
**ДИСКУССИИ, КРИТИКА,
БИБЛИОГРАФИЯ**

**О ПРОБЛЕМЕ ГЕНЕЗИСА “КВАРЦЕВЫХ ГЛЫБ” В ДАРАИ-ПИЁЗСКОМ
ЩЕЛОЧНОМ МАССИВЕ (ТАДЖИКИСТАН)
И КОНЦЕНТРИРОВАНИИ В НИХ ЦЕЗИЯ**

© 2022 г. Л. А. Паутов^{1, 2, *}, А. А. Агаханов¹, почетный чл. И. В. Пеков^{3, 4}, В. Ю. Карпенко¹

¹Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Ленинский пр., 18-2, Москва, 119071 Россия

²Южно-Уральский ФНЦ минералогии и геоэкологии УрО РАН, территория Ильменский заповедник, Миасс, Челябинская область, 456317 Россия

³Московский государственный университет, геологический факультет, ГСП-1, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

⁴Институт геохимии и аналитической химии РАН, ул. Косыгина, 19, Москва, 119991 Россия

*e-mail: pla58@mail.ru

Поступила в редакцию 25.12.2021 г.

После доработки 20.06.2022 г.

Принята к публикации 21.06.2022 г.

В моренных отложениях ледника Дарай-Пиёз, пересекающего одноименный щелочной массив (южный склон Алайского хребта, Таджикистан) встречаются глыбы существенно кварцевых пород (силекситов) с полилитионитом, эгирином, ридмерджеритом, микроклином, лейкофенитом, стиллуэллитом-(Се), пектолитовыми агрегатами, содержащими целую гамму цезиевых силикатов. Генезис этих пород дискусионен, так как они ни разу не были встречены в коренном залегании или в контакте с другими породами. Предлагается версия их образования в результате раскристаллизации водно-силикатных жидкостей, которые могли возникнуть при взаимодействии щелочных флюидов, вызвавших обширную фенитизацию пород массива, с турмалиновыми гранитами и другими кварцсодержащими породами.

Ключевые слова: щелочной массив, кварцевая порода, силексит, водно-силикатная жидкость, фенит, цезий, бор, литий, Дарай-Пиёз, Таджикистан

DOI: 10.31857/S0869605522040050

ВВЕДЕНИЕ

Щелочной массив Дарай-Пиёз, расположенный в приграничной с Кыргызстаном части Центрального Таджикистана, относится, несомненно, к числу самых выдающихся минералогических объектов мира. Он стал знаменитым в первую очередь благодаря разнообразию, а главное, ярчайшему своеобразию минералов, связанных с разными типами щелочных пород, главным образом, обогащенных кремнеземом. Здесь за шестьдесят лет открыто четыре десятка новых минералов, из которых более тридцати – эндемики Дарай-Пиёза. Все новые минералы этого массива – силикаты (в основном высококремнистые) с крупными катионами, и все они содержат в качестве видообразующих компонентов редкие элементы – Li, Cs, Be, Sr, Ba, Zn, В, Y, Се, Nd, Th, U, Zr, Sn, Pb. “Геохимической визитной карточкой” наиболее интересных в минералогическом отношении пород Дарай-Пиёза можно считать уникальное для высокощелочных природных систем сочетание бора, лития и цезия в очень высоких, иногда просто “ураганных” концентрациях, что и обусловило не имеющий аналогов в мире минеральный состав этих образований. Вторая особенность, прославившая Дарай-

Пиёз — это удивительная красота его минералогии. Многие редчайшие, в том числе новые минералы образуют здесь крупные, размером в целые сантиметры, а иногда и более того, ярко окрашенные и/или эффектно люминесцирующие в ультрафиолетовых лучах кристаллы или агрегаты, благодаря чему они являются желанными экспонатами любых минералогических коллекций.

На Дарай-Пиёзе найдены лучшие в мире по музейному качеству образцы стиллуэлита-(Се), ридмерджерита, согдианита, бафертисита, баратовита, таджикита, цезий-куплетскита, гиалотекита, прекрасные штуфы с лейкосфенитом, полилитоинитом, мизеритом, агреллитом и рядом других минералов. Очень существенная доля этих выдающихся, как по минеральному разнообразию и своеобразию, так и по музейно-коллекционному качеству образцов происходит из собираемых в моренных отложениях ледника Дарай-Пиёз так называемых “кварцевых глыб”. Они сложены весьма специфическими породами, где главным минералом является зернистый кварц, а в его массу включены кристаллы и агрегаты различных минералов, главным образом силикатов. “Кварцевые глыбы” — загадочные в генетическом отношении образования, и эта загадочность во многом обусловлена тем, что до сих пор не только слагающие их породы не встречены в коренном залегании, но и не найдено ни одного образца, в котором эти породы контактировали бы с какими-либо другими. Такие существенно кварцевые породы действительно встречены лишь в виде отдельных глыб и более мелких обломков; отсюда и название “кварцевые глыбы” — название условное, но уже устоявшееся в литературе по Дарай-Пиёзу (см. ниже). В настоящей статье, где мы постарались изложить представления о возможном генезисе этих необычных пород, будет тоже в основном использоваться термин “кварцевые глыбы” (как правило, без кавычек). К сожалению, говорить сколь-либо уверенно о том, как именно эти породы образовались, пока не приходится, но те соображения, которые приведены ниже, представляются нам не лишёнными оснований.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ДАРАИ-ПИЁЗСКОМ МАССИВЕ

Щелочной массив Дарай-Пиёз (N 39°27'; E 70°43') находится в приводораздельной части Алайского хребта на высотах от 2600 до 4500 м над уровнем моря. Выходы пород Дарай-Пиёзского массива на дневную поверхность занимают площадь около 16 км². В меридиональном направлении практически через центр массив прорезан долиной ледника, который берет начало от горной вершины Пик Игла (5301.2 м) и спускается вниз на 5 км. Борта ледниковой долины, в которых обнажаются породы массива, в большинстве случаев весьма труднодоступны (рис. 1). Основная информация по петрографии и минералогии Дарай-Пиёзского массива получена при изучении материала из моренных отложений ледника.

Первые данные о Дарай-Пиёзском массиве получены А.В. Москвиным во время работ Таджикско-Памирской экспедиции в 1932–1936 гг. (Москвин, 1937). В течение 1946–1947 гг. под руководством Ю.А. Арапова на Алайском и Туркестанском хребтах, в том числе на Дарай-Пиёзском массиве, проводились специализированные поисковые работы на редкометалльное сырье. Позднее изучением геологии массива и его рудоносности занимались геологи ряда производственных и научных организаций: Н.С. Видякин, С.Е. Авакян, А.В. Котельников, А.А. Кашин, Х. Джалилов, А.Б. Бурмакин, Н.Н. Четвериков, Д.А. Старшинин, В.В. Могаровский, А.Н. Акрамов, А.А. Бригинский и многие другие исследователи. Наиболее полный комплекс работ по изучению массива проведен в 60-х–90-х годах XX века В.Д. Дусматовым, в результате чего была составлена геологическая карта масштаба 1 : 25000, получены обширные данные по петрографии и геохимии, а в сотрудничестве с сотрудниками ИМГРЭ — Е.И. Семёновым, А.Ф. Ефимовым и А.П. Хомяковым выявлена уникальная по разнообразию и своеобразию богатая минерализация лития, бора, циркония и редкоземельных элементов. Минералогии Дарай-Пиёзского массива посвящено большое количество публикаций, часть из которых приведена в нашей статье о новой цезиевой слюде — гарми-



Рис. 1. Вид долины Дарай-Пиёз с верховьев одноименного ледника.

Fig. 1. View on the Darai-Piyoz valley from the Darai-Piyoz glacier.

те в этом выпуске журнала (Паутов и др., 2022), здесь же мы процитируем и ряд других работ (Дусматов и др., 1963, 1967, 1967а, 1968, 1975; Гинзбург и др., 1965; Ефимов и др., 1970; Дусматов, 1971; Семенов и др., 1975; Паутов, Игнатенко, 1992; Grew et al., 1994; Паутов и др., 1997, 1998; 2000, 2000а, 2010, 2011; Паутов, Хворов, 1998; Пеков и др., 2000; Паутов, 2003; Karpenko, Pautov, 2004; Pautov et al., 2004, 2015, 2019; Агаханов и др., 2008; Agakhanov et al., 2011, 2020).

На севере массив прорывает силурийские известково-сланцевые толщи, а на юге – терригенно-сланцевую толщу с прослоями известняков и эффузивов средне-поздне-каменноугольного возраста. В плане массив имеет сложную форму, близкую к овальной, и характеризуется кольцевым строением. По данным В.Д. Дусматова (1971), внешняя зона массива сложена турмалиновыми гранитами, далее к центру следует прерывистое кольцо биотитовых гранитов, переходящих местами в граносиениты, а внутренняя часть массива образована кварцевыми и эгириновыми сиенитами. В юго-восточной части массива имеются выходы канкринитовых фойяитов. Жильные породы представлены гранитными и щелочными пегматитами, кварц-карбонатными жилами, дайками мелкозернистых гранитов с турмалином.

В моренных отложениях ледника Дарай-Пиёз нередко встречаются глыбы кальцитовых карбонатитов с калиевым полевым шпатом и эгирином. Значительно реже по-

падают обломки доломитовых карбонатов. Весьма распространены в моренных отложениях породы, сложенные в основном калиевым полевым шпатом, пироксеном эгирина-геденбергитового состава и кальцитом, доля которого в породе составляет от 10 до 60 об. %. В коренном залегании кальцитовые карбонатиты обнаружены в южной части массива на правом борту ледниковой долины Дарай-Пиёз. Впервые карбонатиты в этом массиве были отмечены И.П. Майоровым и Р.Д. Гаврилыным (1971), а Е.Н. Окуловым (1984) описаны кварцевые карбонатиты. Подробно карбонатиты Дарай-Пиёза охарактеризованы А.Р. Файзиевым с соавторами (2010).

Из метасоматитов на Дарай-Пиёзском массиве наиболее распространены фениты. В некоторых участках морены они составляют основную долю обломочного материала. Меньшим распространением пользуются альбититы. Весьма часто глыбы и более мелкие обломки щелочных пород, находимые в морене, имеют крайне сложную текстуру и с трудом поддаются генетической интерпретации.

Абсолютный возраст пород Дарай-Пиёзского массива (в миллионах лет; К-Аг метод, неопубликованные данные В.Д. Дусматова, 1979 г.): для первой фазы – не определен, для второй фазы – амфиболовых сиенитов – $285\text{--}282 \pm 10$; для кварц-эгириновых пегматитов – 282 ± 11 ; для щелочных пегматитов с литий-цезиевой минерализацией – $280\text{--}262 \pm 9$, с циркониевой минерализацией (эвдиалитом) – $274\text{--}256 \pm 8$, с боросиликатами – 260 ± 9 ; для альбитизированных пород – $254\text{--}246 \pm 10$. По новым данным, возраст (U-Pb метод, циркон) нефелиновых лейкосиенитов Дарай-Пиёзского массива составляет 267 ± 2 млн лет (Konopelko et al., 2017), что находится в хорошем согласии с ранее полученными датировками.

Формационная принадлежность Дарай-Пиёзского массива разными исследователями трактуется по-разному. В.Д. Дусматов (1971) считает массив представителем щелочно-гранитоидной формации Гиссаро-Алайской провинции. Некоторые геологи (Р.Б. Баратов, А.А. Бригинский и др.) внешнюю зону массива относят к породам туркестанского комплекса, а центральную, сложенную кварцевыми и эгириновыми сиенитами, к алайскому интрузивному комплексу. В.М. Ненахов относит Дарай-Пиёзский массив к матчайскому комплексу коллизионных гранитов, щелочных и нефелиновых сиенитов ранне-позднепермского возраста, широко представленных на сопряженной территории Кыргызстана (массивы: Матчайский, Кульпский, Ходжаачканский, Джилисуйский, Утренский, Тутекский и др.). Для матчайского комплекса характерна такая последовательность формирования пород: турмалиновые лейкограниты, щелочные и кварцевые сиениты, нефелиновые и щелочные сиениты, граниты (Ненахов, Хрестенков, 1988). Жильная серия матчайского интрузивного комплекса представлена пегматитами и карбонатитами. Возраст щелочных сиенитов матчайского комплекса заключен в пределах от 258 ± 8 до 272 ± 10 млн лет (Ненахов и др., 1992). Д.Л. Конопелько с соавторами (2017) относят Дарай-Пиёзский массив к постколлизионным интрузивам восточной части Гиссарского сегмента Тянь-Шаня. Нефелиновый сиенит (изучался один образец) и амфиболовый лейкогранит (один образец) из внешней зоны массива характеризуются одинаковыми отрицательными значениями $\epsilon\text{Nd}(t) = -7.4$, радиогенными отношениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.70865 и 0.69593 и модельными Nd возрастными t_{DM} 1.70 и 1.53 млрд лет соответственно (Konopelko et al., 2017). Подобные изотопные характеристики могут трактоваться как указания на происхождение Дарай-Пиёзской интрузии из докембрийских коровых источников, что также является характерной чертой постколлизионных интрузий других районов Тянь-Шаня.

ХАРАКТЕРИСТИКА КВАРЦЕВЫХ ГЛЫБ

Общая характеристика пород кварцевых глыб приведена в нашей статье о гармите (Паутов и др., 2022). Размеры всех встреченных на морене кварцевых глыб укладываются в диапазон от 10 см до 2 м (в поперечнике). Большинство глыб неокатаны или слабо окатаны. Форма их чаще всего изометричная, реже – плитообразная. Кварцевые глыбы сложены на 90–95% средне-крупнозернистым (2 мм–2 см) кварцем льди-

стого облика. Он бесцветный, часто водяно-прозрачный, но за счет межзерновых границ и трещин выглядит в массе белым. Зерна кварца изометричные или слабо удлиненные, без какой-либо отчетливой ориентировки в агрегате. Границы зерен зазубрено-извилистые. Для таких агрегатов часто применяют определение структуры как гранобластовой. В шлифах в поляризованном свете с анализатором зерна кварца обладают ровным погасанием, и только в редких случаях в них проявляется блочное погасание. Характерной особенностью кварцевого агрегата является сильная зеленая люминесценция в коротковолновом ультрафиолетовом свете. Спектры люминесценции, снятые по нашей просьбе В.А. Рассуловым, показывают, что она однозначно связана с уранил-ионом, однако люминесценция часто проявляется на отдельных хаотично расположенных участках кварцевых глыб без видимой связи с выделениями минералов уранила (рис. 2).

Минеральный состав кварцевых глыб приведен в табл. 1, а фотографии наиболее распространенных, определяющих их своеобразие минералов – согдианита-сугилита $(K,Na)_2(Li,Fe,Al)_3ZrSi_{12}O_{30} - KNa_2Fe_3Li_3Si_{12}O_{30}$, стиллуэллита-(Ce) $(Ce,La)BSiO_5$, лейкофенита $BaNa_4Ti_2B_2Si_{10}O_{30}$, полилитионита $KLi_2AlSi_4O_{10}(F)_2$, эгирина $NaFeSi_2O_6$, ридмерджерита $NaBSi_3O_8$ показаны на рис. 3. Перечисленные минералы распределены в кварцевом агрегате хаотично и крайне неравномерно, образуя либо отдельные разноориентированные кристаллы, либо скопления, как бы “плавающие” в кварцевой матрице. Размеры кристаллов этих минералов находятся в пределах от 5 мм до 5 см, а индивиды полилитионита достигают 10 см. Отметим еще одну особенность всех минералов кварцевых глыб, имеющую существенное значение для интерпретации генезиса этих образований – это крайне слабо проявленная химическая зональность кристаллов. Она почти не наблюдается не только визуально, но и с помощью концентрационных профилей, снятых на микро-РФА, а также при наблюдении под сканирующим электронным микроскопом в режиме BSE. Эти весьма крупные кристаллы, по сути, незональны.

Относительно редко в кварцевых глыбах встречаются мелко-среднезернистые бурые полиминеральные агрегаты (размером от 1 до 15 см в поперечнике), главным минералом которых является Mn-содержащий пектолит. Именно с пектолитовыми агрегатами в наибольшей мере связано разнообразие минералов цезия на Дарай-Пиёзском массиве (табл. 1). Краткая характеристика этих весьма своеобразных образований приведена в нашей публикации о гармите (Паутов и др., 2022).

О ГЕНЕЗИСЕ ПОРОД КВАРЦЕВЫХ ГЛЫБ И ПРИЧИНАХ КОНЦЕНТРАЦИИ В НИХ ЦЕЗИЯ

В породах Дарай-Пиёзского массива в настоящее время известно 14 собственных минералов цезия, причем 13 из них впервые открыты именно здесь (см. обзор в статье: Паутов и др., 2022). Почти все цезиевые минералы Дарай-Пиёза, кроме цезийкуплетскита и телюшенкоита, встречены только в кварцевых глыбах (табл. 1). Нам представляется, что причины обогащения цезием Дарай-Пиёзского массива в целом, а главное, разнообразия цезиевых минералов в нем не могут быть поняты без решения вопроса о происхождении породы, слагающей кварцевые глыбы.

Ассоциация акцессорных минералов в кварцевых глыбах (табл. 1) определенно говорит о том, что среда минералообразования была достаточно высокощелочной (см. ниже данные экспериментов по синтезу в щелочных силикатных системах). Цирконий фиксируется в согдианите и зеравшаните, но не в цирконе, а торий – в туркестаните, но не в торите, что также указывает на высокощелочной характер обстановки кристаллизации минералов. Ассоциация минералов, “плавающих” в кварцевом агрегате, свидетельствует о том, что минералообразующая среда была обогащена Na, Li, K, B, Zr, Ti, Ba, REE, а минеральная ассоциация пектолитового агрегата указывает на обогащенность Na, K, Li, Cs, Ca, Sr, Ba, Zn, F, B, Ti, REE. Крупные кристаллы эгирина, лейкофенита, стиллуэллита-(Ce), полилитионита и микроклина заключены в

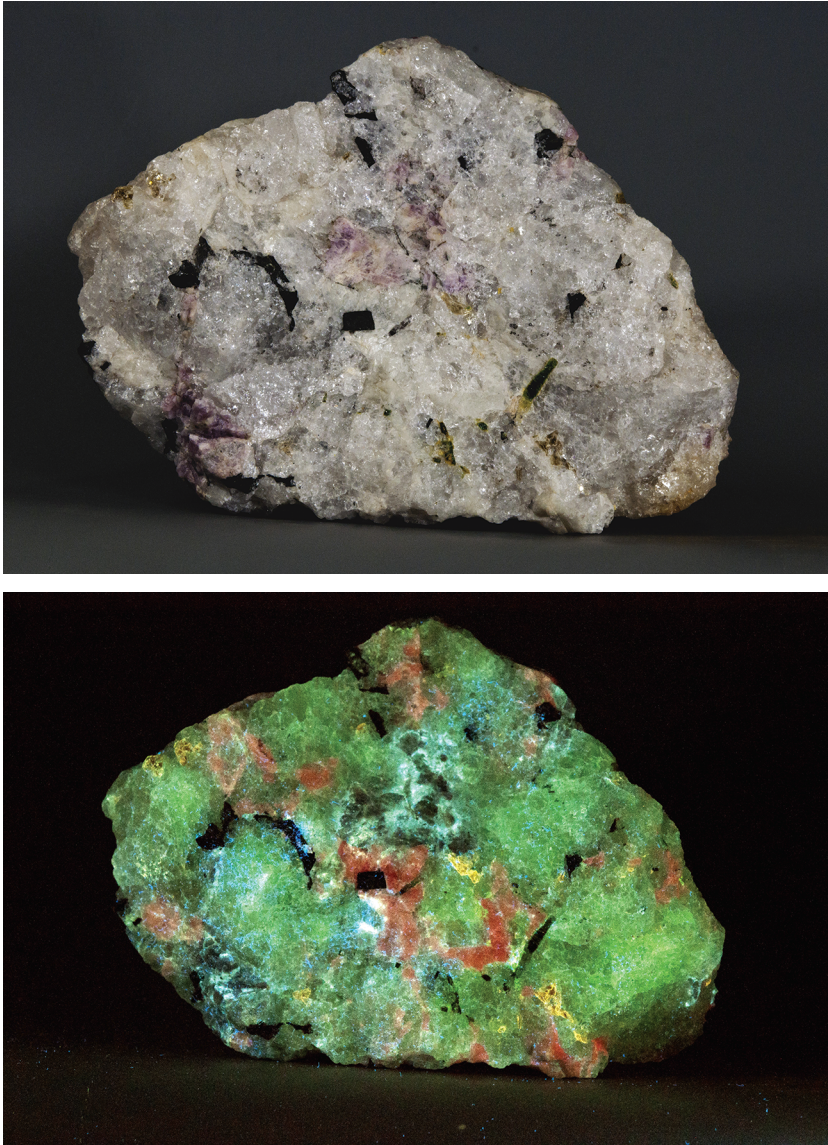


Рис. 2. Фрагмент кварцевой глыбы при обычном освещении (верхний снимок) и в коротковолновом ультрафиолетовом свете (нижний снимок). На верхнем снимке черные призматические зерна – эгирин, фиолетово-розовые зерна – согдианит, белые плохо различимые среди кварца крупные зерна – микроклин, коричневато-золотистые зерна – полилитоинит, темно-зеленое столбчатое зерно – туркестанит. На нижнем снимке видна красная люминесценция микроклина, желтая – полилитоинита, неравномерная яркая зеленая – кварцевого агрегата. Размер образца 30 см.

Fig. 2. Fragment of quartz lump photographed in conventional light (upper image) and shortwave ultraviolet radiation (lower image). Black aegirine, purple sogdianite, white microcline, golden-brown polyolithionite and dark green turkestanite are included in quartz (upper image); microcline fluoresces red, polyolithionite – yellow and quartz aggregate – bright green (lower image). Specimen size: 30 cm.

Таблица 1. Минеральный состав “кварцевых глыб”
Table 1. Minerals of “quartz lumps”

Название	Формула	Кварцевый агрегат	Пектолитовый агрегат
Алаомозит	PbSiO ₃		+
Араповит*	(U,Th)(Ca,Na) ₂ (K _{1-x} □ _x)Si ₈ O ₂₀ ·H ₂ O	+	
Баратовит*	KCa ₇ (Ti,Zr) ₂ Li ₃ Si ₁₂ O ₃₆ F ₂	+	
Виллемит	Zn ₂ SiO ₄	+	+
Висмут	Bi	+	
Галенит	PbS	+	
Гармит*	CsLiMg₂(Si₄O₁₀)F₂		+
Гиалотекит	(Ba,Pb,Ca,K) ₆ (B,Si,Al) ₂ (Si,Be) ₁₀ O ₂₈ (F,Cl)		+
Гидроксилнатропироклор	(Na,Ca,Ce) ₂ Nb ₂ O ₆ (OH)	++	
Горбуновит*	CsLi ₂ (Ti,Fe)Si ₄ O ₁₀ (F,OH,O) ₂		+
Датолит	CaBSiO ₄ (OH)		+++
Дуткевичит-(Ce)*	NaZnBa ₂ Ce ₂ Ti ₂ Si ₈ O ₂₆ F·H ₂ O		+
Зеравшанит*	Na₂Cs₄Zr₃[Si₁₈O₄₅]·2H₂O	+	+
Кальцит	CaCO ₃	+	+
Капицаит-(Y)*	(Ba,K,Pb) ₄ (Y,Ca,Na) ₂ [Si ₈ (B,Si) ₄ O ₂₈]F	+	
Карбокентбруксит*	(Na,□) ₁₂ (Na,Ce) ₃ Ca ₆ Mn ₃ Zr ₃ NbSi ₂₅ O ₇₃ (OH) ₃ (CO ₃)*H ₂ O	+	
Кварц	SiO ₂	+++++	++++
Кирхгофит*	Cs(BSi₂O₆)		+
Крейтерит*	CsLi₂Fe³⁺Si₄O₁₀F₂		+
Лейкосфенит	BaNa ₄ Ti ₂ B ₂ Si ₁₀ O ₃₀	++	
Менделеевит-(Ce)*	Cs₆(Ce₂₂Ca₆)(Si₇₀O₁₇₅)(OH,F)₁₄(H₂O)₂₁		+
Менделеевит-(Nd)*	Cs₆[Nd₂₃Ca₇](Si₇₀O₁₇₅)(OH,F)₁₉(H₂O)₁₆		+
Микроклин	KAlSi ₃ O ₈	+++	
Накарениобсит-(Ce)	Na ₃ Ca ₃ (Ce,La,Pr,Nd)Nb(Si ₂ O ₇) ₂ OF ₃		+
Нептунит	KNa ₂ Li(Fe,Mg,Mn) ₂ Ti ₂ Si ₈ O ₂₄	++	+
Нордит-(Ce)	Na ₃ SrCeZnSi ₆ O ₁₇	+	
Одигтриит*	CsNa₅Ca₅[Si₁₄B₂O₃₈]F₂		+
Орловит*	KLi ₂ TiSi ₄ O ₁₁ F		+
Пековит*	SrB ₂ Si ₂ O ₈		+
Пектолит	Na(Ca,Mn) ₂ Si ₃ O ₈ (OH)		++++
Полилитионит	KLi ₂ AlSi ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	+++	++
Поллцит	(Cs,Na)₂Al₂Si₄O₁₂		+
Ридмерджерит	NaBSi ₃ O ₈	+++	
Ринкит-(Ce)	(Ca ₃ REE)Na(NaCa)Ti(Si ₂ O ₇) ₂ (OF)F ₂		+
Сенкевичит*	CsKNaCa₂TiO[Si₇O₁₈](OH)		+
Согдианит*	(K,Na) ₂ (Li,Fe,Al) ₃ ZrSi ₁₂ O ₃₀	+++	
Соколоваит*	CsLi₂Al(Si₄O₁₀)F₂		+
Стиллуэллит-(Ce)	(Ce,La)BSiO ₅	++	+
Сугилит	KNa ₂ Fe ₃ Li ₃ Si ₁₂ O ₃₀	++	
Сфалерит	ZnS	+	
Таджикит-(Ce)*	Ca ₃ (Ce,Y) ₂ (Ti,Al,Fe)B ₄ Si ₄ O ₂₂	+	
Туркестанит*	Th(Ca,Na) ₂ (K _{1-x} □ _x)Si ₈ O ₂₀ ·nH ₂ O	++	
Файзиевит*	K ₂ Na(Ca ₆ Na)Ti ₄ Li ₆ Si ₂₄ O ₆₆ F ₂	+	
Флюорит	(Ca,Sr)F ₂		+++
Фторапатит	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	+	+
Фторапофиллит	KCa ₄ (Si ₈ O ₂₀)F·8H ₂ O		+
Фторапофиллит-(Cs)*	CsCa₄(Si₈O₂₀)F·8H₂O	+	
Цектцерит	NaLiZrSi ₆ O ₁₅	+	
Хворовит*	(Pb,Ba,K) ₄ Ca ₂ [Si ₈ B ₂ (Si,B) ₂ O ₂₈]F		+
Эгирин	NaFeSi ₂ O ₆	+++	++

Примечание. Жирным шрифтом выделены собственные минералы цезия. В двух правых столбцах показана распространенность минерала, оцененная по пятибалльной шкале: (+) – весьма редкий, (+++++) – главный породообразующий минерал. Звездочкой обозначены минералы, открытые на Дарай-Пиэзе.

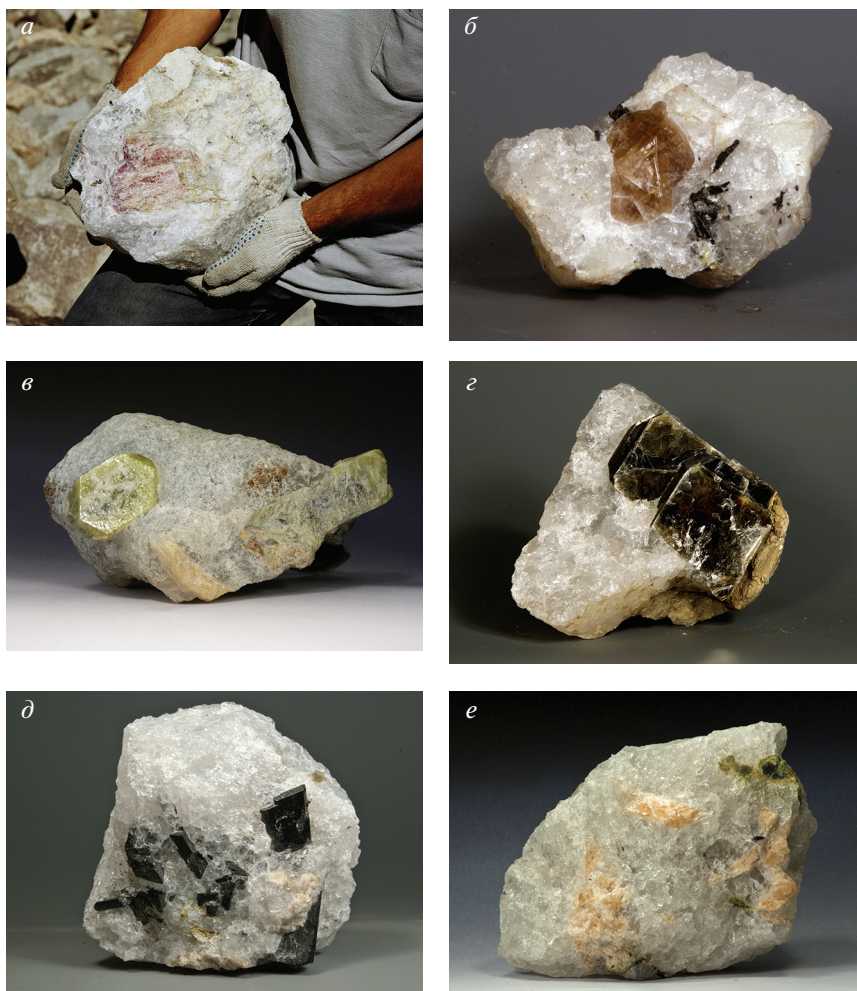


Рис. 3. Минералы кварцевых глыб. *a* – крупное фиолетово-розовое таблитчатое зерно минерала ряда согдианит–сугилит в кварце; размеры образца $40 \times 30 \times 30$ см; *б* – красновато-коричневый кристалл стиллуэллита-(Ce) в кварце; размеры образца $7 \times 5 \times 3$ см; *в* – желто-зеленые кристаллы лейкоspfенита в кварце с ридмерджернитом; размеры образца $12 \times 6 \times 5$ см; *г* – сросток таблитчатых кристаллов полилитионита в кварце; размеры образца $7 \times 5 \times 3$ см; *д* – черные кристаллы эгирина в кварце; размеры образца $7 \times 5 \times 3$ см; *е* – светло-оранжевые зерна ридмерджернита и желто-зеленые выделения измененного туркестанита в кварце; размеры образца $7 \times 6 \times 5$ см.

Fig. 3. Minerals of the essentially quartz rocks: (*a*) purple sogdianite–sugilite series mineral in quartz; (*b*) reddish-brown stillwellite-(Ce) crystal in quartz; (*c*) yellow-green leucosphenite crystals with light orange reedmergnerite in quartz; (*d*) polythionite crystals in quartz; (*e*) aegirine crystals in quartz; (*e*) light orange reedmergnerite and yellow-green altered turkestanite in quartz.

массивный зернистый агрегат кварца, в котором не просматриваются кристификационные или какие-либо другие текстуры, которые могли бы помочь восстановить механизмы и последовательность выполнения пространства, занятого сейчас кварцевым агрегатом. Кристаллы перечисленных минералов, как правило, хорошо образованы. В то же время, практически у всех кристаллов силикатов, заключенных в кварце, наряду с идиоморфными ограничениями имеются участки поверхности со скульптурой, ко-

торая с определенной долей допущения может интерпретироваться как индукционная поверхность совместного роста с кварцем (или же как реликтовая индукционная поверхность). Примечательно, что хорошо образованные головки кристаллов акцессорных минералов ориентированы в кварцевом агрегате хаотично. Морфология кристаллов акцессорных минералов (присутствие элементов скелетного роста) и довольно частое нахождение в них округлых включений кварца может указывать на метасоматический рост или на рост кристаллов в вязкой среде, в которой во взвешенном состоянии находились и растущие индивиды кварца. Такой средой минералообразования могла быть вязкая водно-силикатная жидкость (ВСЖ) коллоидной природы. В пользу такой точки зрения говорит и анатомия кристаллов акцессорных минералов – весьма слабо проявленная зональность, что характерно для кристаллов, выросших в гелях (Гениш, 1973).

Под водно-силикатными жидкостями мы, вслед за И.В. Векслером и С.З. Смирновым, будем понимать жидкие среды с мольным отношением $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$, близким к 1–2, сосуществующие с водным флюидом (Veksler, 2004; Smirnov et al., 2005; Смирнов и др., 2017).

Одной из нерешенных проблем генетической минералогии является проблема образования таких существенно кварцевых пород, как силекситы в массивах щелочных гранитов и кварцевые ядра в гранитных пегматитах. Трудности в объяснении механизма заполнения жил сливным кварцем без крустификационных текстур, иногда со взвешенными обломками вмещающих пород, беспорядочное расположение кристаллов рудных минералов в жильной массе достаточно давно наталкивали исследователей на идею о существовании вязкой и высококонцентрированной обогатенной кремнеземом среды минералообразования. Так, Ф.В. Чухров писал: “*В 1892–1893 гг. русским горным инженером В.А. Кратом на основании изучения алтайских месторождений была высказана теория заполнения жильных трещин густыми студенистыми водными растворами кремнезема, давшего в результате кристаллизации жильный кварц*” (Чухров, 1955). В 20-х годах XX в. вышла работа Дж. Спёрра “О рудной магме” (Spurr, 1924), которая в геологической среде вызвала много споров и критики. По результатам обстоятельного изучения вольфрамитовых месторождений Забайкалья Г.В. Холмов (1929), а позднее О.Д. Левицкий (1939) пришли к выводу о кристаллизации жильного кварца из вязких высококонцентрированных растворов. Однако отсутствие на то время экспериментального подтверждения возможности существования таких сред не способствовало распространению этих идей.

Ситуация существенно изменилась с расширением экспериментальных работ по изучению систем $\text{SiO}_2\text{—H}_2\text{O—M}$ (M – солевой компонент) при высоких температурах и давлениях. Особая, в том числе стимулирующая роль принадлежит работам по гидротермальному синтезу (росту) кварца для нужд промышленности. В 40-х годах XX века в связи с истощением запасов природного пьезооптического горного хрусталя большой интерес к выращиванию синтетического кварца проявляло Управление вооруженных сил Америки. О.Ф. Таттл и И.И. Фридман обнаружили расслоение жидкости в системе $\text{SiO}_2\text{—H}_2\text{O—Na}_2\text{O}$ с образованием обычного раствора и более плотной жидкости (“тяжелой фазы”), напоминающей по консистенции смазочное масло. Максимальное содержание кремнезема в “тяжелой фазе” (SiO_2 55.4 мас. %, Na_2O 20.1 мас. %, H_2O 24.5 мас. %) наблюдалось в опытах, проведенных при 350 °С (Tuttle, Friedman, 1948). В нашей стране первые работы по синтезу кварца были поставлены в 1939 г. Н.Н. Шефталем по инициативе А.В. Шубникова, но были прерваны войной и возобновились только в 1945 г. В 1950-е годы В.П. Бутузовым и Л.В. Брятовым были исследованы фазовые равновесия в водно-солевой системе $\text{SiO}_2\text{—H}_2\text{O—Na}_2\text{CO}_3$ в температурном диапазоне 250–500 °С при давлении до 2 кбар. Образование “тяжелой” фазы наблюдается уже в 5%-ном растворе Na_2CO_3 (Бутузов, Брятов, 1957). При раскристаллизации “тяжелой фазы”, загрязненной железом от стенок автоклава, образуются эгирин и $\text{KNaFe}[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ – аналог фенаксита (Коваленко и др., 1977). Поскольку образование водно-силикатной жидкости (“тяжелой фазы”) при выращивании кварца порождало определенную технологическую проблему, то изучению этого вопроса

посвящено большое число исследований, обзор которых можно найти в работе (Синтез..., 1987).

Процессы расслаивания в водно-силикатных системах и сегодня привлекают пристальное внимание многих физико-химиков и петрологов, и количество публикаций по этим проблемам непрерывно растет. Все чаще на основании экспериментальных работ и изучения флюидных включений в природных и синтетических минералах образование ВСЖ привлекается для трактовки генезиса пегматитов и рудных месторождений (Анфилогов и др., 1995, 2005; Sowerby, Keppler, 2002; Смирнов и др., 2003, 2017, 2019; Veksler, 2004; Smirnov et al., 2005; Котельникова, Котельников, 2009; Перетяжко и др., 2010; Алферьева и др., 2011; Томас и др., 2014; Смирнов, 2015; и мн. др.)

Кратко остановимся только на некоторых экспериментальных работах, результаты которых могут быть непосредственно привлечены к обсуждаемой нами проблеме генезиса пород кварцевых глыб, учитывая, что минералообразующая среда здесь была обогащена не только Na, но и K, а также B, Li, Cs и целым рядом других литофильных редких элементов.

Базовая система $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ изучена достаточно хорошо (Tuttle, Friedman, 1948; Morey, Hesselgesser, 1952; Бутузов, Брятов, 1957; Кравчук, Валяшко, 1979; Валяшко, 1990; и др.), и эффект расслоения в ней с образованием ВСЖ (“тяжелой фазы”) в широком интервале температур и давлений – по крайней мере, от 350 до 700 °C и от 200 до 5000 атм не вызывает сомнения. В более сложной системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ при температуре 700 °C также происходит расслоение с образованием расплава, флюида и жидкой фазы (геля) (Анфилогов и др., 1995). В системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ наблюдается несмесимость, аналогично системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$. Образование боросиликатной вязкой (глицериноподобной по консистенции) жидкости коллоидной природы происходит при температуре 520 °C и давлении 1.5 кбар при содержании NaOH более 3.1 мас. %. ВСЖ боросиликатного состава при охлаждении образует стекловатую фазу, которая содержит: SiO_2 52.8–61.8 мас. %, Na_2O 14.2–16.8 мас. %, B_2O_3 8.7–15.7 мас. %, H_2O 7.7–9.1 мас. %. Значительное количество натрия и почти весь бор перераспределяются в ВСЖ (Smirnov et al., 2005). Еще более усложненные и приближенные к природным системы были экспериментально изучены С.З. Смирновым с коллегами позже. Детально исследовалась система гранит–вода ($[\text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}]-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ с добавлением 1.8–12 мас. % NaOH при температурах 600 и 620 °C и давлении 1.5 кбар. В этих опытах как источник Li, K и Al использовался сподуменовый редкометалльный гранит Алахинского месторождения (Алтай). Появление силикатных стекловатых продуктов во всех экспериментах показывает, что в изученных системах произошло образование водно-силикатной жидкости-геля, которая в результате охлаждения или закалки переходит в стекловатые продукты. Установлена способность водно-силикатных жидкостей при температуре 600 °C и давлении около 1.5 кбар к экстремальному концентрированию редких литофильных металлов (Li, Cs, Be, Nb, Ta), цинка, фтора и бора из щелочного водного флюида (Смирнов, 2015; Смирнов и др., 2017). Водно-силикатные жидкости являются средой кристаллизации кварца и силикатов. В продуктах опытов обнаружены взвешенные в стекловатой массе кристаллы кварца размером до нескольких миллиметров, иногда с элементами скелетного роста (Смирнов, 2015).

Представляется как минимум два возможных сценария образования водно-силикатных жидкостей: (1) путем трансформации флюидонасыщенного силикатного расплава в водный флюид (Смирнов, 2015) и (2) в результате взаимодействия щелочного флюида с ранее образованными ассоциациями силикатных минералов (Томас и др., 2014). В строгом смысле, опыты в системе гранит– $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ воспроизводят именно второй сценарий. Возможно, что и в опытах Г.П. Зарайского, направленных на моделирование процесса образования чаррита при взаимодействии кварцсодержащих пород при 550 °C с щелочным (калиевым) раствором, образовывался не расплав,

переходящий при охлаждении в стекло, как считал сам экспериментатор (Зарайский, 2007), а ВСЖ, при понижении температуры затвердевавшая.

Первый сценарий применим для гипотезы образования кварцевых ядер в гранитных пегматитах из водно-силикатных жидкостей (Смирнов, 2015). В пользу участия ВСЖ в образовании гранитных пегматитов говорят флюидные включения в минералах, содержащие агрегаты алюмосиликатов, которые после гомогенизации закалываются в стекло с высоким содержанием воды (15–25 мас. %) и экстремально высокими даже для гранит-пегматитовых систем концентрациями Cs, Ta, Nb, Be, В, F (Смирнов и др., 2003; Томас и др., 2014).

Можно предположить, что и кварцевые глыбы Дарай-Пиёза являются фрагментами кварцевых ядер специфических пересыщенных кремнеземом высокогапитовых щелочных пегматитов. Применить представления об образовании из водно-силикатных жидкостей для кварцевых глыб даже проще, чем для “нормальных” гранитных пегматитов, если учесть щелочной характер растворов и малую вероятность образования турмалина (который нередок в гранитных пегматитах) в высокощелочной среде. Предположение, что кварцевые глыбы являются фрагментами кварцевых ядер зональных пегматитов, высказывал большой знаток Дарай-Пиёза В.Д. Дусматов (персональное сообщение). К сожалению, как уже говорилось, пока не найдены какие-либо пегматиты (как и любые другие образования) с кварцевыми ядрами, которые были бы аналогичны по минеральному составу кварцевым глыбам, и потому неясно, существуют ли вообще такие пегматиты.

Второй сценарий, который представляется нам весьма вероятным — это образование “кварцевых глыб” из водно-силикатной жидкости, возникшей при взаимодействии щелочного флюида, вызвавшего обширную фенитизацию пород Дарай-Пиёзского массива, с кварцсодержащими породами массива — гранитами и их пегматитами. Фенитизированные породы отмечены в центральной и южной частях массива Дарай-Пиёз на геологической карте, составленной по результатам групповой геологической съемки масштаба 1 : 50000 под руководством А.А. Бригинского (1988 г., неопубликованные материалы). Колоссальную роль фенитизации на Дарай-Пиёзском массиве неоднократно подчеркивал Э.М. Спиридонов (персональные сообщения). Действительно, фенитизированные породы обнажаются в ряде скальных выходов в окрестностях сая Ледового на правом борту долины и напротив этого сая на левом борту ледниковой долины. Ряд выходов фенитизированных пород имеется в южной части массива. Масштабы фенитизации особенно ярко проявляются в колоссальном объеме фенитизированных пород в составе обломочного материала морены: в некоторых участках ледника от сая Ледового и ниже по течению р. Дарай-Пиёз они явно преобладают в моренных отложениях. Масштаб развития фенитизированных пород трудно сопоставить с относительно небольшим количеством встреченных глыб карбонатитов и тем более с мелкими телами карбонатитов, встреченными в коренном залегании у южной оконечности массива. Возможно, обширную фенитизацию пород вызвали тела карбонатитов, пока нам не известные: не вскрытые эрозией или недоступные для наблюдения из-за скального рельефа и ледников. Такое предположение представляется весьма вероятным, так как для матчайского интрузивного комплекса характерно проявление карбонатитового магматизма на заключительных стадиях становления (Ненахов и др., 1992; Konopelko et al., 2017; Vrublevskii et al., 2018). Отметим, что ареал распространения кварцевых глыб на леднике Дарай-Пиёз в грубом приближении совпадает с площадью распространения обломков и глыб фенитов. Наибольшее число кварцевых глыб найдено в районе сая Ледового, т.е. там, где массив рассекается серией субширотных разломов.

Нам представляется, что возникновение водно-силикатных жидкостей было наиболее вероятным в тех участках массива, где щелочные фенитизирующие растворы не только пропитывали породу по межзерновым границам, а двигались по зонам перетертых, милонитизированных пород и по открытым трещинам. Такие условия могли реализоваться в зоне субширотных разломов, т.е. географически как раз там, где и на-

блюдается наибольшее количество кварцевых глыб в свалах и моренных отложениях. Водно-силикатные жидкости, если они действительно существовали, могли быть выдвинуты в трещины, где и образовали при раскристаллизации геля тела силекситов, которые стали при эрозии массива источником кварцевых глыб.

Версии образования кварцевых глыб из водно-силикатных жидкостей, как нам кажется, способны удовлетворительно объяснить ряд особенностей этих загадочных образований. Так, сливной облик агрегатов зернистого кварца со взвешенными в них кристаллами акцессорных минералов с элементами скелетного роста можно объяснить раскристаллизацией вязкой ВСЖ. Зарождение кристаллов лейкофенита, полилитионита, эгирина, стиллуэллита-(Ce) и других акцессорных минералов могло начаться, когда в гелевой массе уже стал образовываться кварц, и межзерновая среда в силу этого обогащалась всеми присутствующими компонентами, кроме SiO_2 , и становилась все более вязкой. Этим можно объяснить присутствие на кристаллах силикатов участков с поверхностями, похожими на индукционные поверхности совместного роста с кварцем. Дальнейший рост кристаллов акцессорных минералов мог происходить в густеющей “каше” из ВСЖ и множества индивидов кварца и закончиться даже метасоматическим ростом. Слабо проявленная ростовая зональность кристаллов акцессорных минералов также косвенно говорит в пользу роста кристаллов в вязкой среде с затрудненной диффузией компонентов, необходимых для их роста.

Пока малопонятен механизм образования пектолитовых агрегатов в “кварцевых глыбах”. Можно, пусть и без каких-либо веских оснований, предположить несколько вариантов: (1) расслоение ВСЖ на две жидкости, одна из которых, существенно обогащенная Na, Ca и F, как раз и дала начало пектолитовым агрегатам; (2) образование пектолитовых агрегатов из отжимающихся остатков от кристаллизации кварцевого агрегата; (3) контаминацию сгустков карбонатитового расплава водно-силикатной жидкостью.

Способность кварца кварцевых глыб пятнисто светиться зеленым цветом при облучении ультрафиолетовым светом (рис. 2) можно связать с хорошо известной способностью гелей кремнезема сорбировать из раствора уранил-ионы.

Ассоциация литиевых (полилитионит, цезий-литиевые слюды, согдианит-сугилит, нептунит и др.) и борных (ридмерджерит, лейкофенит, стиллуэллит-(Ce), датолит и др.) минералов в кварцевых глыбах находит в рамках рассматриваемой версии закономерное объяснение: литий и бор практически полностью перераспределялись из водного раствора в водно-силикатную жидкость. Такое поведение лития и бора было убедительно доказано в экспериментах по изучению ВСЖ (Smirnov et al., 2005; Смирнов, 2015). Одним из источников бора и лития могли быть турмалиновые граниты и пегматиты Дараи-Пиёзского массива, вовлеченные в процесс фенитизации.

Образование цезиевых минералов, в том числе гармита, также может быть связано со способностью водно-силикатных жидкостей “экстрагировать” Cs из сосуществующего с ВСЖ флюида. Коэффициент распределения цезия между ВСЖ и раствором может достигать, по экспериментальным данным, величин более 100 и не опускается ниже 10 (Смирнов, 2015). Поскольку цезиевые минералы, как правило, являются более поздними, чем кварц, и в основном приурочены к пектолитовым агрегатам, то, возможно, большая роль принадлежит дополнительному концентрированию цезия в остаточном флюиде за счет кристаллизации кварца и других минералов, в которые цезий не входит из-за своего большого ионного радиуса. Если допустить, что, например, кристаллы лейкофенита закончили свой рост, когда практически весь гель ВСЖ раскристаллизовался, перейдя в кварцевый агрегат, то обнаруженные в лейкофените обильные многофазные включения минералообразующей среды с кристаллами цезиевых фаз (рис. 4, 5) служат подтверждением того, что на заключительных этапах формирования “кварцевых глыб” среда минералообразования была высококонцентрированной и аномально обогащенной цезием. Возможно, что дополнительно такому обогащению минералообразующей среды в граничном с кристаллом слое некогерентными составу растущего минерала компонентами могла способствовать

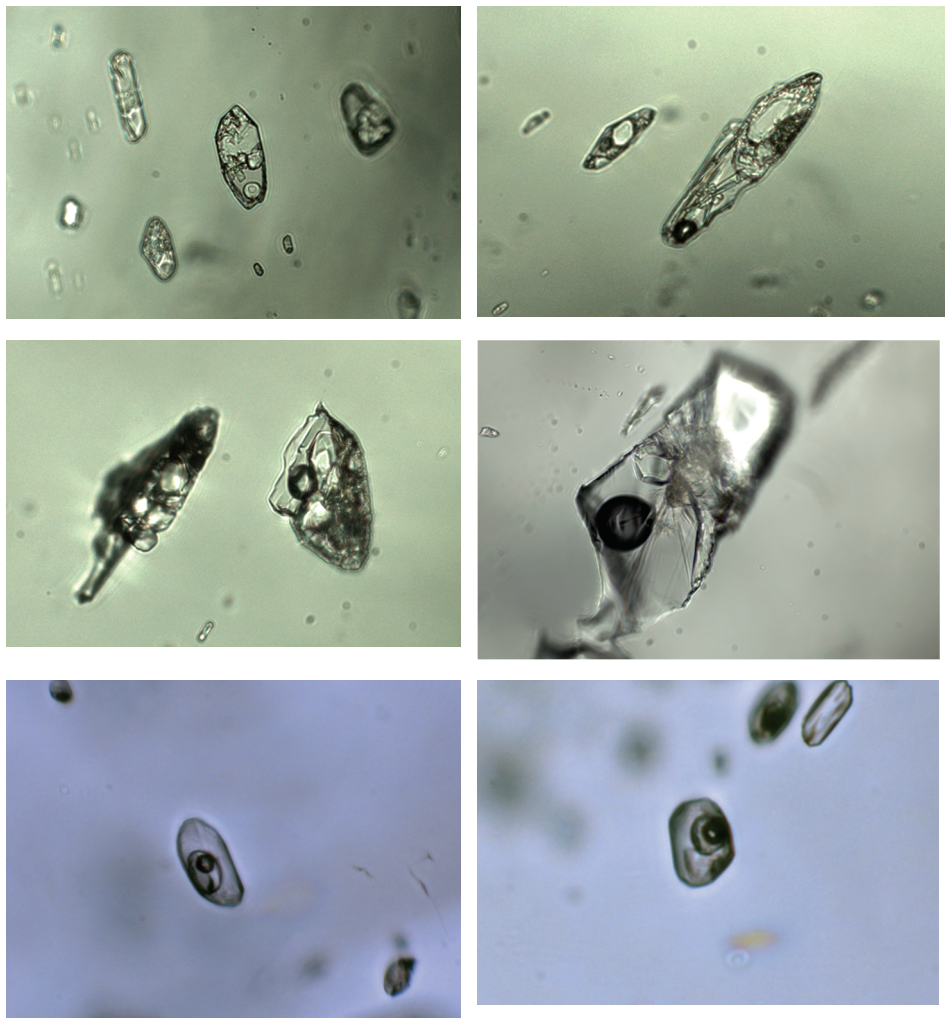


Рис. 4. Многофазные включения, предположительно минералообразующей среды, в лейкосфените из кварцевых глыб (проходящий свет, при одном николе; ширина поля зрения 150 мкм).

Fig. 4. Polyphase inclusions, presumably of mineral-forming medium, in leucosphenite from quartz lumps (transmitted light; FOV width 150 μm).

высокая вязкость ВСЖ, в которой удаление за счет диффузии “лишних” компонентов с фронта кристаллизации более затруднено, чем в истинных растворах. Источником цезия, наряду с литием и бором, могли быть граниты и их пегматиты, которые затронула фенитизация. По данным В.В. Могаровского (1987), характерной особенностью интрузивных пород Тянь-Шаня в целом является несколько повышенное содержание цезия, в среднем в 2–3 раза превосходящее кларковое.

Таким образом, версии образования из водно-силикатных жидкостей непротиворечиво объясняют текстурно-структурные особенности кварцевых глыб, их минеральный состав и вероятные причины “ураганного” концентрирования в них Cs, Li и B. Однако, они остаются пока только версиями, требующими доказательств.

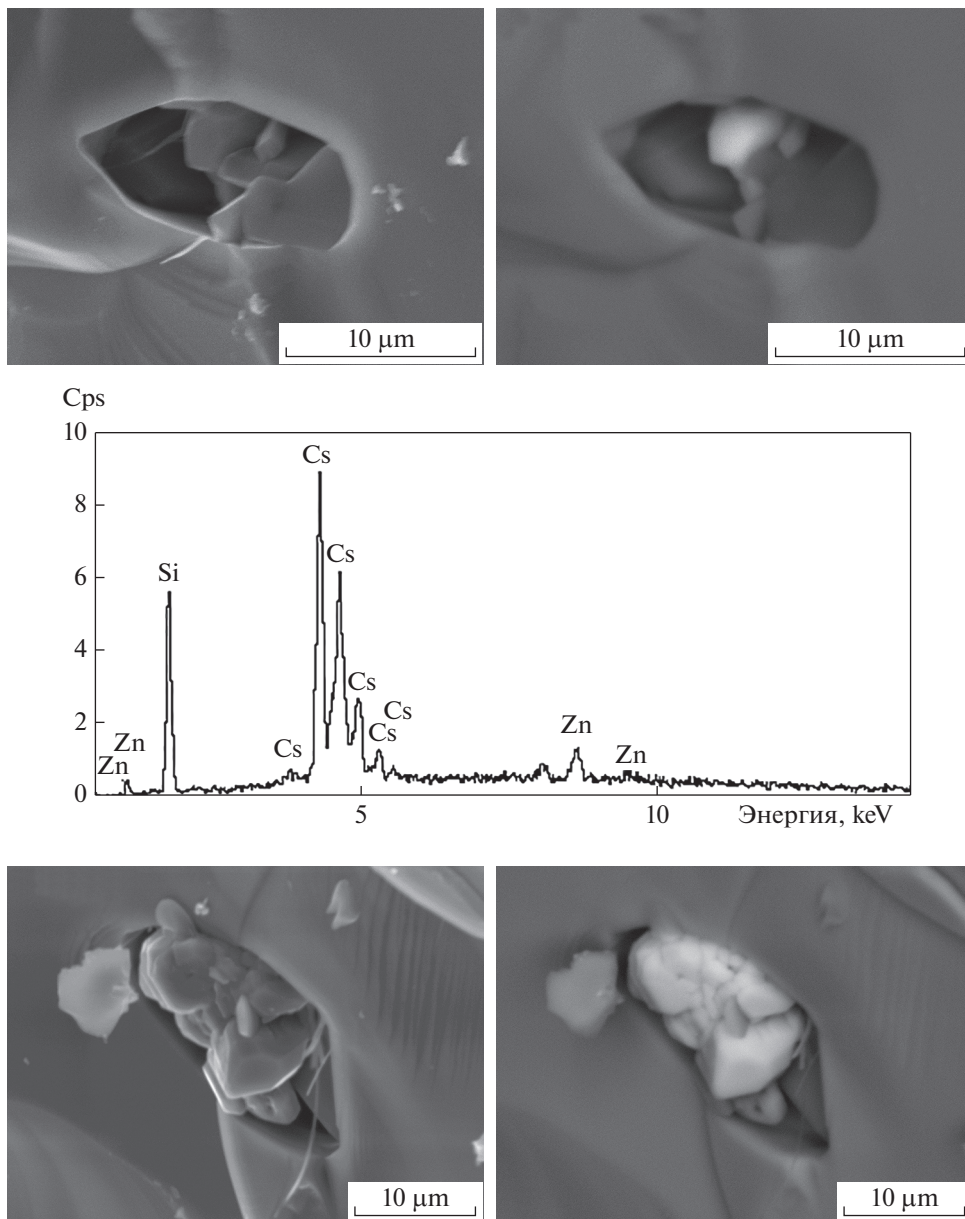


Рис. 5. Вскрытые многофазные флюидные включения в лейкоspfените из кварцевых глыб. Фотографии сделаны на сканирующем электронном микроскопе: левые – в режиме вторичных электронов, правые – в режиме отраженных электронов. В полостях включений видны светлые на снимках в режиме отраженных электронов “тяжелые” (с большим средним атомным номером, чем сопутствующие фазы) выделения цезиевых силикатов, энергодисперсионные спектры которых приведены под фотографиями включений.

Fig. 5. Uncovered polyphase fluid inclusions in leucosphenite from quartz lumps. SEM images: left images, SE mode, right images, BSE mode. Light in BSE images phases are cesium silicates (their ED spectra are shown under the photographs).

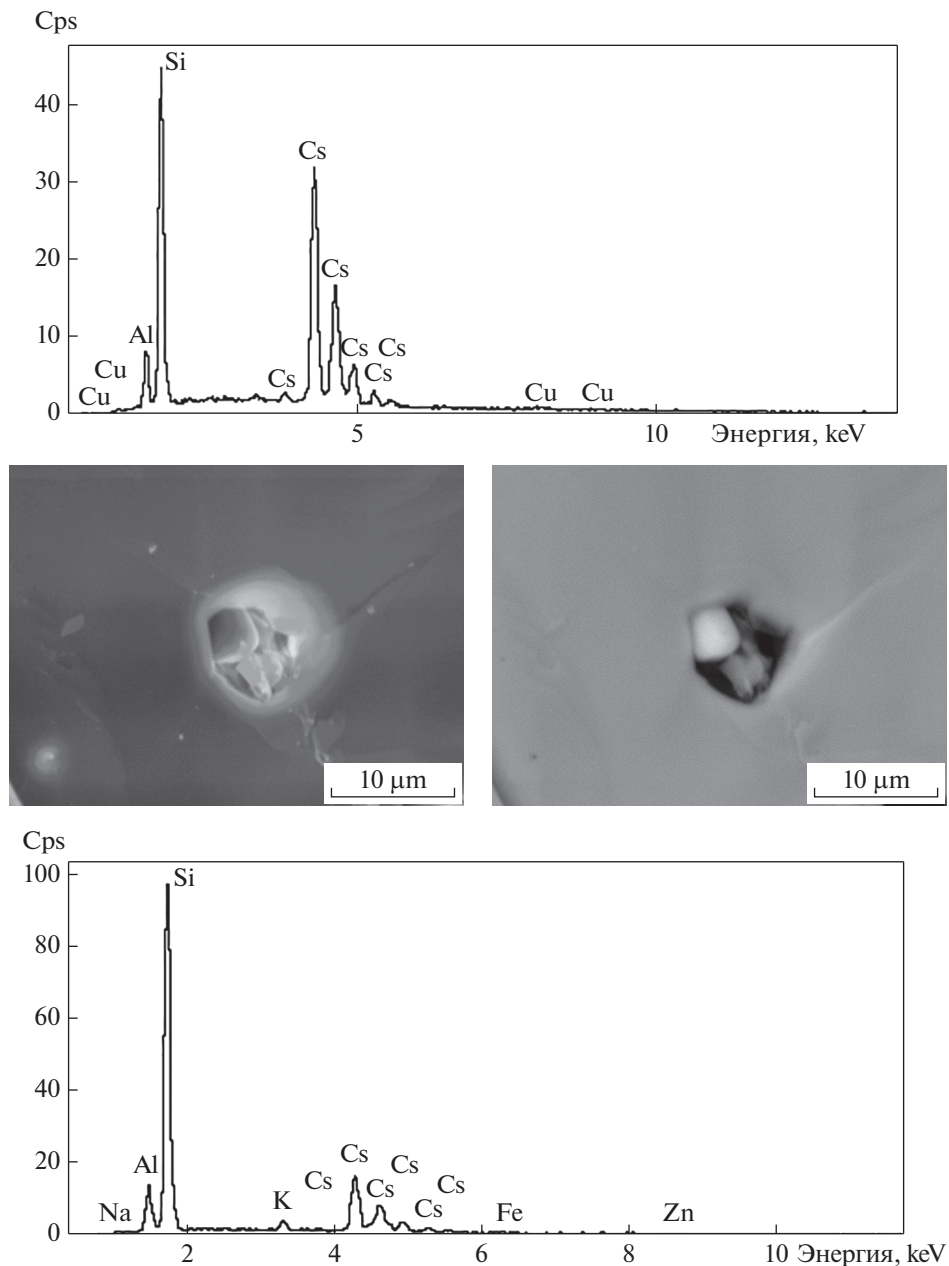


Рис. 5. Продолжение.

Судя по геологическим, минералого-геохимическим и некоторым структурно-текстурным характеристикам, породам дараи-пиэзских кварцевых глыб родственны силекситы, хорошо известные во многих комплексах со щелочными гранитами. В качестве яркого примера можно привести разносторонне изученные (Бельков и др., 1988)

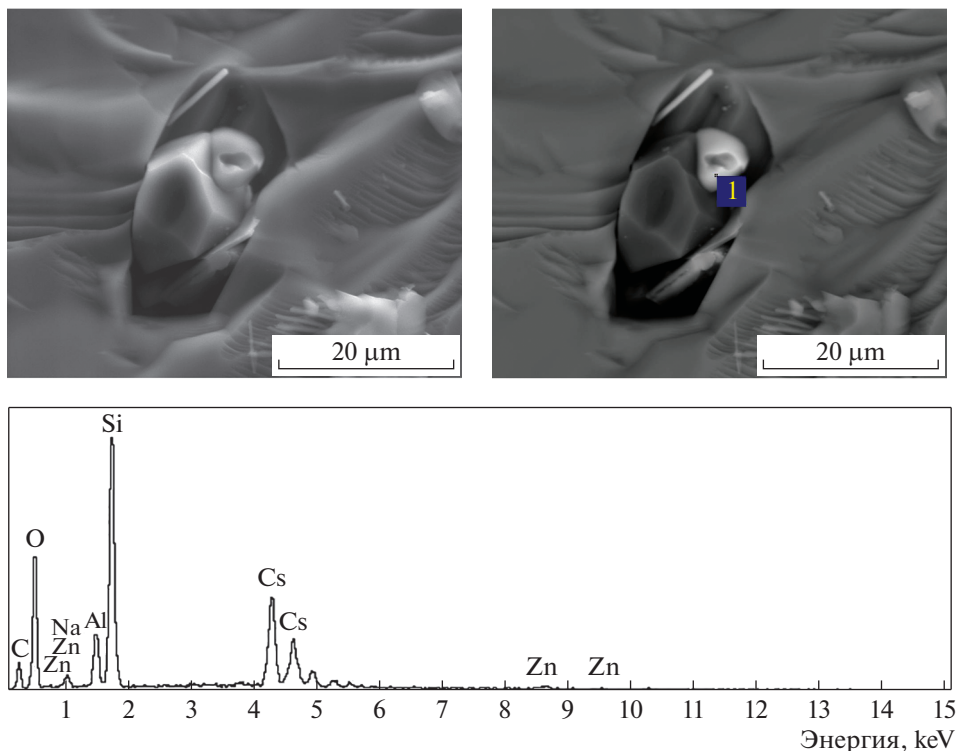


Рис. 5. Окончание.

силекситы Кейв на Кольском полуострове. Эти существенно кварцевые породы (кварца в них не менее 60%) содержат в качестве второстепенных компонентов эгирин и/или арфведсонит, аннит, а содержание полевого шпата в них мало – обычно не более первых процентов. Характерной геохимической особенностью силекситов щелочных гранитов является обогащение их фтором, титаном и литофильными редкими металлами – Y, лантаноидами всего ряда, Th, Zr, Nb. Главными носителями этих элементов чаще всего выступают флюорит (F, REE), ильменит, астрофиллит (Ti), циркон (Zr), редкоземельные титано-ниобаты и карбонаты, члены группы бритолита, монацит, ксенотим, торит, чевкинит (REE, Th, Nb). Обособления этих минералов, нередко крупные, по несколько сантиметров, обычно вырастают непосредственно в сливной кварц. Тела редкометалльных силекситов, приуроченные к щелочным гранитам Кейв, достигают в размерах 40 × 40 м (Бельков и др., 1988; Бельков, Батиева, 1991). Отметим, что именно с силекситами щелочных гранитов связано комплексное REE(Y)-Nb-Zr месторождение Джабаль Хамра в Саудовской Аравии (Drysdall et al., 1984).

В заключение отметим, что версия образования водно-силикатных жидкостей не в результате трансформации пегматитообразующего расплава при охлаждении, а в результате взаимодействия фенитизирующего щелочного флюида, отделившегося от массива карбонатитов с кварцсодержащими породами (особенно благоприятными здесь представляются турмалиновые граниты), непротиворечиво объясняет образование пород, слагающих загадочные кварцевые глыбы Дараи-Пиёза с уникальной цезиевой, борной и литиевой минерализацией.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 20-05-00060. Авторы благодарят за содействие в проведении полевых работ на Дараи-Пиёзском массиве Р.У. Сабирову, всех участников экспедиционных работ и прежде всего П.В. Хворова, Т. Беркелиева, А.Р. Файзиева, М.А. Миракова, М.А. Шодибекова, Н. Раджабова, за получение спектров люминесценции В.А. Рассулова, а за советы и обсуждение Э.М. Спиридонова, Д.И. Белаковского и А.О. Карпова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агаханов А.А., Паутов Л.А., Уварова Ю.А., Соколова Е.В., Хавторн Ф., Карпенко В.Ю., Гафуров Ф.Г. Наливкинит, $\text{Li}_2\text{NaFe}_7^{2+}\text{Ti}_2(\text{Si}_8\text{O}_{24})\text{O}_2(\text{OH})_4\text{F}$, новый минерал из группы астрофиллита с Дараи-Пиёзского массива (Таджикистан) // Новые данные о минералах. **2008**. Вып. 43. С. 5–13.
- Алферьева Я.О., Граменицкий Е.Н., Шекина Т.И. Экспериментальное изучение фазовых отношений в литийсодержащей богатой фтором гаплогранитной и нефелин-сиенитовой системе // Геохимия. **2011**. № 7. С. 713–728.
- Анфилов В.Н., Волков А.Ю., Быков В.Н., Эрлих Э.Н. Ликвация в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ // Уральский минералогический сборник. № 5. Миасс: ИМин УрО РАН, **1995**. С. 270–278.
- Анфилов В.Н., Быков В.Н., Осипов А.А. Силикатные расплавы. М.: Наука, **2005**. 357 с.
- Бельков И.В., Батиева И.Д. Новые данные по редкометальной минералогии силекситового штока в Пурначском массиве щелочных гранитов // Новые данные по минералогии редких элементов Кольского полуострова. Апатиты: изд-во КНЦ РАН, **1991**. С. 15–19.
- Бельков И.В., Батиева И.Д., Виноградова Г.В., Виноградов А.Н. Минерализация и флюидный режим контактных зон интрузий щелочных гранитов. Апатиты: изд-во КолФАН СССР, **1988**. 110 с.
- Бутузов В.П., Брятов Л.В. Исследование фазовых равновесий части системы $\text{H}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{CO}_3$ при высоких температурах и давлениях // Кристаллография. **1957**. Т. 204. № 4. С. 944–947.
- Валяшко В.М. Фазовые равновесия и свойства гидротермальных систем. М.: Наука, **1990**. 270 с.
- Гениш Г. Выращивание кристаллов в гелях. М.: Мир. **1973**. 112 с.
- Гинзбург И.В., Семенов Е.И., Леонова Л.Л., Сидоренко Г.А., Дусматов В.Д. Богатый щелочами кристаллический эканит Средней Азии // Тр. Минер. музея АН СССР. Вып. 16. **1965**. С. 57–72.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дараи-Пиёз (Южный Тянь-Шань). Дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., **1971**. 171 с.
- Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф., Семенов Е.И. Первые находки стилвеллита в СССР // Докл. АН СССР. **1963**. Т. 153. № 4. С. 913–915.
- Дусматов В.Д., Попова Н.А., Кабанова Л.К. О первой находке ридмерджнерита в СССР // Докл. АН ТаджССР. **1967**. Т. X. № 10. С. 51–53.
- Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф., Алхазов В.Ю., Казакова М.Е., Шумяцкая Н.Г. Тяньшанит – новый минерал // Докл. АН СССР. **1967а**. Т. 177. № 3. С. 678–680.
- Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф., Катаева З.Т., Хорошилова Л.А., Янулов К.П. Согдианит – новый минерал // Докл. АН СССР. **1968**. Т. 182. № 5. С. 1176–1177.
- Дусматов В.Д., Семенов Е.И., Хомяков А.П., Быкова А.В., Джабаров Н.Х. Баратовит – новый минерал // ЗВМО. **1975**. № 5. С. 580–582.
- Ефимов А.Ф., Дусматов В.Д., Алхазов Ю.А., Пудовкина З.В., Казакова М.Е. Таджикит – новый боросиликат редких земель из группы гелландита // Докл. АН СССР. **1970**. Т. 195. № 5. С. 1190–1193.
- Зарайский Г.П. Эксперимент в решении проблем метасоматизма. М.: ГЕОС, **2007**. 136 с.
- Коваленко В.С., Мельникова Е.М., Цинобер Л.И. О раскристаллизации “тяжелой фазы” в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{FeO}$ // Докл. АН СССР. **1977**. Т. 232. № 6. С. 1302–1303.
- Котельникова З.А., Котельников А.Р. Расслоение жидкости в присутствии пара в синтетических флюидных включениях, синтезированных из растворов Na_2CO_3 // Докл. РАН. **2009**. Т. 429. № 5. С. 652–654.
- Кравчук К.Г., Валяшко В.М. Диаграмма состояния системы $\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$ // Методы экспериментального исследования гидротермальных равновесий. Новосибирск: Наука, **1979**. С. 105–117.
- Левицкий О.Д. Вольфрамовые месторождения Восточного Забайкалья // Месторождения редких и малых металлов СССР. Под ред. Ферсмана А.Е. Т. 2. М.–Л.: АН СССР, **1939**. С. 5–271.
- Майоров И.П., Гаврилин Р.Д. Карбонатиты из верхнепалеозойской геосинклинали Туркестано-Алая // Советская геология. **1971**. № 10. С. 111–116.
- Могаровский В.В. Геохимия редких элементов интрузивных пород Таджикистана. Душанбе: Дониш, **1987**. 295 с.

Москвин А.В. География и геология Восточного Каратегина // Таджикско-Памирская экспедиция 1935 года. М.-Л., 1937. С. 682–739.

Ненахов В.М., Хрестенков П.А. К вопросу о генезисе щелочных комплексов Туркестано-Алая // ЗВМО. 1988. № 5. С. 587–594.

Ненахов В.М., Иванчиков В.В., Кузнецов Л.В., Стрик Ю.Н. Особенности изучения и геологического картирования коллизионных гранитоидов. М., 1992. 100 с.

Окулов Е.Н. Кварцевые карбонатиты в Туркестанском хребте // Записки Узбекстанского отделения ВМО. 1984. Вып. 37. С. 153–155.

Паутов Л.А. Пабстит с морены ледника Дара-и-Пиоз (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2003. Вып. 38. С. 15–19.

Паутов Л.А., Игнатенко К.И. Цектцерит – находка в Таджикистане // Минералогический журнал. 1992. Т. 14. № 3. С. 75–78.

Паутов Л.А., Хворов П.В. Бацитрит из Таджикистана // ЗВМО. 1998. № 1. С. 80–83.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Соколова Е.В., Кабалов Ю.К. Туркестанит $\text{Th}(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{K}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{Si}_8\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – новый минерал со двоянными четверными кремнекислородными кольцами // ЗВМО. 1997. № 6. С. 45–55.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Соколова Е.В., Шибковит $\text{K}(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Na})_2(\text{K}_{2-x}\text{Ca}_x)_2\text{Zn}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$ – новый минерал группы миларита // ЗВМО. 1998. № 4. С. 89–94.

Паутов Л.А., Хворов П.В., Муфтахов В.А., Агаханов А.А. Согдианит и сугилит из пород Дара-и-Пиозского массива (Таджикистан) // ЗВМО. 2000. № 3. С. 66–79.

Паутов Л.А., Хворов П.В., Соколова Е.В., Феррарис Дж., Ивальди Г., Баженова Л.Ф. Капицит-(Y) $(\text{Ba}, \text{K})_4(\text{Y}, \text{Ca})_2\text{Si}_8(\text{B}, \text{Si})_4\text{O}_{28}\text{F}$ – новый минерал // ЗВМО. 2000а. № 6. С. 42–49.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Карпенко В.Ю., Гафуров Ф.Г. Александровит $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Sn}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ – новый оловянный минерал // Новые данные о минералах. 2010. Вып. 45. С. 5–16.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Соколова Е.В., Хоторн Ф., Карпенко В.Ю. Византиевит $\text{Ba}_5(\text{Ca}, \text{REE}, \text{Y})_{22}(\text{Ti}, \text{Nb})_{18}(\text{SiO}_4)_4[(\text{PO}_4), (\text{SiO}_4)]_4(\text{BO}_3)_9\text{O}_{21}[(\text{OH}), \text{F}]_{43}(\text{H}_2\text{O})_{1.5}$ – новый минерал // Новые данные о минералах. 2011. Вып. 46. С. 5–12.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Пеков И.В., Карпенко В.Ю., Сийдра О.И., Соколова Е.В., Хавторн Ф.К., Файзиев А.Р. Гармит $\text{CsLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$ – новый минерал группы слюд из “кварцевых глыб” Дараи-Пиёзского щелочного массива, Таджикистан // ЗВМО. 2022. Т. 151. № 4. С. 18–32.

Пеков И.В., Волошин А.В., Пуцаровский Д.Ю., Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Бекаковский Д.И. Новые данные о калькибборосилите-(Y) $(\text{REE}, \text{Ca})_2(\text{B}, \text{Be})_2[\text{SiO}_4]_2(\text{OH}, \text{O})_2$ // Вестник Московского Университета. Сер. 4. Геол. 2000. № 2. С. 65–70.

Перетяжко И.С. Флюидно-магматические среды в процессах формирования гранитоидных пород: РVTX свойства флюидов, данные изучения включений в минералах, петрологические следствия // Металлогения древних и современных океанов-2015. Месторождения океанических структур: геология, минералогия, геохимия и условия образования. Мат. 21-й науч. молодежной школы. Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. С. 186–190.

Перетяжко И.С., Смирнов С.З., Котельников А.Р., Котельникова З.А. Экспериментальное изучение системы $\text{H}_3\text{BO}_3\text{--NaF--SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$ при 350–800 °С и 1–2 кбар методом синтетических флюидных включений // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 4. С. 450–472.

Семенов Е.И., Дусматов В.Д., Хомяков А.П., Воронков А.А., Казакова М.Е. Дарапиозит – новый минерал группы миларита // ЗВМО. 1975. № 5. С. 583–585.

Синтез минералов. Т. 1. М.: Недра, 1987. 487 с.

Смирнов С.З. Флюидный режим магматического этапа развития редкометалльных гранито-пегматитовых систем (петрологические следствия): Дис. ... докт. геол.-минер. наук. Ин-т геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. Новосибирск, 2015. 557 с.

Смирнов С.З., Перетяжко И.С., Загорский В.Е., Михайлов М.Ю. Включения необычных позднемагматических расплавов в кварце пегматитовой жилы Октябрьская (Малханское поле, Центральное Забайкалье) // Докл. РАН. 2003. Т. 392. № 2. С. 239–243.

Смирнов С.З., Томас В.Г., Каменецкий В.С., О. А. Козьменко О.А. Водно-силикатные жидкости в системе редкометалльный гранит– $\text{Na}_2\text{O--SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$ как концентраторы рудных компонентов при высоких давлениях и температуре // Петрология. 2017. Т. 25. № 6. С. 646–658.

Смирнов С.З., Томас В.Г., Каменецкий В.С., Козьменко О.А. Водносиликатные жидкости в пегматитовом минерало- и рудообразовании: экспериментальное моделирование и природные примеры // Физико-химические факторы петро- и рудогенеза: новые рубежи. Всероссийская конференция. М.: ИГЕМ РАН, 2019. С. 208–211.

Томас В.Г., Смирнов С.З., Козьменко О.А., Дребущак В.А., Каменецкий В.С. Образование и свойства водно-силикатных жидкостей в системах $\text{Na}_2\text{O--Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$ и гранит– $\text{Na}_2\text{O--SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$ при 600 °С и 1.5 кбар // Петрология. 2014. Т. 22. № 3. С. 327–344.

Файзиев А.Р., Гафуров Ф.Г., Шарипов Б.Н. Карбонатиты Дараи-Пиёзского массива щелочных пород (Центральный Таджикистан) и особенности их состава // Геохимия. 2010. № 11. С. 1154–1168.

Холмов Г.В. Результаты минерало-петрографической съемки Шерловогорского вольфрамового месторождения (Забайкалье) летом 1928 г. // Известия Геологического комитета. 1929. Т. 48. № 10. С. 75–114.

Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М.: АН СССР, 1955. 672 с.

**“Quartz Lumps” in the Darai-Piyoz Alkaline Massif (Tajikistan):
on Problems of Their Genesis and the Cesium Accumulation**

L. A. Pautov^{a, b, *}, A. A. Agakhanov^a, I. V. Pekov^{c, d}, and V. Yu. Karpenko^a

^a*Fersman Mineralogical Museum RAS, Moscow, Russia*

^b*South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology, Urals Branch RAS,
Miass, Chelyabinsk Oblast, Russia*

^c*Moscow State University, Moscow, Russia*

^d*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia*

**e-mail: pla58@mail.ru*

In moraine deposits of the Darai-Piyoz glacier at the Darai-Piyoz alkaline massif (southern slope of Alai Range, Tajikistan), lumps of a specific quartz rock (silexite) with polyolithionite, aegirine, reedmergnerite, microcline, leucosphenite, stillwellite-(Ce) and pectolite aggregates containing many cesium-bearing silicates occur. Genesis of these rocks is debatable; they are known only in lumps and never been found in contact with another rock. The present paper gives a version of the formation of these quartz rocks as a result of the solidification of aqua-silicate liquids which could be appeared due to an interaction between alkali fluids (provoked great fenitization) with tourmaline granites and other quartz-rich rocks.

Keywords: alkaline massif, quartz rock, silexite, aqua-silicate liquid, fenite, cesium, boron, lithium, Darai-Piyoz, Tajikistan

REFERENCES

- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Uvarova Y.A., Sokolova E., Hawthorne F.C., Karpenko V.Y.* Nalivkinitite, $\text{Li}_2\text{NaFe}_7^{2+} \text{Ti}_2(\text{Si}_8\text{O}_{24})\text{O}_2(\text{OH})_4\text{F}$, a new mineral of the astrophyllite group from the Darai-Pioz Massif, Tadjikistan. *New Data on Minerals*. **2008**. Vol. 43. P. 5–12 (*in Russian*).
- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Zubkova N.V., Zolotarev A.A., Kasatkin A.V., Karpenko V.Y., Pekov I.V., Agakhanova V.A., Muftakhov V.A., Škoda R., Britvin S.N.* Dutkevichite-(Ce), IMA 2019-102; in: CNMNC Newsletter 54. *Mineral. Mag.* **2020**. Vol. 84. P. 359–365.
- Alferyeva Ya.O., Gramenitskii E.N., Shchekina T.I.* Experimental study of phase relations in a lithium-bearing fluorine-rich haplogranite and nepheline syenite systems. *Geochem. Int.* **2011**. Vol. 49. N 7. P. 676–690.
- Anfilogov V.N., Bykov V.N., Osipov A.A.* Silicate Melts. Moscow: Nauka, **2005**. 357 p. (*in Russian*).
- Anfilogov V.N., Volkov A.Yu., Bykov V.N., Erlikh E.N.* Liquefaction in system $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$. *Ural Mineral Collect.* **1995**. Vol. 5. P. 270–278 (*in Russian*).
- Bel'kov I.V., Batieva I.D.* New data on the rare-metal mineralogy of the silexite stock in the Purnachskiy alkaline granite massif. In: *New Data on Mineralogy of Rare Elements of Kola Peninsula*. Apatity, **1991**. P. 15–19 (*in Russian*).
- Bel'kov I.V., Batieva I.D., Vinogradova G.V., Vinogradov A.N.* Mineralization and Fluid Regime of Metamorphic Aureoles of Alkaline-Granite Intrusions. Apatity, **1988**. 110 p. (*in Russian*).
- Butuzov V.P., Bryatov L.V.* Investigation of phase equilibria of part of the $\text{H}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{CO}_3$ system at a high temperatures and pressure. *Crystallography*. **1957**. Vol. 204. N 4. P. 944–947 (*in Russian*).
- Chukhrov F.V.* Colloids in the Earth's Crust. Moscow: Acad. Sci. USSR, **1955**. 672 p. (*in Russian*).
- Drysdall A.R., Jackson N.R., Douch C.J., Ramsay C.R., Hackett D.* Rare element mineralization related to Precambrian alkali granites in the Arabian Shield. *Econ. Geol.* **1984**. Vol. 79. P. 1366–1377.
- Dusmatov V.D.* Mineralogy of the Darai-Pioz Alkaline Massif (Southern Tien Shan). Ph.D. thesis. Moscow, **1971**. 171 p. (*in Russian*).
- Dusmatov V.D., Efimov A.F., Semenov E.I.* First finds of stillwellite in USSR. *Doklady Acad. Sci. USSR*. **1963**. Vol. 153. N 4. P. 913–915 (*in Russian*).
- Dusmatov V.D., Popova N.A., Kabanova L.K.* On the first find of reedmergnerite in USSR. *Doklady Acad. Sci. Tajikistan SSR*. **1967**. Vol. 10. N 10. P. 51–53 (*in Russian*).
- Dusmatov V.D., Efimov A.F., Alkhaizov V.Yu., Kazakova M.E., Shumyatskaya N.G.* Tienshanite, a new mineral. *Doklady Acad. Sci. USSR*. **1967a**. Vol. 177. N 3. P. 678–683 (*in Russian*).
- Dusmatov V.D., Efimov A.F., Kataeva Z.T., Khoroshilova L.A., Yanulov K.P.* Sogdianite, a new mineral. *Doklady Acad. Sci. USSR*. **1968**. Vol. 182. N 5. P. 1176–1177 (*in Russian*).
- Dusmatov V.D., Semenov E.I., Khomyakov A.P., Bykova A.V., Dzhabarov N.Kh.* Baratovite, a new mineral. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1975**. Vol. 104. N 5. P. 580–582 (*in Russian*).

Efimov A.F., Dusmatov V.D., Alkhafov V.Yu., Pudovkina Z.V., Kazakova M.E. Tadzhiokite, a new rare-earth borosilicate of the hellandite group. *Doklady Acad. Sci. USSR*. **1970**. Vol. 195. N 5. P. 1190–1193 (in Russian).

Faiziev A.R., Gafurov F.G., Sharipov B.N. Carbonatites of the Darai-Pioz alkaline massif, Central Tajikistan, and their compositional features. *Geochem. Int.* **2010**. N 11. P. 1084–1096.

Ganzeev A.A., Dusmatov V.D., Efimov A.F., Akramov A.N. On micas of the Turkestan-Alai alkaline region (Central Tadjikistan). *Doklady Acad. Sci. Tajikistan SSR*. **1976**. Vol. 19(6). P. 48–51 (in Russian).

Genish H.K. *Crystal Growth in Gels*. Dover Publication, **1996**.

Ginzburg I.V., Semenov E.I., Leonova L.L., Sidorenko G.A., Dusmatov V.D. Alkali-rich crystalline ekanite from Middle Asia. *Proc. Miner. Museum Acad. Sci. USSR*. **1965**. Vol. 16. P. 57–72 (in Russian).

Grew E.S., Yates M.G., Belakovskiy D.I., Rouse R.G., Shu-Chun Su., Marquer N. Hyalotekite from reedmergnerite-bearing paralkaline pegmatite, Dara-i-pioz, Tajikistan and from Mn-skarn, Langban, Varmland, Sweden: a new look at an old mineral. *Miner. Mag.* **1994**. Vol. 58. P. 285–297.

Karpenko V.Yu., Pautov L.A. Formation of baotite in alkaline rocks of a moraine of Dara-i-Pioz glacier, Tadjikistan. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*. **2002**. P. 459–467.

Kholmov G.V. Results of mineralogical–petrographical prospecting of the Sherlovogorskoye tungsten deposit (Transbaikalia) in summer 1928. *News of Geological Committee*. **1929**. Vol. 48. N 10. P. 75–114 (in Russian).

Koch S., Breu J. Transition metals in micas: synthesis and characterization of Co-rich Cs-tainiolite. *Eur. J. Miner.* **2013**. Vol. 25. P. 487–494.

Konopelko D., Seltmann R., Mamadjanov Y., Romer R.L., Rojas-Agramonte Y., Jeffries T., Fidaev D., Niyozov A. A geotraverse across two paleo-subduction zones in Tien Shan, Tajikistan. *Gondwana Res.* **2017**. Vol. 47. P. 110–130.

Kotelnikova Z.A., Kotelnikov A.R. Liquid stratification in the presence of vapour in synthetic fluid inclusions synthesized from Na₂CO₃ solutions. *Doklady Acad. Sci. USSR*. **2009**. Vol. 429. N 5. P. 652–654 (in Russian).

Kovalenko V.S., Melnikova E.M., Tsinober L.I. On the recrystallization of the “heavy phase” in the Na₂O–SiO₂–H₂O–FeO system. *Doklady Acad. Sci. USSR*. **1977**. Vol. 232. N 6. P. 1302–1303 (in Russian).

Kravchuk K.G., Valyashko V.M. Diagram of the state of the SiO₂–Na₂Si₂O₅–H₂O system. In: *Methods of experimental investigation of hydrothermal equilibria* Ed. Godovikov A.A. Novosibirsk: Nauka, **1979**. P. 105–117 (in Russian).

Levitsky O.D. Tungsten deposits of Eastern Transbaikalia. In: *Deposits of Rare and Minor Metals of the USSR*. Ed. Fersman A.E. Vol. 2. Moscow–Leningrad: Acad. Sci. USSR, **1939**. P. 5–271 (in Russian).

Mayorov I.P., Gavrilin R.D. Carbonatites from the Upper Paleozoic geosyncline of Turkestan-Alai. *Soviet. Geol.* **1971**. N 10. P. 111–116 (in Russian).

Mogarovskiy V.V. *Geochemistry of Rare Elements in Intrusive Rocks of Tajikistan*. Dushanbe: Donish, **1987**. 295 p. (in Russian).

Morey G.W., Hesselgesser J.M. The system H₂O–Na₂O–SiO₂ at 400 °C. *Amer. J. Sci.* **1952**. Vol. 250. P. 343–371.

Moskvin A.V. Geography and geology of Eastern Karategin. In: *Tadjik-Pamir Expedition of 1935*. Moscow–Leningrad, Acad. Sci. USSR, **1937**. P. 682–739 (in Russian).

Nenakhov V.M., Chrestenkov P.A. On the problems of genesis of the Turkestan-Alai alkaline complex. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1988**. N 5. P. 587–594 (in Russian).

Nenakhov V.M., Ivanikov V.V., Kuznetsov L.V., Strik Yu.N. Features of Studies and Geological Mapping of Collisional Granitoids. Moscow, **1992**. 100 p. (in Russian).

Okulov E.N. Quartz carbonatites in the Turkestan Range. *Proc. Uzbek Branch Russian Miner. Soc.* **1984**. Vol. 37. P. 153–155 (in Russian).

Pautov L.A. Pabstite from the Dara-i-Pioz moraine (Tadjikistan). *New Data on Minerals*. **2003**. Vol. 38. P. 15–19 (in Russian).

Pautov L.A., Ignatenko K.I. Zektzerite, occurrence in Tadjikistan. *Miner. J.* **1992**. Vol. 14. N 3. P. 75–78 (in Russian).

Pautov L.A., Khvorov P.V. Bazirite from Tajikistan. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1998**. N 1. P. 80–83 (in Russian).

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Sokolova E.V., Kabalov Y.K. Turkestanite Th(Ca,Na)₂(K_{1-x}□_x)Si₈O₂₀nH₂O, a new mineral. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1997**. Vol. 126. N 6. P. 45–55 (in Russian).

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Sokolova E.V. Shibkovite K(Ca,Mn,Na)₂(K_{2-x}□_x)₂Zn₃Si₁₂O₃₀, the new mineral from the milarite group. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1998**. Vol. 127. N 4. P. 89–94 (in Russian).

Pautov L.A., Khvorov P.V., Muftakhov V.A., Agakhanov A.A. Sogdianite and sugilite from the Dara-i-Pioz massif (Tajikistan). *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **2000**. N 3. P. 66–79 (in Russian).

Pautov L.A., Khvorov P.V., Sokolova E.V., Ferraris G., Ivaldi G., Bazhenova L.F. Kapitsaite-(Y) $(Ba,K)_4(Y,Ca)_2Si_8(B,Si)_4O_{28}F$, a new mineral. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **2000a**. N 6. P. 42–49 (in Russian).

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Karpenko V.Yu., Gafurov F.G. Aleksandrovite $KLi_3Ca_7Sn_2[Si_6O_{18}]_2F_2$, a new tin mineral. *New Data on Minerals*. **2010**. Vol. 45. P. 5–16 (in Russian).

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Karpenko V.Yu. Byzantievite, $Ba_5(Ca,REE,Y)_{22}(Ti,Nb)_{18}(SiO_4)_4[(PO_4)_2(SiO_4)]_4(BO_3)_9O_{21}[(OH),F]_{43}(H_2O)_{1.5}$, a new mineral. *New Data on Minerals*. **2011**. Vol. 46. P. 5–12 (in Russian).

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Pekov I.V., Karpenko V.Yu., Südra O.I., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Fayziev A.R. Garmite, $CsLiMg_2(Si_4O_{10})F_2$, a new mica-group mineral from “quartz lumps” of the Darai-Piyoz alkaline massif, Tajikistan. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **2022**. Vol. 151. N 4. P. 18–32 (in Russian).

Pekov I.V., Voloshin A.V., Pushcharovsky D.Yu., Rastsvetaeva R.K., Chukanov N.V., Belakovskiy D.I. A new data on calcybeborosilite-(Y), $(REE,Ca)_2(B,Be)_2[SiO_4]_2(OH,O)_2$. *Moscow Univer. Geol. Bull.* **2000**. Vol. 55. N 2. P. 62–70 (in Russian).

Peretyazhko I.S. Fluid-magmatic environments in processes of the formation of granitoid rocks: PVTX properties of fluids, data of the study of inclusions in minerals, petrological consequences. In: *Metallogeny of Ancient and Present Oceans—2015. Mineral Deposits of Oceanic Structures: Geology, Mineralogy, Geochemistry, and Formation Conditions*. Proc. XXI Sci. Youth School. Miass, **2015**. P. 186–190 (in Russian).

Peretyazhko I.S., Smirnov S.Z., Kotel'nikov A.R., Kotel'nikova Z.A. Experimental study of the system $H_3BO_3-NaF-SiO_2-H_2O$ at 350–800 °C and 1–2 kbar by the method of synthetic fluid inclusions. *Russian Geol. Geophys.* **2010**. No. 51. P. 450–472 (in Russian).

Semenov E.I., Dusmatov V.D., Khomyakov A.P., Voronkov A.A., Kazakova M.E. Darapiosite, a new mineral. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1975**. Vol. 104. N. 5. P. 583–585 (in Russian).

Shannon R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallogr. A*. **1976**. Vol. 32. P. 751–767.

Smirnov S.Z. Fluid regime of the magmatic stage of development of rare-metal granite-pegmatite systems (petrological consequences). D.Sc. thesis. Novosibirsk, **2015**. 557 p. (in Russian).

Smirnov S.Z., Peretyazhko I.S., Zagorskii V.E., Mikhailov M.Yu. Inclusions of unusual late magmatic melts in quartz from the Oktyabr'skaya Pegmatite Vein, Malkhan Field (Central Transbaikalian Region). *Doklady Earth Sci.* **2003**. Vol. 392. N 7. P. 999–1003.

Smirnov S.Z., Thomas V.G., Kamenetsky V.S., Kozmenko O.A. Hydrosilicate liquids in the system rare-metal granite– $Na_2O-SiO_2-H_2O$ as accumulators of ore components at high pressure and temperature. *Petrology*. **2017**. Vol. 25. P. 625–635.

Smirnov S.Z., Thomas V.G., Kamenetsky V.S., Kozmenko O.A. Hydrosilicate liquids in pegmatite mineral- and ore genesis: experimental models and natural examples. In: *Physical-Chemical Factors of Petro- and Ore-Genesis: New Frontiers*. Moscow, **2019**. P. 208–211 (in Russian).

Sowerby J.R., Keppler H. The effect of fluorine, boron and excess sodium on the critical curve in the albite– H_2O system. *Contrib. Miner. Petrol.* **2002**. Vol. 143. P. 32–37.

Spurr J.E. The ore magmas. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*. **1924**. Vol. 46 N 3–4. P. 358–360.

Synthesis of Minerals. Vol. 1. Moscow: Nedra, **1987**. 487 p. (in Russian).

Thomas V.G., Smirnov S.Z., Kozmenko O.A., Drebuschak V.A., Kamenetsky V.S. Formation and properties of hydrosilicate liquids in the systems $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ and granite– $Na_2O-SiO_2-H_2O$ at 600 °C and 1.5 kbar. *Petrology*. **2014**. Vol. 22. P. 293–309.

Tuttle O.F., Friedman I.I. Liquid immiscibility in the system $H_2O-Na_2O-SiO_2$. *J. Amer. Chem. Soc.* **1948**. Vol. 70. P. 919–926.

Valyashko V.M. Phase Equilibria and Properties of Hydrothermal Systems. Moscow: Nauka, **1990**. 270 p. (in Russian).

Veksler I.V. Liquid immiscibility and its role at the magmatic-hydrothermal transition: a summary of experimental studies. *Chem. Geol.* **2004**. Vol. 210. N 1–4. P. 7–31.

Vrublevskii V.V., Morova A.A., Bukharova O.V., Konvalenko S.I. Mineralogy and geochemistry of Triassic carbonatites in the Matcha alkaline intrusive complex (Turkestan-Alai Ridge, Kyrgyz Southern Tien Shan), SW Central Asian orogenic belt. *J. Asian Earth Sci.* **2018**. Vol. 153. P. 252–281.

Zaraiskiy G.P. Experiment for the Solution of Problems of Metasomatism. Moscow, GEOS. **2007**. 136 p. (in Russian).