешней каймы.

Миарола 4 обнаружена во внешней зоне тела среди грубозернистого до мелкопегматоидного кварц-(альбит)олигоклазового пегматита, которым сложена подавляющая часть стенок миаролы. Лишь иногда на них отмечается мелкопластинчатый альбит, редкие мелкие кристаллики кварца буровато-черного до желтовато-бурого, турмалина и аксинита. Размер миаролы 0.7 × 0.4 × 0.4 м. Более 2/3 объема миаролы заполнено рыхлым материалом с большим количеством обломков кварц-олигоклазового пегматита и многочисленными, в том числе двухговыми, кристаллами кварца свободного роста, а также плохо образованными кристаллами КПШ, нередко с внешней адуляровой каймой шириной 0.5—2 см. На поверхности кристаллов кварца и КПШ иногда присутствуют мелкие (1—3 мм) уплощенные кристаллики адуляра и аксинита. В материале заполнения миаролы найдены также обломки кристаллов тем-

ного буровато-зеленого турмалина размером до 4—5 см со следами интенсивного травления и агрегатом тонкоигльчатого турмалин-асбеста на их поверхности.

Миарола 5 во многом похожа на предыдущую, но находится в блоковой зоне и имеет близкую к изометричной форму (35 × 25 × 20 см). Стенки ее сложены белым КПШ и серым кварцем, который в миароле приобретает некоторое подобие граней. В рыхлом материале заполнения присутствуют уплощенные кристаллы дымчатого кварца и плохо образованные кристаллы КПШ с адуляровой каймой. Многие кристаллы кварца инкрустированы обильными мелкими кристаллами аксинита и единичными футлярными кристаллами турмалина с выщелоченной внутренней зоной, но сохранившейся черной внешней каймой. В материале заполнения миаролы обнаружены хлопья белой турмалиновой «ваты».

Миарола 6 выделяется нечеткостью своих границ. Она располагается среди блокового КПШ с обособлениями блокового молочного кварца. По мере приближения к миароле в массивном блоковом КПШ появляются концентрические (овальные) трещины, с возрастанием количества которых КПШ все более легко разбирается. В некоторых трещинах отслаивания присутствуют кристаллы адуляра размером до 30 см и более. На кристаллы адуляра нередко нарастают щетки аксинита в ассоциации с редкими кристаллами кварца. Размер миаролы после отработки составил 1.0 × 0.8 × 0.7 м, но свободного объема в ней было не более 0.15—0.2 м³. В полости были обнаружены мелкие обломки желто-коричневого турмалина, подвергшегося интенсивному выщелачиванию с образованием белой турмалиновой «ваты», а также кристаллы дымчатого кварца, переходящего в морион. На кристаллы кварца иногда нарастает аксинит (± цеолит и адуляр).

Миарола 7 размером 1.5 × 1 × 1 м расположена среди блокового КПШ, всего лишь в 0.5 м от крупной миаролы с большим количеством цветного турмалина, приуроченной к границе внешней кварц-олигоклазовой и блоковой калишпатовой зон. Свободной полости в миароле практически не было. В материале заполнения доминировали обломки КПШ, в меньшей степени кварца с многочисленными кристаллами адуляра и дымчатого кварца размером до 20 см и более. На крупные кристаллы кварца нарастают щетки голубоватого клевеландита, многочисленные мелкие кристаллы аксинита, иногда уплощенные кристаллы бесцветного до бледно-розового берилла и черного турмалина. При отработке миаролы в материале заполнения отмечалась турмалиновая «вата».

При проходке карьера на глубине 6—7 м аксинит был обнаружен также в пределах узкой, шириной 10—25 см, линейно вытянутой зоны «пропарки» среди блокового КПШ. В этой зоне интенсивно проявились процессы выщелачивания КПШ с образованием многочисленных каверн (микромиарол) и замещения его рыхлым мелкокристаллическим аксинит-цеолитовым агрегатом с примесью кварца. КПШ на стенках каверн иногда обрастает каймами полупрозрачного адуляра. В некоторых кавернах отмечены редкие тонкие иголки буроватого турмалина. Северо-западный фланг этой зоны «пропарки» выходит в кварц-олигоклазовый пегматит внешней зоны тела.

Миарола 8, выявленная среди блокового молочного кварца, почти нацело заполнена обломками кварца, практически не имеющего граней. Но в этом материале встречаются кристаллы дымчатого кварца размером до 20 см, а также в небольшом количестве присутствует тонкозернистый материал («сало»), состоящий из плагиоклаза, хлорита и леонгардита.

Миарола 9 в центральной зоне имеет линзовидную форму и значительные размеры (2.0 × 0.9 × 0.7 м). Стенки ее сложены блоковыми молочным до светло-серого кварцем и белым КПШ. Вблизи миаролы КПШ замещается голубоватым альбитом по трещинам и иногда содержит гнезда фиолетового пластинчатого лепидолита в ассоциации с редкими мелкими выделениями розового турмалина. Лепидолит отмечен также и в кварце вблизи стенок миаролы, тогда как в самой миароле турмалин и лепидолит не найдены. На стенках миаролы развиты друзы, состоящие из плохо образованных уплощенных кристаллов серого кварца. Таким же кварцем заполнено около одной трети объема миаролы в ее нижней части. В одном из углов миаролы на ее выклинивании обнаружен плотный мелкозернистый агрегат ломонтита.

Миарола 10 в кварц-олигоклазовом пегматите вблизи границы внешней и центральной зон практически целиком заполнена рассыпающимся в руках цеолитовым мелкокристаллическим материалом, который вблизи стенок постепенно уплотняется и переходит в массивный агрегат ломонтита. В нем встречаются мелкие (до 1 см) включения коричневого, бурого, грязно-зеленоватого турмалина, серого КПШ и плагиоклаза, замещающиеся по трещинам ломонтитом.

Миарола 11 расположена между серым блоковым кварцем и белым блоковым КПШ в центральной зоне. Открытая полость составляет не более 7—10 % от объема миаролы. Остальное ее пространство заполнено глиноподобным на ощупь цеолитовым материалом, в котором присутствуют более плотные комковидные обособления размером до 12—15 см, представленные мелкочешуйчатым анхимономинеральным агрегатом бледно-розового борсодержащего кукейта (до 700 г/т бора), и обломки КПШ. Какое-либо кристаллосырье в миароле отсутствует. Размер миаролы — 1.2 × 0.8 м.

С учетом всей совокупности имеющихся данных с некоторой долей условности можно выделить три типа миарол, различающихся по характеру преобладающей минерализации:

А — кварц-лепидолит-Mn-Li-Al-турмалиновые (\pm поллуцит, гамбергит, борокукеит, боромусковит, данбурит, светло-розовый берилл); перечисленные в скобках минералы встречаются в миаролах этого типа эпизодически;

Б — кварц-адуляр-аксинитовые (\pm ломонтит);

В — кварцевые и ломонитовые (\pm борсодержащий куккеит).

В миаролах типов Б и В турмалин, если и присутствует в ограниченном количестве, то подвергается процессам интенсивного выщелачивания и перекристаллизации с образованием хлопьев турмалин-асбеста и/или замещения ломонтитом.

Из миарол, охарактеризованных выше, 1 и 2 относятся к типу А, 3—7 — к Б, а 8—11 — к В. Зона «пропарки» с аксинитом и ломонтитом выделена в качестве подтипа Б₁. Будучи автономными, миаролы разных типов часто располагаются всего лишь в 0.5—2 м друг от друга. Миаролы типов Б и В встречаются в обеих зонах пегматитового тела, тогда как миаролы А типа характерны только для внешней зоны, но распределены в ней неравномерно. В целом наибольшее их количество тяготеет к эндоконтактной части тела, тогда как количество миарол типов Б и В возрастает по направлению к центральной зоне. Кроме того, в ЮЗ части тела выявлена простирающаяся в северо-восточном направлении и расширяющаяся с глубиной полоса повышенного скопления турмалиноносных миарол, которая дискордантна контактам внешней зоны тела с вмещающими породами и центральной зоной. В пределах карьера наблюдается тенденция возрастания роли адуляр- и аксинитсодержащих миарол с глубиной. В центральной зоне доминируют миаролы типа В и лишь в юго-западной краевой ее части встречены миаролы с аксинитом.

КАЛИЕВЫЕ ПОЛЕВЫЕ ШПАТЫ

Калиевые полевые шпаты наряду с плагиоклазами и кварцем относятся к порообразующим минералам пегматитов Малханского поля. Они слагают подавляющий объем центральной зоны жилы Соседка, многочисленные изолированные участки графической и блоковой структур в ее внешней зоне и являются важной составной частью друзовых парагенезисов и материала заполнения многих миарол. В богатых турмалином миаролах форма кристаллов КПШ более изометричная по сравнению с аксинитсодержащими миаролами, для которых типичны более уплощенные кристаллы. Морфология кристаллов адуляра в наибольшей степени соответствует типу Циллерталь [Минералы..., 2003] с преобладанием граней [110], [010] и [201]. Цвет КПШ изменяется от светло-кремового во внешней зоне жилы и графическом пегматите центральной зоны до светло-серого и белого в блоковых участках центральной зоны. В миаролах типа А цвет минерала обычно светло-кремовый с желтоватым оттенком, а в миаролах типов Б и В белый. Каймы и кристаллы адуляра в миаролах светло-серые либо бесцветные. В зональных кристаллах границы между ранней генерацией и адуляровой каймой всегда четкие и резкие, иногда наблюдается проникновение адуляра по трещинам во внутреннюю зону. В некоторых миаролах мелкие кристаллы адуляра, часто ассоциирующие с аксинитом, нарастают также на кварц, редко — на турмалин.

Как ранние КПШ, так и адуляры не обнаруживают под микроскопом признаков двойникования, за исключением одного обр. МЛХ-4247 из графического пегматита в центральной зоне, обладающего ярко выраженной шахматной двойниковой решеткой. Во всех изученных под микроскопом образцах КПШ, кроме адуляра, установлено наличие редких сингенетичных закономерно ориентированных игольчатых включений альбита длиной до 1.5—2 мм и многочисленных одинаково ориентированных пертитов. В некоторых образцах, чаще всего из миарол, пертиты представлены двумя типами — микропертитами размером < 0.01 мм и червеобразными макропертитами размером 0.05—0.2 мм в поперечном сечении и 0.3—2.5 мм в продольном. Для последних характерны неровные извилистые (бахромчатые) границы. Наиболее крупные пертиты полисинтетически сдвойникованы, причем плоскости двойникования всегда ориентированы поперек удлинения пертитов. Вокруг червеобразных пертитов микропертиты обычно отсутствуют на расстоянии нескольких миллиметров, а во многих образцах их нет вообще. По визуальным признакам макропертиты более всего соответствуют сегрегационному типу пертитов, по С.А. Руденко [1954]. Иногда они пересекают игольчатые кристаллы альбита. В каймах и кристаллах адуляра пертиты не обнаружены, что согласуется с данными порошковой дифрактометрии, показывающими отсутствие в адулярах альбитового компонента. Наиболее обогащены им КПШ из первичных зон пегматитового тела (8—14 %), в меньшей степени — предшествующие адуляру калишпаты из миарол и из зоны «пропарки» (3—8 %). Вместе с тем необходимо отметить, что в некоторых содержащих пертиты образцах из зоны «пропарки» альбит рентгеновским методом не установлен.

Состав калиевых полевых шпатов. По данным рентгенофлуоресцентного анализа (табл. 1), состав КПШ варьирует в следующих пределах: в зонах графического и блокового пегматита — $Ort_{0.76-0.82}Ab_{0.18-0.24}An_{0.003-0.006}$, в миаролах типов: А — $Ort_{0.90-0.95}Ab_{0.05-0.10}An_{0.002-0.004}$, Б — $Ort_{0.83-0.84}Ab_{0.17-0.18}An_{0.002}$

Таблица 1.

Химический состав калиевых полевых шпатов (мас. %)

Компонент	Первичные зоны пегматита											Миаролы						
	внешняя				внутренняя							тип А						
	МЛХ-4242	МЛХ-4244	МЛХ-4248	Среднее	МЛХ-4247	МЛХ-4247А/1	МЛХ-4321	МЛХ-4320	МЛХ-4243	МЛХ-4249	МЛХ-4250	Среднее	МЛХ-4175	МЛХ-4195	МЛХ-4198	МЛХ-4322	МЛХ-4323	Среднее
	1	2	3		4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	
SiO ₂	65.30	65.52	65.37	65.39	65.05	65.23	65.71	65.98	65.54	65.78	65.59	65.55	65.38	65.34	64.87	64.92	66.02	65.31
TiO ₂	<0.01	0.014	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.014	0.012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.010	<0.01	<0.01	<0.01	0.014	<0.01
Al ₂ O ₃	18.52	18.67	18.51	18.57	18.69	18.46	18.15	18.30	18.62	18.38	18.35	18.42	18.24	18.30	18.16	18.15	18.31	18.23
ΣFe ₂ O ₃	0.11	0.14	0.20	0.14	0.22	0.21	0.20	0.20	0.12	0.19	0.19	0.19	0.18	0.22	0.17	0.17	0.20	0.19
MnO	0.048	<0.01	0.018	0.022	0.017	0.017	<0.01	<0.01	0.026	0.015	0.017	0.013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
MgO	0.10	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
CaO	0.083	0.132	0.131	0.115	0.131	0.123	0.093	0.087	0.069	0.099	0.124	0.104	0.055	0.079	0.055	0.053	0.073	0.063
Na ₂ O	2.00	2.20	2.32	2.17	2.11	2.18	2.25	2.26	2.57	2.37	2.61	2.34	0.94	1.04	0.80	0.82	0.49	0.82
K ₂ O	13.37	12.91	13.08	13.12	13.43	13.41	13.06	12.56	12.93	12.84	12.67	12.99	14.75	13.96	14.86	15.02	14.85	14.69
P ₂ O ₅	0.020	0.018	0.014	0.017	0.015	0.013	0.015	0.014	0.010	0.016	0.017	0.014	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
П.п.п.	0.37	0.31	0.34	0.34	0.30	0.35	0.43	0.54	0.07	0.21	0.39	0.33	0.40	0.96	1.05	0.80	0.00	0.64
Σ	99.92	99.79	99.86	99.96	99.96	99.99	99.91	99.95	100.07	99.91	99.96	99.94	100.01	99.90	99.89	99.93	99.75	99.94

Формульные коэффициенты (расчет на 8 атомов кислорода)

K	0.783	0.755	0.766	0.768	0.787	0.786	0.764	0.733	0.753	0.750	0.741	0.759	0.867	0.822	0.879	0.888	0.867	0.865
Na	0.178	0.195	0.206	0.193	0.188	0.194	0.200	0.200	0.228	0.210	0.232	0.207	0.084	0.093	0.072	0.074	0.043	0.073
Ca	0.004	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	0.004	0.004	0.003	0.005	0.006	0.005	0.002	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003
Σ	0.965	0.951	0.973	0.966	0.981	0.986	0.969	0.937	0.984	0.965	0.978	0.974	0.953	0.919	0.954	0.964	0.914	0.941
Si	2.999	3.002	3.000	3.001	2.988	2.997	3.014	3.017	2.988	3.009	3.005	3.003	3.011	3.015	3.009	3.008	3.022	3.013
Al	1.002	1.008	1.001	1.004	1.012	0.999	0.981	0.986	1.002	0.991	0.991	0.996	0.990	0.995	0.996	0.991	0.988	0.992
Fe ³⁺	0.004	0.005	0.007	0.005	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006	0.008	0.006	0.006	0.007	0.007
Σ	4.005	4.015	4.008	4.010	4.008	4.003	4.002	4.010	3.997	4.007	4.003	4.006	4.007	4.008	3.011	4.005	4.017	4.012
Si/Al	2.993	2.978	2.997	2.989	2.953	3.000	3.072	3.060	2.988	3.036	3.032	3.015	3.041	3.030	3.021	3.035	3.058	3.037
Ab, %	18.4	20.5	21.2	20.0	19.2	19.7	20.6	21.3	23.2	21.8	23.5	21.2	8.8	10.1	7.5	7.6	4.7	7.8
An, %	0.4	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.5	0.6	0.5	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3

(ранняя генерация), $Ort_{0.88}Ab_{0.12}An_{0.002}$ (адуляр), $B_1 — Ort_{0.82-0.83}Ab_{0.17-0.18}An_{0.003-0.004}$, $B — Ort_{0.84-0.86}Ab_{0.14-0.16}An_{0.03-0.004}$. Во всех образцах, кроме КПШ из миарол типа Б, присутствует примесь железа — 0.11—0.24 мас. % Fe₂O₃. В двух образцах из зон графического и блокового пегматита обнаружена примесь оксида магния в количестве 0.10—0.11 мас. %, в остальных случаях содержание этого компонента менее 0.05 мас. %. Содержание MnO в КПШ из зон первичной кристаллизации составляют 0.013—0.022 мас. %, а в образцах из миарол — менее 0.01 мас. %. Примесь 0.01—0.02 мас. % P₂O₅ свойственна любым КПШ в пределах тела. Необходимо отметить широкие вариации значений потерь при прокаливании для КПШ — от 0.07 до 1.05 мас. %. Средние значения этого параметра для образцов из миарол примерно вдвое выше по сравнению с КПШ из матричных зон пегматита. Si/Al отношение в целом близко к теоретическому — 2.95—3.04, при этом отклонения от 3 в меньшую сторону типичны для стерильных в отношении Fe образцов из миарол типов Б и Б₁, а в большую сторону — для КПШ из миарол типов А и В.

В пределах пегматитового тела наблюдаются существенные изменения состава КПШ в отношении Li, Rb, Cs, Tl, Ba, в меньшей степени Sr и Pb (табл. 2). Известно, что из перечисленных элементов-примесей в полевых шпатах наиболее чувствительными индикаторами эволюции пегматитов являются редкие щелочи. В связи с этим необходимо отметить, что в жиле Соседка КПШ из вмещающей миаролы кварц-полевошпатовой пегматитовой матрицы во внешней зоне по сравнению с их аналогами из центральной зоны обогащены Li и Cs при равных средних содержаниях Rb. Полученные результаты не согласуются с классической моделью магматической кристаллизационной дифференциации при последовательном формировании пегматитов от контактов к центру, в рамках которой более поздние внутренние зоны должны характеризоваться накоплением редких щелочей в КПШ, как это имеет место, например, в концентрически-зональном пегматитовом теле № 3 месторождения Коктогай [Шмакин, 1992; Загорский и др., 1997].

Компо- нент	Миаролы													
	тип Б							тип Б ₁			тип В			
	МЛХ- 4007/3	МЛХ- 4007/4	МЛХ- 4007/3а	МЛХ- 4009/1	МЛХ- 4009/4	МЛХ- 4013	Среднее*	МЛХ- 4000/2	МЛХ- 4000/3	Среднее	МЛХ- 4189	МЛХ- 4330/3	МЛХ- 4334	Среднее**
	16	17	18	19	20	21		22	23		24	25	26	
SiO ₂	65.47	65.26	65.24	64.77	65.05	65.53	65.26 (65.18)	65.21	65.49	65.35	65.43	65.97	65.69	65.70
TiO ₂	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01 (< 0.01)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.024	0.020	0.01
Al ₂ O ₃	18.78	18.67	18.72	18.81	18.79	18.75	18.78 (18.73)	18.75	18.78	18.76	18.40	18.32	18.21	18.36
ΣFe ₂ O ₃	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10 (< 0.10)	< 0.10	< 0.10	< 0.10	0.18	0.24	0.22	0.21
MnO	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01 (< 0.01)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
MgO	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05 (< 0.05)	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
CaO	0.045	0.045	0.045	0.048	0.049	0.045	0.045 (0.045)	0.079	0.071	0.075	0.065	0.087	0.087	0.076
Na ₂ O	1.77	1.29	1.29	2.04	1.31	1.82	1.88 (1.30)	1.92	1.87	1.89	1.71	1.44	2.30	1.58
K ₂ O	13.41	14.30	14.25	13.80	14.39	13.42	13.54 (14.31)	13.54	13.48	13.51	13.31	13.11	12.65	13.21
P ₂ O ₅	0.016	0.012	0.011	0.015	0.010	0.014	0.015 (0.011)	0.020	0.019	0.019	0.015	0.015	0.017	0.015
П.п.п.	0.48	0.35	0.39	0.41	0.35	0.37	0.42 (0.36)	0.44	0.23	0.35	0.79	0.72	0.75	0.75
Σ	99.98	99.94	99.95	99.89	99.95	99.95	99.93 (99.94)	99.96	99.94	99.96	99.90	99.92	99.95	99.92

Формульные коэффициенты (расчет на 8 атомов кислорода)

K	0.784	0.839	0.836	0.811	0.845	0.785	0.793 (0.840)	0.793	0.788	0.791	0.781	0.766	0.741	0.773
Na	0.157	0.115	0.115	0.182	0.117	0.162	0.167 (0.116)	0.171	0.166	0.169	0.153	0.128	0.205	0.140
Ca	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002 (0.002)	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003
Σ	0.944	0.956	0.953	0.996	0.964	0.949	0.962 (0.958)	0.968	0.957	0.963	0.937	0.898	0.950	0.913
Si	3.002	3.001	3.000	2.984	2.994	3.003	2.996 (2.998)	2.996	3.000	2.998	3.010	3.023	3.015	3.016
Al	1.015	1.012	1.015	1.021	1.019	1.013	1.016 (1.015)	1.015	1.014	1.014	0.998	0.990	0.985	0.994
Fe ³⁺	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003 (0.003)	<0.003	<0.003	<0.003	0.006	0.008	0.008	0.007
Σ	4.017	4.013	4.015	4.005	4.013	4.016	4.012 (4.013)	4.011	4.014	4.012	4.014	4.021	4.008	4.017
Si/Al	2.958	2.965	2.957	2.923	2.938	2.964	2.95 (2.95)	2.952	2.959	2.96	3.016	3.054	3.059	3.034
Ab, %	16.6	12.0	12.1	18.3	12.1	17.1	17.4 (12.1)	17.7	17.3	17.5	16.3	14.3	21.5	15.3
An, %	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2 (0.2)	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3

Примечание. 1—3 — восточная стенка карьера: 1 — участок (0.5 × 0.5 м) кварц-калишпатового пегматита графической структуры, 2, 3 — обособления блокового КПШ (до 50 × 30 см); 4—6 — кварц-калишпатовый графический пегматит: 4, 5 — из южной части центральной зоны, 6 — из северо-восточной части центральной зоны; 7—10 — блоковый КПШ из северо-восточной части центральной зоны; 11—15 — кристаллы из миаролы типа А; 16—21 — кристаллы и фрагменты кристаллов КПШ из миарол типа Б: 16—18 — зональный образец КПШ (16 — ранняя зона, 17, 18 — адуляр), 19, 20 — зональный образец (19 — ранняя зона в 7 см от адуляровой зоны, 20 — адуляровая кайма шириной 2 см), 21 — фрагмент блокового КПШ с нарощими очень мелкими кристаллами адуляра; 22, 23 — в различной степени корродированный и перекристаллизованный блоковый КПШ в зоне «пропарки» с аксинитом и ломонитом (тип Б₁); 24—26 — фрагменты кристаллов блокового КПШ из миарол типа В. Метод анализа — РФА (ответственные исполнители — А.Л. Финкельштейн, А.К. Климова, ИГХ СО РАН).

* Первая цифра — для ранней генерации КПШ, вторая — для адуляра.

** При вычислении средних значений обр. МЛХ-4334 не учитывался (объяснения см. в тексте).

Установлена зависимость геохимических особенностей КПШ от типа миарол. Содержания Li в КПШ из миарол с турмалином и лепидолитом (тип А) значительно, в среднем в 3 раза ниже, а в КПШ из миарол типов Б и В, наоборот, в 1.5—2 раза выше по сравнению с КПШ из графического и блокового пегматита, вмещающего миаролы. В свою очередь, Rb и Cs, а также Tl накапливаются в КПШ любых миарол, но рубидием максимально обогащены КПШ из миарол с турмалином, тогда как цезием и таллием — КПШ из миарол с аксинитом и адуляром. При этом в адуляре по сравнению с предшествующим ему ортоклазом содержания Tl возрастают вдвое, а Cs — более чем в три раза (до 0.22 мас. %), тогда как рост содержания Rb незначителен. В результате отношение Rb/Cs, являющееся индикатором изменения щелочности среды минералообразования, снижается в процессе роста зональных кристаллов КПШ в миаролах типа Б от 7.4—4.1 до 2.6—1.6.

Таблица 2. Содержание K, Na (мас. %), элементов-примесей (г/т) в калиевых полевых шпатах и результаты их рентгенографического изучения

Компонент	Мигаролы																	
	внешняя					Первичные зоны петматита					внутренняя							
	МЛХ-4242	МЛХ-4244	МЛХ-4248	Среднее	МЛХ-4247	МЛХ-4247А	МЛХ-4321	МЛХ-4320	МЛХ-4243	МЛХ-4249	МЛХ-4250	Среднее	МЛХ-4175	МЛХ-4195	МЛХ-4198	МЛХ-4322	МЛХ-4323	Среднее
	1	2	3		4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	
K	10.48	10.40	10.75	10.54	10.58	10.65	10.75	11.10	10.50	10.42	10.25	10.61	12.05	11.78	12.62	12.32	12.84	12.32
Na	1.54	1.69	1.73	1.65	1.67	1.56	1.74	1.72	1.84	1.87	1.88	1.75	0.91	0.90	0.73	0.70	0.46	0.74
Li	321	354	367	347	162	243	204	220	196	229	261	216	87	265	90	82	134	132
Rb	1294	1120	945	1119	711	905	1080	1210	975	1421	1530	1119	4599	4130	3930	4929	5528	4623
Cs	132	98	80	103	54	95	87	88	78	109	133	92	773	669	726	611	640	639
Ba	7.35	15.5	10	11	105	12	5.8	3.9	9.5	8.6	8.0	8.0	7.0	9.8	6.3	4.2	5.4	6.5
Sr	10.5	25.8	17	18	104	15	4.5	2.3	16	4.1	5.6	8.0	4.0	5.2	4.3	3.9	3.8	4.2
Pb	62	43	160	88	100	170	210	170	150	150	200	160	29	150	96	32	11	64
Tl	8.5	7.8	2.7	6.3	2.6	6.5	8.6	11	7.1	10	10	8.0	35	33	32	56	58	43
B	13	17	<3	11	12	<3	15	15	24	<3	<3	10	9.9	61	20	8.0	42	28
K/(Rb+Cs)	74	83	105	86	138	106	92	84	100	68	62	88	22	25	27	22	21	23.4
Rb/Cs	9.8	11.4	11.5	10.9	13.2	9.5	12.4	13.7	12.5	13.0	11.5	12.2	5.9	6.2	5.4	8.1	8.6	7.2
Rb/Ba	177	74	94	102	6.8	75	186	310	103	165	191	140	657	421	623	1174	1023	711
ΣI_1	0.89	0.89	0.86	0.88	0.88	0.86	0.96	0.95	0.90	0.86	0.93	0.91	0.97	—	0.99	0.98	0.98	0.98
ΔI_1	0.59	0.67	***	0.63	***	***	0.88	0.75	0.51	0.23	0.76	0.63	0.85	—	0.93	0.91	0.92	0.90
Ab, %	9	17	9	12	13	9	20	13	17	13	13	14	7	—	5	7	7	6.5
Мон. фаза, %	30	20	****	Не рассеч.	50	80	0	0	30	****	≈15	Не рассеч.	0	—	0	0	0	Не рассеч.
Or, % в кали-шпатовой фазе	89—96	91—97	90—97 (96.6)	»	87—94	89—95 (95.5)	90	88	90—97	89—96 (95.2)	88—95 (94.6)	»	88	—	89 (96.4)	86 (87.2)	89	»

Компонент	Мигаролы																	
	Тип Б					Тип Б ₁					Тип В							
	МЛХ-4007м	МЛХ-4007а	МЛХ-4007/3	МЛХ-4007/4	МЛХ-4007/3а	МЛХ-4009/1	МЛХ-4009/2	МЛХ-4009/3	МЛХ-4009/4	МЛХ-4013	Среднее*	МЛХ-4000/2	МЛХ-4000/3	МЛХ-4000/5	Среднее	МЛХ-4189	МЛХ-4330/3	МЛХ-4334
K	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	11.10, 11.82	26	27	28	29	30	31	11.32
Na	11.2	11.85	10.9	11.95	11.75	10.9	11.3	11.3	11.75	11.2	1.47, 0.99	11.15	11.35	10.65	11.34	11.31	10.90	11.32
Li	1.33	0.99	1.45	1.03	0.96	1.58	1.46	1.51	0.96	1.51	1.47, 0.99	1.60	1.52	1.75	1.45	1.25	1.68	1.46
Rb	456	480	446	510	464	448	462	449	493	434	449, 487	375	307	213	385	421	303	403
Cs	4970	5510	4720	5620	5410	4440	4810	4560	5340	4820	4720, 5470	2220	2380	2210	2536	5564	1580	4050
	645	2160	605	2240	2200	600	605	555	2160	585	599, 2190	226	283	210	255	826	120	540

Ba	18	350	39	410	350	16	23	66	360	13	29, 367	22	11	16	16	5.7	6.4	7.9	6.0
Sr	9.0	190	9.0	92	125	6.7	9.0	6.5	150	<5	8.0, 139	16	9.9	6.6	11	2.7	6.3	2.6	4.1
Pb	120	71	110	70	70	150	140	140	77	105	127, 72	150	160	170	138	150	100	170	125
Tl	55	78	56	120	120	67	61	69	93	64	62, 103	26	28	32	29	19	50	14	35
B	26	11	14	24	27	17	17	24	25	12	20, 22	30	15	45	30	11	15	16	13
K/(Rb + Cs)	20	15	20	15	15	22	21	22	16	21	20.9, 14.9	46	43	44	43.9	41	18	64	24.7
Rb/Cs	7.7	2.6	7.8	2.5	2.5	7.4	8.0	8.2	2.5	8.2	7.9, 2.5	9.8	8.4	10.5	9.5	9.9	6.7	13.1	7.5
Rb/Ba	276	16	121	14	15	277	209	69	15	371	163, 14.9	100	216	138	142	445	869	200	675
ΣI_1	0.80	0.83	0.80	0.81	0.83	0.79	0.80	0.78	0.81	0.80	0.79, 0.82	0.84	0.88	0.94	0.89	0.83	0.78	0.81	0.80
ΔI_1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0, 0.0	0.0	0.59	0.82	0.47	0.16	0.20	0.0	0.18
Ab, %	Не обн.	Не обн.	8	Не обн.	Сл.	Сл.	3	8	Не обн.	8	4.5, Не обн.	14	8	Сл.	7	7	5	13	6
Мон. фаза, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100, 100	100	≈30	<5	Не расщ.	****	****	100	He расщ.
Or, % в калишпатовой фазе	88 (92.4)	88 (88.6)	90	92	88	93 (89.1)	90	87 (93.2)	85 (92.1)	88	Не расщ.	89	88—94	95 (97.3)	88 (92.3)	89 (94.9)	81	»	»

Примечание. Прочерк — нет данных; Не обн. — не обнаружено; Сл. — следы; Не расщ. — не рассчитывалось. 1—15 — см. табл. 1; 16—25 — кристаллы и фрагменты кристаллов КППШ из миарол типа Б; 16, 17 — зональный образец КППШ (16 — ранняя зона, 17 — адуляр); 18—20 — зональный образец КППШ (18 — ранняя зона, 19, 20 — адуляр); 21—24 — зональный образец (21—23 — ранняя зона в 7, 4 и 1 см от адулярной зоны соответственно, 24 — адулярная кайма шириной 2 см); 25 — фрагмент блокового КППШ с наростами очень мелкими кристаллами адуляра; 26—28 — в различной степени корродированный и перекристаллизованный блоковый КППШ в зоне пропарки с аксинитом и ломонитом (тип Б₁); 29—31 — фрагменты кристаллов блокового КППШ из миарол типа В. Куревом выделены колонки цифр, соответствующие образцам адуляра. Методы анализа (ИГХ СО РАН): К, Na, Li, Rb, Cs — фотометрия пламени (аналитик J.C. Таусон); Ba, Sr, Pb, Tl, V — количественный оптический спектральный (аналитики С.С. Воробьева, О.В. Зарубина, В.А. Русакова). Содержания K, Na, Li, Rb и Cs — средние значения из 2—6 определений в каждом образце. Условия рентгенографического анализа (аналитик Л.А. Богданова): дифрактометр ДРОН-3.0, CuK_α-излучение, Ni-фильтр, скорость движения счетчика — 0.25 град./мин.

$\Sigma I_1, \Delta I_1$ — рассчитывались по уравнениям: $\Sigma I_1 = 7.328 - 0.7255 \cdot \Delta 2\theta (2.04-0.60), \Delta I_1 = -0.0144 + 1.244 \cdot \Delta 2\theta (1.3 \text{ 1-131})$ [Афонина, 1995]. Содержания моноклиной фазы рассчитаны по пикам (131)м и (131.1 3 1)гр. Or — количество ортоклазовой составляющей в калишпатовой фазе рассчитано для моноклиной КППШ по уравнению Or = $-87.69 \cdot 21(2.01)Or + 1930.77$ [Stewart, Wright, 1974], для триклинных — по уравнению Or = $-92.19 \cdot 21(2.01)Or + 2031.77$ [Orville, 1967]; для смесей моноклиной и триклинной фаз через дефис указан диапазон значений (первая цифра для моноклиной фазы, вторая — для триклинной), в скобках приведены значения, рассчитанные по объему элементарной ячейки (V), согласно уравнению Or = $(0.2962 - \sqrt{0.953131 - 0.0013xV}) / 0.0018062$ [Stewart, Wright, 1974].

* Первая цифра — для ранней генерации КППШ (подложка), вторая — для адуляра.
 ** При вычислении средних значений обр. 31 не учитывался (объяснения см. в тексте).
 *** Не рассчитано из-за уширения и перекрытия рефлексов, соответствующих моноклиной и триклинной фазам.
 **** Не рассчитано из-за уширения пиков 13 1-131.

Таблица 3.

Параметры элементарной ячейки калиевых полевых шпатов

Параметр	Первичные зоны пегматита				Миаролы									
	внешняя		внутренняя		тип А		тип Б				тип Б ₁	тип В		
	МЛХ-4248	МЛХ-4247А	МЛХ-4249	МЛХ-4250	МЛХ-4198	МЛХ-4322	МЛХ-4007м	МЛХ-4007а	МЛХ-4009/1	МЛХ-4009/3	МЛХ-4009/4	МЛХ-4000/5	МЛХ-4189	МЛХ-4330/3
<i>a</i> , Å	8.595	8.589	8.590	8.584	8.576	8.593	8.576	<i>8.566</i>	8.571	8.581	<i>8.575</i>	8.589	8.587	8.585
<i>b</i>	12.969	12.963	12.966	12.967	12.966	12.973	12.982	<i>12.986</i>	12.977	12.978	<i>12.974</i>	12.963	12.969	12.979
<i>c</i>	7.205	7.203	7.205	7.214	7.223	7.226	7.207	<i>7.208</i>	7.202	7.204	<i>7.206</i>	7.220	7.210	7.204
<i>V</i> , Å ³	721.8	721.4	721.3	721.1	721.7	723.0	720.3	<i>718.9</i>	719.1	720.6	<i>720.2</i>	722.0	720.5	721.7
α , град.	89.878	89.877	89.862	90.432	90.573	90.585	90.00	<i>90.00</i>	90.00	90.00	<i>90.00</i>	90.893	89.997	90.106
β	116.002	115.904	115.991	116.054	115.962	116.070	116.138	<i>116.118</i>	116.137	116.073	<i>116.052</i>	116.000	116.179	116.042
γ	90.170	90.022	90.169	88.550	87.911	87.774	90.00	<i>90.00</i>	90.00	90.00	<i>90.00</i>	87.776	89.856	89.675

Примечание. Характеристика образцов — см. табл. 1. Курсивом выделены адуляры. Аналитик — Л.А. Богданова. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-3.0, CuK_α -излучение, Ni-фильтр, скорость движения счетчика — 0.25 град./мин, внутренний стандарт — флюорит ($a = 5.4634 \text{ \AA}$). Точность определения параметров элементарной ячейки: a — $\pm 0.008 \text{ \AA}$, b — $\pm 0.003 \text{ \AA}$, c — $\pm 0.006 \text{ \AA}$.

Адуляр содержит также на порядок больше Ba и Sr, в 1.5—2 раза больше Tl относительно ортоклаза, тогда как содержания Pb в адуляре, наоборот, снижаются в 1.5—2 раза (см. табл. 2).

Особенности структурного состояния КПШ. Коллекция КПШ (31 образец) изучена методом порошковой дифрактометрии, а для 14 из них определены параметры элементарной ячейки (см. табл. 2). Степень структурной упорядоченности определялась по стандартным методикам [Афонина и др., 1978; Каменцев, Сметанникова, 1983; Афонина, 1995]. КПШ из первичных графической и блоковой структурных разновидностей пегматитового тела в большинстве случаев являются смесью моноклинной и триклинной фаз с разным их соотношением, но чаще с преобладанием последней. Значения $\sum t_1$, характеризующие степень моноклинной упорядоченности образцов, варьируют в интервале 0.86—0.96, а значения Δt_1 изменяются от 0.23 до 0.88. В миаролах типа А КПШ представлены микроклинами с устойчиво высокими, близкими к максимальным значениями $\sum t_1$ (0.97—0.99) и Δt_1 (0.85—0.93), тогда как все образцы из миарол типа Б, включая адуляры, являются рентгеновски-моноклинными (псевдомоноклинными?) ортоклазами с $\sum t_1 = 0.79$ —0.83. При этом адуляры более упорядочены по сравнению с предшествующими им ортоклазами. В зоне пропарки с аксинитом и ломонтитом (тип Б₁) и в миаролах типа В обнаружены как ортоклазы, так и микроклины, но с преобладанием последних. Для микроклинов из миарол типа В характерна более низкая степень триклинного упорядочения ($\Delta t_1 = 0.16$ —0.20) относительно образцов из зоны Б₁ ($\Delta t_1 = 0.59$ —0.82).

Ортоклазам из миарол типа Б свойственны пониженные значения параметра a и объема элементарной ячейки по сравнению с остальными изученными образцами. В свою очередь, адуляры также отличаются от предшествующих им ортоклазов несколько более низкими значениями параметра a (табл. 3).

Из 14 образцов КПШ, для которых определены параметры элементарной ячейки, 12 оказались в той или иной степени аномальными (напряженными). Степень аномальности КПШ оценивается как разница между измеренными значениями параметра a и рассчитанными с использованием диаграммы b — c [Stewart, Wright, 1974]. В образцах КПШ из графических и блоковых структурных разновидностей пегматита она достигает 0.09—0.11 Å, тогда как в КПШ из миарол, включая адуляровые каймы, как правило, не превышает 0.04 Å (см. табл. 2).

Разница между измеренными значениями параметра a и полученными с использованием диаграммы b — c [Stewart, Wright, 1974] в образцах из графических и блоковых зон достигает 0.09—0.11 Å, тогда как в КПШ из миарол, включая адуляровые каймы, как правило, не превышает 0.04 Å (см. табл. 2).

Рассчитанное по объему элементарной ячейки количество ортоклаза в калишпатовой фазе полевых шпатов из миарол типов Б и В варьирует в интервале 89—95 %, тогда как в КПШ из миарол типа А и кварц-полевошпатовой матрице пегматита оно устойчиво более высокое — 95—97 %, т.е. в последних степень распада на калиевую и натриевую составляющие несколько выше (см. табл. 2).

ПЛАГИОКЛАЗЫ

Плагиоклаз является главным породообразующим минералом во внешней зоне жилы, сложенной в основном кварц-олигоклазовым пегматитом неясно-графической и мелкопегматоидной структур. Белый олигоклаз (редко альбит-олигоклаз) в этих структурных разновидностях вблизи турмалинсодержа-

Таблица 4. Химический состав плагиоклазов (оксиды, мас. %; примеси, г/т)

Компонент	МЛХ-4099	МЛХ-4018	МЛХ-4169	МЛХ-4171	МЛХ-4174	МЛХ-4194	МЛХ-4006/1	МЛХ-4015
SiO ₂	63.99	64.68	67.85	68.45	68.36	68.27	67.58	67.44
TiO ₂	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.02	0.02	< 0.01	< 0.01
Al ₂ O ₃	21.98	21.53	19.52	18.77	19.46	19.48	19.86	17.79
ΣFe ₂ O ₃	0.25	0.24	0.18	0.20	0.22	0.21	0.24	0.19
MnO	0.020	0.022	0.026	0.020	< 0.01	< 0.01	0.020	0.017
MgO	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
CaO	3.00	2.90	0.96	0.41	0.22	0.15	0.62	1.14
Na ₂ O	9.55	9.67	10.63	11.22	10.47	10.95	11.06	10.76
K ₂ O	0.65	0.62	0.21	0.12	0.23	0.15	0.13	0.20
P ₂ O ₅	0.015	0.014	0.016	0.16	0.040	0.012	0.016	0.017
П.п.п.	0.26	0.13	0.39	0.32	0.81	0.67	0.39	0.23
Σ	99.75	99.94	99.79	99.67	99.81	99.74	99.92	99.81
Li	132	143	172	25	214	99	23	24
Rb	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	7.0	30	Н.о.	Н.о.
Cs	Н.о.	Н.о.	32	Н.о.	12	8.0	Н.о.	Н.о.
Ba	36	16	8.1	4.6	4.2	6.4	27	12
Sr	105	70	3.5	1.8	< 1	1.1	5.8	5.5
Pb	68	51	5.4	5.3	20	9.9	22	10
Tl	< 0.3	< 0.3	< 0.3	0.48	0.63	1.3	< 2	0.55
B	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	> 200	> 200	28	< 0.3
Формульные коэффициенты (расчет на 8 анионов)								
Na	0.823	0.831	0.906	0.958	0.891	0.933	0.942	0.936
Ca	0.143	0.138	0.045	0.019	0.010	0.007	0.029	0.55
K	0.037	0.035	0.012	0.007	0.013	0.008	0.007	0.011
Σ	1.003	1.003	0.963	0.984	0.914	0.948	0.979	1.002
Si	2.844	2.865	2.984	3.013	3.001	2.999	2.970	3.025
Al	1.151	1.124	1.012	0.974	1.016	1.009	1.029	0.941
Fe ³⁺	0.008	0.008	0.006	0.007	0.007	0.007	0.008	0.006
Σ	4.003	3.997	3.902	3.994	4.025	4.015	4.007	3.972
Si/Al	2.47	2.55	2.95	3.09	2.95	2.97	2.89	3.21
An, %	14.3	13.8	4.7	2.0	1.1	0.7	3.0	5.5
Ort, %	3.6	3.5	1.3	0.7	1.4	0.8	0.7	1.1

Примечание. МЛХ-4099 — белый олигоклаз из мелкопегматоидного пегматита на контакте с метадиоритом; МЛХ-4018 — белый со слабым перламутровым отливом олигоклаз из мелкопегматоидного пегматита внешней зоны тела; МЛХ-4169 — белый с бледно-голубоватым оттенком альбит из неясно-графического, переходящего в мелкопегматоидный, пегматита около миаролы 1 (тип А); МЛХ-4171 — белый клевеландит из лепидолит-альбитового комплекса на стенке миаролы 1 (тип А); МЛХ-4174 — альбит из материала заполнения в миароле 1 (тип А); МЛХ-4194 — гребенчатый альбит из миаролы 2 (тип А); МЛХ-4006/1 — мелкопластинчатый светло-кремовый клевеландит на кристалле кварца из миаролы 3 (тип Б); МЛХ-4015 — белый с перламутровым отливом альбит из грубозернистого кварц-альбитового агрегата вблизи зоны пропарки с аксинитом и ломонитом (тип Б₁). Все образцы отобраны в юго-западной части жилы (карьер). Методы анализа (ИГХ СО РАН): оксиды — рентгенофлуоресцентный; Li, Rb, Cs — фотометрия пламени, Ba, Sr, Pb, Tl, В — количественный оптический спектральный.

щих миарол приобретает иногда бледно-голубоватый оттенок, интенсивность которого усиливается в плагиоклазе околومیароловых турмалин-лепидолит-альбитовых, иногда с петалитом, минеральных комплексов. Такой плагиоклаз нередко развивается также по трещинам в КПШ и олигоклазе первичных структурных разновидностей пегматита. На стенках и в материале заполнения миарол встречаются шетки клевеландита — белого или светло-голубоватого в миаролах с турмалином, но светло-кремового в миаролах с адуляром и аксинитом.

Состав плагиоклаза изменяется от олигоклаза An₁₄₋₁₅ в графической, неясно-графической и пегматоидной разновидностях пегматита до альбита An₂₋₅ в околومیароловых комплексах и миаролах (табл. 4). Примесь ортоклазового компонента варьирует от менее 1 % в альбитах до 3.6 % в олигоклазах. Олигоклазы из вмещающего миаролы пегматита и альбиты из миарол значительно не различаются по содержанию

ям железа (0.18—0.25 мас. % Fe_2O_3) и фосфора (0.012—0.040 мас. % P_2O_5). Для альбитов из миарол типа А характерны в 2—3 раза более высокие значения потерь при прокаливании (до 0.81 мас. %), но относительно пониженные по сравнению с остальными изученными образцами содержания марганца (см. табл. 4).

Во внешней зоне пегматитового тела содержания Li в породообразующих олигоклазах (132—143 г/т) в 2.5 раза ниже, чем в КПШ, а содержания Sr, наоборот, в 3.5—5 раз выше. Удивительно, что олигоклазы обогащены относительно КПШ также и барием, а по содержаниям Pb лишь незначительно им уступают. Альбиты резко обеднены Ba, Sr и Pb, чем олигоклазы. Клевеландитам из миарол типа А свойственны повышенные содержания (г/т) Li (до 214), Rb (7—30), Cs (8—12), Tl (0.5—1.3) и B (> 200), но пониженные — Ba и Sr по сравнению с остальными образцами плагиоклазов (см. табл. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для пегматитов с концентрически-зональным внутренним строением, к каковым относится жила Соседка, обычно предполагается модель внутрижильной дифференциации с последовательной кристаллизацией зон в направлении от контактов к центру тел. Однако в Соседке отсутствуют какие-либо признаки образования зональности тела в результате процессов внутрижильной кристаллизационной дифференциации. Более того, геохимические данные, а также характер распределения миарол и специфических, обогащенных гранитофильными редкими элементами и летучими компонентами минеральных комплексов в пределах тела прямо противоречат такой модели [Загорский, 2010]. В частности, КПШ из внешней зоны тела обогащены Li, в меньшей степени Cs относительно их аналогов из центральной зоны. Внешняя зона в целом по сравнению с внутренней зоной существенно обогащена редкими элементами и летучими компонентами, особенно B, F и Li, в меньшей степени Be, Cs, Ta, Nb, Sn. Как ни странно, но именно для внешней зоны характерно широкое развитие богатых цветными литиевыми турмалинами миарол типа А, содержащих разнообразную редкометалльную минерализацию и окруженных нередко специфическими редкометалльными минеральными комплексами, тогда как центральной зоне свойственны «пустые» миаролы типа В. Таким образом, необходимо признать, что в целом внешняя зона пегматитового тела Соседка соответствует более высокому уровню эволюционного развития гранитно-пегматитовой системы по сравнению с внутренней зоной.

Как известно, по содержаниям Na (альбитового компонента) в щелочных полевых шпатах можно ориентировочно оценить температуру их образования. Такие оценки температур весьма приблизительны и в большинстве случаев оказываются несколько заниженными по сравнению с другими более надежными методами. Однако этот простой способ термометрии может быть полезен при оценке относительных температур образования полевых шпатов в пегматитовом процессе. По кривой распада твердого раствора в системе щелочных полевых шпатов [Барт, 1962] и сольвусу при давлении 2 кбар [Orville, 1963] получены следующие средние температуры (°C) образования для различных КПШ в жиле Соседка (первая цифра, по [Барт, 1962] / вторая, — по [Orville, 1963]): матричные зоны пегматита — 500 / 510, миаролы типов: А — 330 / 380, Б — 465 / 480 (ранняя генерация), 390 / 415 (адуляр), Б₁ — 460 / 485, В — 440 / 455.

По данным термобарогеохимии, в пегматитах Малхана температурная граница между завершением позднемагматического этапа кристаллизации и началом гидротермального этапа минералообразования в миаролах находится в интервале 500—550 °C, поскольку при этих температурах начинается плавление содержимого расплавленных включений в корневых частях кристаллов кварца, растущих на стенках миарол. В мелких включениях (1—2 мкм) плавление твердых фаз начинается при 500 °C, а в крупных (20—100 мкм) — при 550 °C. Полное плавление содержимого мелких расплавленных включений достигается при 615 °C [Peretyazhko et al., 2004]. С учетом этих данных температурные оценки, полученные по составу КПШ из матричных зон пегматита, являются заниженными, что не исключает возможности их использования в сравнительном плане. Богатые литиевыми турмалинами и лепидолитом миаролы типа А характеризуются значительно более низкими температурами образования КПШ, чем КПШ в миаролах других типов. В свою очередь, в миаролах типа Б адуляр является гораздо более низкотемпературным минералом по сравнению с предшествующей ему генерацией ортоклаза, но тем не менее более высокотемпературным, чем КПШ из миарол типа А.

Каждому типу миарол свойственны также свои особенности редкоэлементного состава КПШ. Так, содержания Li в КПШ из миарол типа А в 1.7—2.6 раза ниже, чем в КПШ из вмещающего миаролы пегматита и в 3—3.4 раза ниже, чем в КПШ из миарол типов Б и В. Логично предположить, что это обусловлено широким развитием в миаролах типа А собственных минералов лития — турмалинов и лепидолита. Ранее на примере геохимически различно специализированных редкометалльных пегматитов было установлено, что уровни содержания Li в КПШ определяются не только содержанием этого элемента в системе, но также активностью фтора. В обогащенных фтором пегматитовых системах коэф-

фициент распределения L_i между КПШ и слюдами изменяется в пользу последних [Загорский, 1983; Загорский и др., 1997].

Одним из типоморфных минералов миарол типа Б является адуляр. Смена обычного ортоклаза на адуляр несомненно связана с резким изменением условий минералообразования в таких миаролах. Подобный процесс был ранее изучен на примере жилы Амазонитовая в Рангульском пегматитовом поле на Восточном Памире (Таджикистан). В ней смена амазонита на адуляр произошла в связи с разгерметизацией миаролы и резким падением давления от 950 до 450—420 бар [Перетяжко и др., 1999]. Падение давления сопровождалось адиабатическим снижением температуры. Аналогичный сценарий предполагается и для адулярсодержащих миарол в жиле Соседка. Судя по содержаниям альбитового компонента в КПШ, разница между температурами образования адуляра и предшествующей ему генерации КПШ в обеих жилах близка — около 60—70 °С. Соответственно, можно предположить, что и диапазон снижения давления в них также был сопоставимым. Специфическая особенность адуляров — обогащенность их элементами, для которых характерны противоположные тенденции поведения в большинстве геологических процессов: Rb, Cs, с одной стороны, и Ba, Sr, с другой. Вероятно, это связано с возрастанием щелочности минералообразующей среды, что косвенно подтверждается резким снижением Rb/Cs отношения в изученных адулярах.

По содержаниям большинства элементов-примесей (Li, Rb, Cs, Tl, Ba) КПШ из зоны пропарки (тип B_1) занимают промежуточное положение между КПШ из матричных зон пегматита и миарол типа Б. Это является следствием преобразования блокового КПШ под воздействием флюидов, проникающих по трещинам во вмещающий пегматит при разгерметизации миарол типа Б. В миаролах типа В КПШ представлены обломками этого минерала, обрушившимися со стенок и сводовой части полостей. Их геохимические особенности в значительной степени зависят от длительности и интенсивности воздействия на них флюидной составляющей миарол и поэтому варьируют в гораздо большей степени, чем в миаролах других типов. В частности, обр. МЛХ-4334 из миаролы 11 по содержаниям элементов-примесей практически не отличается от неизмененных КПШ из вмещающего миаролу блокового пегматита. Поэтому данный образец не учитывался при вычислении средних содержаний элементов для КПШ из миарол типа В (см. табл. 2).

Существует мнение, что при кристаллизации из расплава все природные КПШ имеют моноклинную симметрию, будучи изначально санидинами либо ортоклазами [Марфунин, 1988; Сендеров, 1990], которые в посткристаллизационный период подверглись процессам твердофазового структурного упорядочения — сначала моноклинного, а затем триклинного. Все изученные КПШ из зон первичной кристаллизации в жиле Соседка являются промежуточными микроклинами с различной степенью триклинной упорядоченности ($\Delta t_1 = 0.23—0.76$), а обр. МЛХ-4321 — низким микроклином (см. табл. 2). Однако в соседних с ней турмалиноносных жилах Моховая и Орешная наряду с микроклинами в первичных зонах присутствуют также и моноклинные КПШ с $\sum t_1 = 0.66—0.72$. Это свидетельствует о том, что в жиле Соседка процессы триклинного упорядочения проявились более интенсивно. Тем не менее в зоне пропарки типа B_1 и в миароле 11 типа В обнаружены образцы КПШ с сохранившейся моноклинной симметрией, соответствующей промежуточному ортоклазу (см. табл. 2).

Судя по структурному состоянию КПШ, условия их образования в миаролах типов А и Б существенно различались, поскольку в первых они представлены только низким микроклином, тогда как во вторых — обычными (ранняя генерация) и адулярсовыми (поздняя генерация) разновидностями ортоклаза. Вариации значений параметров структурного состояния КПШ в каждом типе миарол очень малы. Это может свидетельствовать о том, что не только ортоклазы в миаролах типа Б, но и микроклины в миаролах типа А изначально кристаллизовались в виде соответствующих структурных модификаций. Будучи относительно низкотемпературными, те и другие попадают в область устойчивости микроклина. Благоприятным для образования первичного микроклина является замедленный процесс роста минерала при низких температурах и обилии летучих [Афони́на и др., 1978; Сендеров, 1990], т.е. в условиях, в наибольшей степени свойственных миаролам типа А. Судя по минеральным парагенезисам, процесс минералообразования в миаролах типа А осуществлялся в кислотной среде, тогда как в миаролах типа Б — в условиях повышенной щелочности. Возможно, именно с этим обстоятельством связаны столь резкие различия в структурном состоянии КПШ в разных типах миарол. Однако это предположение требует экспериментальной проверки.

Не вполне очевидны также причины, по которым моноклинные КПШ в миаролах типа Б не претерпели триклинного упорядочения подобно КПШ из вмещающего миаролы пегматита. Одним из факторов, тормозящих процессы упорядочения структуры КПШ, считается обогащенность их Rb, Cs и Ba [Гордиенко, Каменцев, 1975; Афони́на и др., 1978]. В КПШ из жилы Соседка, в том числе в адулярах, содержания Ba слишком низки, чтобы способствовать замораживанию моноклинной симметрии полевых шпатов. Суммарное содержание Rb и Cs в КПШ из миарол типа Б на порядок выше — до 0.8 мас. %. По результатам изучения коллекции образцов КПШ из трех жильных серий редкометалльных пегмати-

тов установлено, что увеличение суммарного количества Rb и Cs до 1.2 мас. % приводит лишь к слабому снижению триклинной упорядоченности КПШ [Афонина и др., 1978]. Вместе с тем эти же авторы подчеркивают, что в зависимости от условий образования стабилизирующее влияние Rb и Cs на неупорядоченные модификации КПШ проявляется при различных концентрациях этих элементов. Вместе с тем для преодоления влияния любого фактора, тормозящего упорядочение КПШ, необходимо геологическое время. Допустим, что достигнутый в КПШ из миарол жилы Соседка уровень содержания Rb и Cs оказался достаточным для замораживания их моноклинного состояния, а продолжительность посткристаллизационного периода пегматитов Малхана, имеющих нижнемеловой возраст [Загорский, Перетяжко, 2010], была недостаточной для нейтрализации тормозящего влияния Rb и Cs на упорядочение структуры КПШ.

ВЫВОДЫ

В изученном пегматитовом теле Соседка развиты три типа миарол, каждому из которых присущи свои специфические особенности минерального состава, в том числе состава и структурного состояния полевых шпатов. Это свидетельствует о резко различных условиях их формирования, несмотря на то, что миаролы разных типов могут быть расположены всего лишь в 0.5—2.0 м друг от друга в пределах одной зоны. Изложенные в статье материалы не согласуются с общепринятыми представлениями о формировании зональных пегматитовых тел и миарол в них в результате процессов внутрижильной кристаллизационной дифференциации, приводящей к обособлению флюида [Ферсман, 1960; Jahns, Burnham, 1969; Jahns, 1979; Бакуменко, Коноваленко, 1988; Foord et al., 1989; Černý, 2000; London, 2008]. Наиболее логично они укладываются в усовершенствованную модель, согласно которой уже при внедрении пегматитовые расплавы содержали силикатно-флюидные обособления (пузыри) — протосубстанции будущих миарол, что не исключает также возможности дополнительного выделения флюида и образования мелких полостей в процессе кристаллизации кварц-полевошпатовой матрицы пегматита [Zagorsky, Peretyazhko, 2008; Zagorsky, 2009; Загорский, 2010; Перетяжко, 2010].

Автор признателен С.З. Смирнову и анонимному рецензенту за конструктивные замечания, а также коллективу аналитиков ИГХ СО РАН.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 10-05-00964), НШ-6321.2010.5.

ЛИТЕРАТУРА

- Афонина Г.Г.** Определение тренда Al/Si упорядочения и количества Al в тетраэдрических позициях калиевых полевых шпатов по рентгенограммам порошка // Зап. ВМО, 1995, ч. СХХIV, № 3, с. 65—79.
- Афонина Г.Г., Макагон В.М., Шмакин Б.М.** Барий- и рубидийсодержащие калиевые полевые шпаты. Новосибирск, Наука, 1978, 110 с.
- Бакуменко И.Т., Коноваленко С.И.** Особенности формирования миароловых пегматитов и их положение среди гранитных пегматитов // Термобарогеохимические исследования процессов минералобразования. Новосибирск, Наука, 1988, с. 123—135.
- Барт Т.Ф.** Измерения палеотемператур гранитных пород. М., Изд-во АН СССР, 1962, 20 с.
- Гордиенко В.В., Каменцев И.Е.** Влияние крупных катионов Rb и Cs на процесс упорядочения калинатровых полевых шпатов // Минералогия и геохимия. Вып. 5. Л., Изд-во ЛГУ, 1975, с. 41—56.
- Загорский В.Е.** Редкоэлементный состав калиевых полевых шпатов как критерий оценки специализации и рудоносности редкометалльных пегматитов // Докл. АН СССР, 1983, т. 269, № 3, с. 715—718.
- Загорский В.Е.** Малханское месторождение турмалина: типы и природа миарол // Докл. РАН, 2010, т. 431, № 1, с. 181—184.
- Загорский В.Е., Перетяжко И.С.** Пегматиты с самоцветами Центрального Забайкалья. Новосибирск, Наука, 1992, 224 с.
- Загорский В.Е., Перетяжко И.С.** Первые результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования Малханской гранитно-пегматитовой системы: геодинамические следствия // Докл. РАН, 2010, т. 430, № 5, с. 658—661.
- Загорский В.Е., Макагон В.М., Шмакин Б.М., Макрыгина В.А., Кузнецова Л.Г.** Редкометалльные пегматиты. Т. 2. Гранитные пегматиты. Новосибирск, Наука, 1997, 285 с.
- Загорский В.Е., Перетяжко И.С., Шмакин Б.М.** Миароловые пегматиты. Т. 3. Гранитные пегматиты. Новосибирск, Наука, 1999, 485 с.
- Каменцев И.Е., Сметанникова О.П.** Полевые шпаты // Рентгенография основных типов породообразующих минералов. Л., Недра, 1983, с. 245—255.
- Марфунин А.С.** Реинтерпретация и общая диаграмма для определения калинатровых полевых шпатов // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1988, № 11, с. 65—74.

Минералы / Под ред. Г.Б. Бокия, Б.Е. Боруцкого. Т. 5. Вып. 1. Силикаты с разорванными каркасами, полевые шпаты. М., Наука, 2003, 583 с.

Перетяжко И.С. Условия образования минерализованных полостей (миарол) в гранитных пегматитах и гранитах // Петрология, 2010, т. 18, № 2, с. 195—222.

Перетяжко И.С., Загорский В.Е., Прокофьев В.Ю., Гантимурова Т.П. Миароловые пегматиты Кукуртского самоцветного узла (Центральный Памир): эволюция условий образования жилы Амазонитовая // Геохимия, 1999, № 2, с. 133—152.

Руденко С.А. Морфолого-генетическая классификация пертитовых сростаний // Зап. ВМО, 1954, № 1, с. 23—36.

Сендеров Э.Э. Процессы упорядочения каркасных алюмосиликатов. М., Наука, 1990, 208 с.

Ферсман А.Е. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1960, т. 6, 742 с.

Шмакин Б.М. Новые данные по геохимии и минералогии редкометалльных пегматитов месторождения Коктогай (Синьцзян, КНР) // Геохимия, 1992, № 6, с. 821—833.

Černý P. Constitution, petrology, affiliations and categories of miarolitic pegmatites // Memorie della Societa Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di storia Naturale di Milano, 2000, v. XXX, p. 5—12.

Foord E.E., Spaulding L.B., Mason R.F., Martin R.F. Mineralogy and paragenesis of the Little three mine pegmatites, Ramona district, San Diego county, California // Miner. Rec., 1989, v. 20, p. 101—128.

Jahns R.H. Gem-bearing pegmatites in San Diego Country, California. In Mesozoic crystalline rocks, Peninsular Ranges batholith and pegmatites // Geol. Soc. Amer. Ann. Mtg., San Diego, 1979, p. 3—38.

Jahns R.H., Burnham C.W. Experimental studies of pegmatite genesis: I. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites // Econ. Geol., 1969, v. 64, p. 843—864.

London D. Pegmatites. The Canadian Mineralogist. Special publication, 2008, № 10, 347 p.

Orville P.M. Alkali ion exchange between vapor and feldspar phases // Amer. J. Sci., 1963, v. 261, p. 201—237.

Orville P.M. Unit-cell parameters of the microcline—low albite and sanidine—high albite solid solution series // Amer. Miner., 1967, v. 52, № ½, p. 55—86.

Peretyazhko I.S., Zagorsky V.Ye., Smirnov S.Z., Mikhailov M.Y. Conditions of pocket formation of the Oktyabrskaya tourmaline-rich gem pegmatite (the Malkhan field, Central Transbaikalia, Russia) // Chem. Geol., 2004, v. 210, p. 91—111.

Stewart D.B., Wright T.L. Al/Si order symmetry of natural alkali feldspars, and the relationship of strained cell parameters to bulk composition // Bull. Soc. Franc. Miner. Et Cristallogr., 1974, v. 97, № 4, p. 356—377.

Zagorsky V.Ye. On emplacement of compositionally heterogeneous pegmatite melts: petrogenetic implications // Estudios Geológicos, 2009, v. 19, № 2, p. 365—369.

Zagorsky V.Ye., Peretyazhko I.S. Malkhan gem tourmaline deposit in Transbaikalia, Russia // Mineral Observer: mineral News from Russia and Beyond. Mineralogical Almanac, 2008, v. 13b, p. 4—39.

Zagorsky V.Ye., Peretyazhko I.S., Sapozhnikov A.N., Zhukhlistov A.P., Zvyagin B.B. Borocookeite, a new member of the chlorite group, from the Malkhan gem tourmaline deposit, Central Transbaikalia, Russia // Amer. Miner., 2003, v. 88, p. 830—836.

*Рекомендована к печати 31 мая 2011 г.
Н.В. Соболевым*

*Поступила в редакцию 13 января 2011 г.,
после доработки — 27 апреля 2011 г.*