

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

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

© 2022 г. Л. А. Паутов^{1, 2, *}, А. А. Агаханов¹, почетный чл. И. В. Пеков³, В. Ю. Карпенко¹,
д. чл. О. И. Сийдра⁴, Е. В. Соколова⁵, почетный чл. Ф. К. Хоторн⁵, почетный чл. А. Р. Файзиев⁶

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

²Южно-Уральский федеральный научный центр 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

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра кристаллографии,
Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, 199034 Россия

⁵Манитобский университет, геологический факультет, Виннипег, Манитоба, Р3Т 2Н2 Канада

⁶Институт геологии, сейсмологии и сейсмостойкого строительства НАН
Республики Таджикистан, ул. Айни, 267, Душанбе, 734063 Таджикистан

*e-mail: pla58@mail.ru

Поступила в редакцию 25.12.2021 г.

После доработки 20.06.2022 г.

Принята к публикации 22.06.2022 г.

Новый минерал гармит $\text{CsLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$ – триоктаэдрическая слюда, цезиевый аналог тайниолита – обнаружен в существенно кварцевой породе в щелочном массиве Дарай-Пиёз (Раштский, ранее Гармский район, Центральный Таджикистан). Минерал получил название по месту находки. В тесной ассоциации с гармитом находятся Mn-содержащий пектолит, эгирин, Sr-содержащий флюорит, кварц, датолит, полилитинит. Гармит образует пластинчатые зерна до 0.2 мм в поперечнике и толщиной до 20 мкм. Минерал прозрачный бесцветный. Спайность весьма совершенная по (001). Твердость по Моосу 2.5, микротвердость $\text{VHN}_{20} = 90$ (разброс от 86 до 111) кг/мм². Плотность минерала изм. – 3.34(2), выч. – 3.336 г/см³. Гармит люминесцирует в коротковолновом ультрафиолетовом излучении ($\lambda = 245$ нм) бледно-желтым светом. Минерал оптически отрицательный, двусный, $2V_{\text{изм}} = -10(5)^\circ$, $n_p = 1.582(2)$, $n_m = 1.601(2)$, $n_g = 1.602(2)$. Химический состав (электронно-зондовые данные, Li и H – SIMS, мас. %): SiO_2 47.39; Al_2O_3 0.71; TiO_2 0.71; Nb_2O_5 0.12; FeO 2.12; MnO 0.85; MgO 9.01; ZnO 2.23; K_2O 0.16; Cs_2O 26.98; Li_2O 3.57; H_2O 0.08; F 7.23; $-\text{O}=\text{F}_2$ 3.04; сумма 99.90. Эмпирическая формула (расчет на 12 атомов O + F): $(\text{Cs}_{0.95}\text{K}_{0.02})\Sigma_{0.97}\text{Li}_{1.21}(\text{Mg}_{1.37}\text{Zn}_{0.16}\text{Fe}_{0.15}\text{Al}_{0.07}\text{Mn}_{0.06}\text{Ti}_{0.04})\Sigma_{1.85}\text{Si}_{3.99}\text{O}_{10.04}(\text{F}_{1.92}\text{OH}_{0.04})\Sigma_{1.96}$. Минерал моноклинный, пр. гр. $C2/m$, $C2$ или Cm ; политип 1M. Параметры элементарной ячейки: $a = 5.234(2)$; $b = 9.042(4)$; $c = 10.780(4)$ Å; $\beta = 99.73(4)^\circ$; $V = 502.8(6)$ Å³; $Z = 2$. Сильные линии рентгеновской порошковой дифракции (d в Å, I , hkl): 4.48, 35, 110; 3.70, 70, -112 ; 3.45, 44, 022; 2.608, 70, -201 , 130; 2.580, 100, 200, -131 ; 2.241, 45, 220; 2.187, 80, -133 . Голотипный образец гармита хранится в коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (Москва), № 95894.

Ключевые слова: гармит, новый минерал, триоктаэдрическая слюда, литий, цезий, щелочные породы, Дарай-Пиёз, Алайский хребет, Таджикистан

DOI: 10.31857/S0869605522040049

ВВЕДЕНИЕ

В одной из щелочных пород Дарай-Пиёзского массива (Раштский, бывший Гармский район, Центральный Таджикистан) обнаружен новый минерал с идеализированной формулой $\text{CsLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$ из группы слюд (подгруппа триоктаэдрических слюд), цезиевый аналог тайниолита $\text{KLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$. Минерал получил название гармит по месту находки близ пос. Гарм. Он утвержден КНМНК ММА 19 апреля 2017 г. (ИМА 2017-008). Голотипный образец гармита (пластинчатые зерна гармита размерами до 0.1 мм в пектолитовом агрегате, смонтированные в шашку из эпоксидной смолы) хранится в систематической коллекции Минералогического музея имени А.Е. Ферсмана РАН (Москва) под номером 95894.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОГРАФИИ И ГЕОЛОГИИ МЕСТА НАХОДКИ

Дарай-Пиёзский щелочной массив (N 39°27'; E 70°43') расположен на южном склоне Алайского хребта вблизи стыка трех субширотных хребтов – Туркестанского, Алайского и Зеравшанского. Массив прорезан в меридиональном направлении ледниковой долиной реки Дарай-Пиёз, являющейся левым притоком реки Ярхыч. Значительная часть массива перекрыта ледниками, а коренные выходы пород часто представляют собой труднодоступные скальные обнажения (рис. 1). Эти обстоятельства сильно затрудняют его геологическое изучение. Значительная доля информации по петрографии и минералогии массива получена при изучении моренного материала ледника Дарай-Пиёз.

Дарай-Пиёзский массив имеет в плане кольцевое строение: центральную часть массива слагают эгириновые и кварцевые сиениты, внешняя зона сложена гранитами. Возраст массива ранне-позднепермский. Более подробную информацию о геологическом строении массива, истории его изучения, минералогии, петрографии и геохимии можно почерпнуть из ряда работ (Москвин, 1937; Дусматов, 1968; 1970; 1971; 1993; Семенов, Дусматов, 1975; Ганзеев и др., 1976; Belakovskiy, 1991; Grew et al., 1993; Владыкин и др., 1995; Владыкин, Дусматов, 1996; Паутов и др., 1996; Паутов, Агаханов, 1997; Reguir et al., 2004; Pautov et al., 2004a; Агаханов и др., 2011; Паутов и др., 2022, а также литературные ссылки в этой статье).

Одной из интереснейших особенностей Дарай-Пиёзского массива является разнообразие минералов цезия (Агаханов, 2010). К настоящему времени в породах массива открыто 13 собственных минералов этого редкого элемента: цезийкуплетскит $(\text{Cs}, \text{K}, \text{Na})_3(\text{Mn}, \text{Fe})_7(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{Si}_8\text{O}_{24}(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_7$ (Ефимов и др., 1971), телюшенкоит $\text{CsNa}_6[\text{Be}_2(\text{Si}, \text{Al}, \text{Zn})_{18}\text{O}_{39}]\text{F}_2$ (Агаханов и др., 2003), зеравшанит $\text{Na}_2\text{Cs}_4\text{Zr}_3[\text{Si}_{18}\text{O}_{45}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Паутов и др., 2004), сенкевичит $\text{CsKNaCa}_2\text{TiO}[\text{Si}_7\text{O}_{18}](\text{OH})$ (Агаханов и др., 2005), соколоваит $\text{CsLi}_2\text{Al}(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$ (Паутов и др., 2006), кирхгоффит $\text{Cs}(\text{BSi}_2\text{O}_6)$ (Agakhanov et al., 2012), менделеевит-(Ce) $\text{Cs}_6[\text{Ce}_{22}\text{Ca}_6](\text{Si}_{70}\text{O}_{175})(\text{OH}, \text{F})_{14}(\text{H}_2\text{O})_{21}$ (Паутов и др., 2013), одигитриит $\text{CsNa}_5\text{Ca}_5[\text{Si}_{14}\text{B}_2\text{O}_{38}]\text{F}_2$ (Agakhanov et al., 2016), менделеевит-(Nd) $\text{Cs}_6[\text{Nd}_{23}\text{Ca}_7](\text{Si}_{70}\text{O}_{175})(\text{OH}, \text{F})_{19}(\text{H}_2\text{O})_{16}$ (Agakhanov et al., 2017a), горбуновит $\text{CsLi}_2(\text{Ti}, \text{Fe})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH}, \text{O})_2$ (Agakhanov et al., 2017b), крейтерит $\text{CsLi}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ (Agakhanov et al., 2019b), фторапофиллит-(Cs) $\text{CsCa}_4(\text{Si}_8\text{O}_{20})\text{F}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Agakhanov et al., 2019a) и описываемый в настоящей статье гармит $\text{CsLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУЩЕСТВЕННО КВАРЦЕВОЙ ПОРОДЫ С ГАРМИТОМ

Гармит обнаружен в обломках и неокатанных или слабо окатанных глыбах (размерами до 2 м) существенно кварцевой породы, найденной в моренных отложениях ледника Дарай-Пиёз. Эта порода встречается на морене нечасто, большинство находок ее



Рис. 1. Вид на правый борт долины Дарай-Пиёз от центра морены. На дальнем плане виден ледник сая Ледового. Этот участок ледника характеризуется обилием в моренных отложениях обломков фенитов, и здесь же найдены “кварцевые глыбы”, в которых обнаружен гармит. На переднем плане — исследователь и участник многочисленных экспедиций на Дарай-Пиёз П.В. Хворов.

Fig. 1. View on right bank of the Darai-Piyoz valley from the axial part of the moraine.

глыб сделано у правого борта ледниковой долины в районе сая Ледового (рис. 2). К сожалению, ни нами, ни предыдущими исследователями эта порода не была обнаружена в коренном залегании. Более того, не было встречено обломков этой кварцевой породы, в которых бы наблюдался контакт ее с любой другой породой, что еще более затрудняет установление ее происхождения. Из-за этих особенностей и для того, чтобы не вносить недоказанной генетической нагрузки в название, мы будем ниже называть эти образования называть просто “кварцевыми глыбами”, как это уже традиционно принято во многих публикациях по Дарай-Пиёзу. Обсуждению вопросов генезиса этих пород и концентрирования в них цезия посвящена отдельная наша статья в этом же выпуске журнала (Паутов и др., 2022).

Кварцевые глыбы сложены 90–95% средне-крупнозернистым (зерна имеют размеры 2 мм–2 см) кварцем льдистого облика. Характерный облик этой породы определяют второстепенные и акцессорные минералы (рис. 2): крупные (до 10 см в поперечнике) таблитчатые и пластинчатые золотисто-коричневые кристаллы полилитионита, розовые пластины минералов ряда согдианит–сугилит, скопления и таблитчатые зерна оранжево-палевого ридмерджнерита, черные кристаллы эгирина, оранжево-коричневые полупрозрачные чечевицеобразные кристаллы стиллуэллита-(Ce), травяно-зеленые или желтовато-зеленые полупрозрачные и прозрачные кристаллы лейкофенита, темно-зеленые столбчатые кристаллы туркестанита, кристаллы и агрегаты круп-

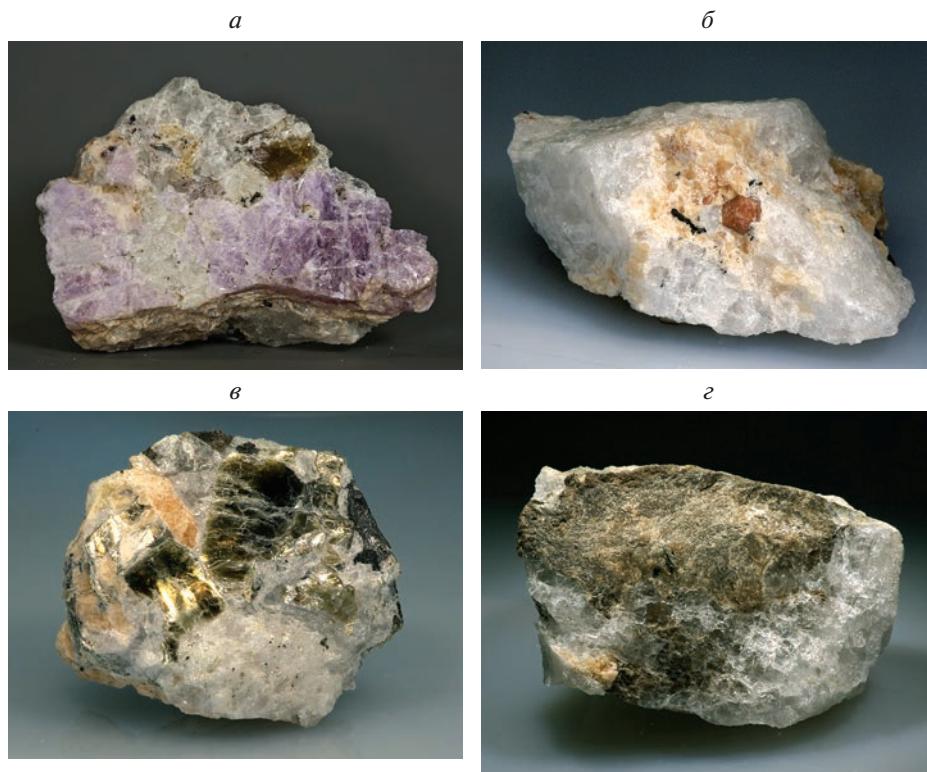


Рис. 2. Минералы существенно кварцевых пород – фрагменты “кварцевых глыб”, с которыми связана в т.ч. разнообразная цезиевая минерализация: *а* – крупное фиолетово-розовое таблитчатое зерно минерала ряда согдианит–сугилит в кварце. Размеры образца $12 \times 7 \times 4$ см; *б* – красно-коричневый кристалл стиллуэллита-(Ce) в кварце с ридмерджернитом; черное – эгирин. Размеры образца $12 \times 8 \times 5$ см; *в* – крупные золотисто-коричневые пластины полилитионита и оранжево-розовые таблитчатые зерна ридмерджернита в кварце. Размеры образца $11 \times 9 \times 5$ см; *г* – мелко-среднезернистый бурый пектолитовый агрегат с ридмерджернитом в кварце. Размеры образца $13 \times 9 \times 8$ см.

Fig. 2. Minerals of the essentially quartz rocks: (*a*) purple sogdianite–sugilite series mineral in quartz; (*б*) reddish-brown stillwellite-(Ce) crystal with reedmergnerite in quartz; (*в*) golden-brown lamellar polyolithionite with light orange reedmergnerite in quartz; (*г*) brown pectolite aggregate with reedmergnerite in quartz.

ных зерен микроклина белого цвета. Все эти минералы распределены в кварцевом агрегате хаотично и крайне неравномерно, образуя либо отдельные разноориентированные кристаллы, либо скопления, как бы “плавающие” в кварцевой матрице.

Только в кварцевых глыбах встречаются гнезда (от 1 до 15 см в наибольшем измерении), в основном сложенные бурым или серовато-коричневым мелко-среднезернистым очень своеобразным полиминеральным агрегатом (рис. 2, *г*), состоящим из зерен Mn-содержащего пектолита (до 3.5 мас. % MnO), кварца, Sr-содержащего флюорита (до 21 мас. % Sr), очень близкого по химическому составу к конечному члену эгирина, полилитионита, датолита, и содержащим целую гамму редких минералов.

Выделения гармита приурочены именно к таким существенно пектолитовым агрегатам. Распределен новый минерал в них крайне неравномерно. В целом, эта слюда является весьма редкой: она встречена лишь в нескольких образцах, где, как правило,

ее выделения приурочены к границе эгирина с кварцем, реже — с пектолитом. Мелкие выделения гармита также образуют вроски в кристаллах эгирина (рис. 3).

Гармит дает пластинчатые зерна размерами в наибольшем измерении от 2 мкм до 0.1 мм, редко до 0.2 мм. Толщина его зерен варьирует от долей микрона до 20 мкм. Часто встречаются веерообразные сростки пластинчатых кристаллов. В большинстве своем зерна гармита в той или иной степени деформированы.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

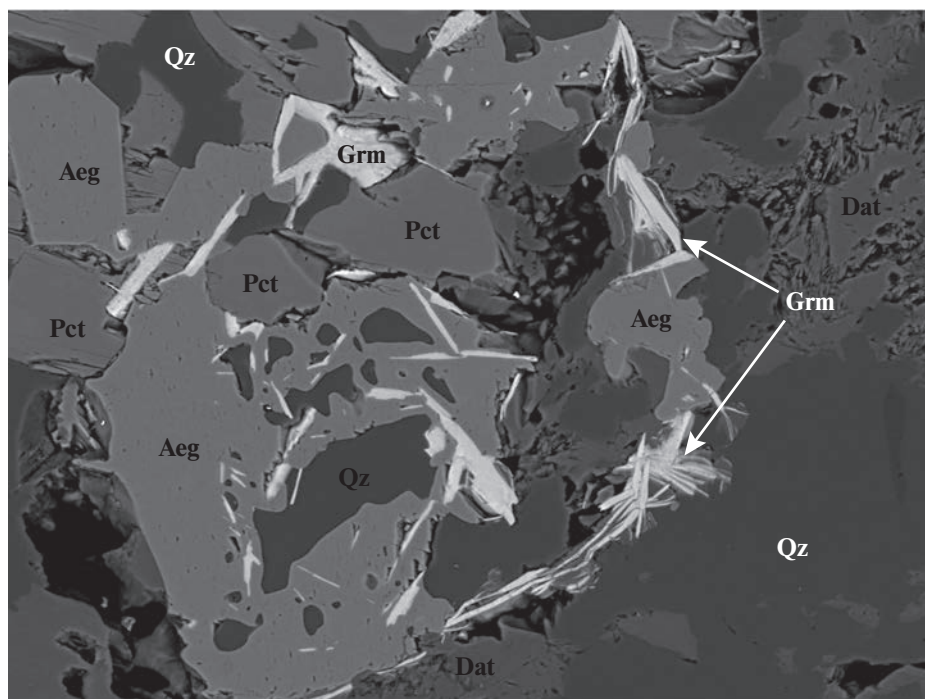
Гармит — бесцветный, в агрегатах белый минерал, визуально неотличимый от других светлых слюд. Блеск стеклянный до перламутрового. Цвет порошка (черта) белый. Спайность весьма совершенная по (001). Листочки минерала гибкие. Твердость по Моосу 2.5. Твердость микровдавливания, измеренная на приборе ПМТ-3 при нагрузке 20 г, градуированном по NaCl (среднее значение по 8 замерам) $VHN_{20} = 90$ кг/мм² при разбросе значений от 86 до 111 кг/мм².

Плотность минерала определялась уравниванием зерен в растворе Клеричи в микрокамере (прикрытая покровным стеклом лунка в предметном стекле, в которую помещались исследуемое зерно минерала и тяжелая жидкость; наблюдалось под микроскопом). Измеренная плотность минерала — 3.34(2) г/см³, вычисленная — 3.336 г/см³. Гармит люминесцирует в коротковолновом ультрафиолетовом излучении ($\lambda = 245$ нм) бледно-желтым светом.

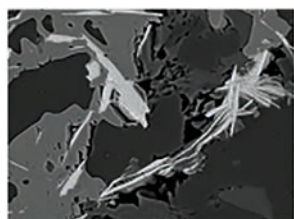
Новый минерал оптически отрицательный, двуосный. Измеренный на столике Федорова угол $2V = -10(5)^\circ$, $2V_{\text{выч}} = -26^\circ$. Малый размер выделений минерала, невысокое двупреломление и деформированность зерен не позволили провести измерения с меньшей погрешностью. Плоскость оптических осей практически перпендикулярна плоскости спайности (001). Минерал под микроскопом в проходящем свете бесцветен. Плеохроизм не наблюдается. Показатели преломления (для $\lambda = 589$ нм) гармита измерены иммерсионным методом на вращающейся игле и имеют следующие значения: $n_p = 1.582(2)$, $n_m = 1.601(2)$, $n_g = 1.602(2)$. Дисперсия оптических осей слабая, $r > v$.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

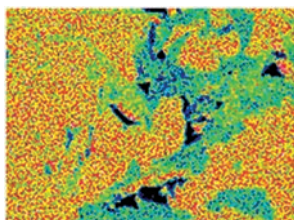
Химический состав гармита изучался на электронно-зондовом микроанализаторе JСХА-733 фирмы JEOL в лаборатории Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН и методом вторично-ионной масс-спектрометрии (ионного микрозонда, SIMS) на вторично-ионном микроскопе Cameca IMS-4F в Институте микроэлектроники и информатики РАН (Ярославль). Определение всех элементов, кроме фтора, лития и водорода, проводилось с помощью энергодисперсионного Si(Li)-детектора с системой анализа INCA Energy 350 фирмы Oxford Instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 2 нА при диаметре зонда 5 мкм. Время набора спектров 100–150 с без учета мертвого времени. Содержание фтора измерялось на волноводисперсионном спектрометре с помощью кристалла-анализатора LDE1 при ускоряющем напряжении 10 кВ и токе зонда 30 нА. Для уменьшения повреждения образца анализ проводился при расфокусированном до 10 мкм пучке. Концентрации водорода и лития измерялись методом SIMS (аналитик С.Г. Симакин). Применялся первичный пучок ионов $^{16}\text{O}_2^-$, сфокусированный в пятно диаметром 10–15 мкм. Интенсивность тока бомбардирующих ионов составляла 3–8 нА. Абсолютные концентрации элементов вычислялись из отношений интенсивностей ионных токов элемент/ $^{30}\text{Si}^+$ с использованием калибровочных констант, полученных на стандартных образцах. Химический состав гармита приведен в табл. 1.



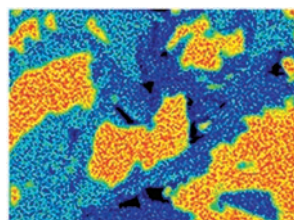
100 μm



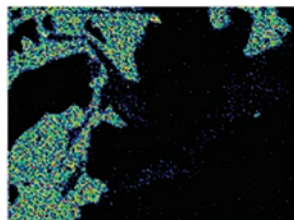
30 μm



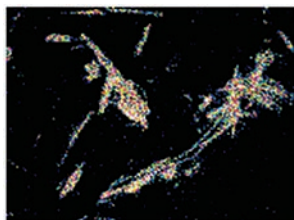
O K α 1



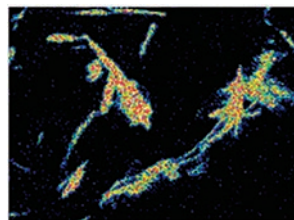
Si K α 1



Na K α 1_2



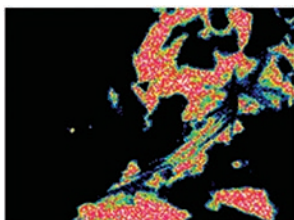
Mg K α 1_2



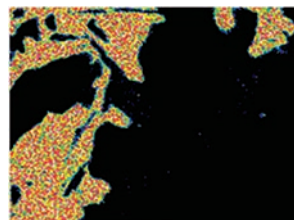
Cs L α 1



Ti K α 1



Ca K α 1



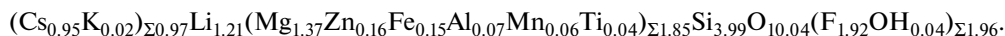
Fe K α 1

Таблица 1. Химический состав (мас. %) гармита
Table 1. Chemical composition (wt %) of garmite

Компонент	Среднее по 16 анализам	Диапазон содержаний	Стандарты (образцы сравнения)
SiO ₂	47.39	46.23–48.54	Микроклин USNM 143966
Al ₂ O ₃	0.71	0.27–1.55	Микроклин USNM 143966
TiO ₂	0.71	0.15–2.42	Ильменит USMN 96189
Nb ₂ O ₅	0.12	0.0–0.47	CsNb ₂ O ₁₁
FeO	2.12	1.46–5.92	Ильменит USMN 96189
MnO	0.85	0.63–1.06	MnTiO ₃
MgO	9.01	8.19–12.89	Диопсид USMN 11773
ZnO	2.23	1.37–3.67	ZnS
K ₂ O	0.16	0.10–0.27	Микроклин USNM 143966
Cs ₂ O	26.98	26.11–27.71	CsTbP ₄ O ₁₂
Li ₂ O*	3.57		Полилитионит
H ₂ O*	0.08		
F	7.23	6.68–7.61	MgF ₂
Сумма	102.94		
–O=F ₂	–3.04		
Сумма	99.90		

Примечание. * По данным SIMS анализа.

Эмпирическая формула гармита (расчет на 12 атомов О + F):



Идеализированная формула: CsLiMg₂(Si₄O₁₀)F₂. Наиболее значимой примесью в гармите является цинк. О вариациях содержания цинка в проанализированных зернах гармита можно судить по тройной диаграмме, приведенной на рис. 4.

Вопросы кристаллохимии и поведения цинка в минералах щелочных массивов рассмотрены в работе И.В. Пекова (2005). Интересна находка в фонолитах Октябрьского щелочного массива высокоцинковой слюды, промежуточной по составу между флогопитом и тайниолитом, с усредненным составом, соответствующем формуле KMg₂Zn_{0.375}Mn_{0.25}Li_{0.375}[Al_{0.625}Si_{3.375}O₁₀]F_{1.25}(OH)_{0.75} (Шарыгин, 2009; Sharygin, 2009a). Причин обогащения цинком гармита нам представляется две: кристаллохимическая и геохимическая. Первая и, видимо, более важная – это близость ионных радиусов Mg²⁺ 0.72 Å и Zn²⁺ 0.74 Å (Shannon, 1976), что облегчает изоморфизм. В слюдах из ассоциации с гармитом, не содержащих Mg в значительном ко-

Рис. 3. Полиминеральный агрегат с гармитом: верхний снимок – вид полированного шлифа (изображение под сканирующим электронным микроскопом в режиме отраженных электронов – BSE). Grm – гармит; Qz – кварц; Dat – датолит; Aeg – эгирин; Pct – пектолит; черное – поры, частично заполненные эпоксидной смолой; ниже – фрагмент предыдущего снимка: изображение в режиме BSE и карты распределения различных элементов, полученные в их характеристическом рентгеновском излучении. Под каждой картой указаны элемент и рентгеновская линия, используемая для построения изображения.

Fig. 3. Polyminerale aggregate with garmite in polished section: upper picture – SEM image (BSE mode): Grm – garmite, Qz – quartz, Dat – datolite, Aeg – aegirine, Pct – pectolite (black – pores); lower pictures – fragment the same picture and X-ray maps.

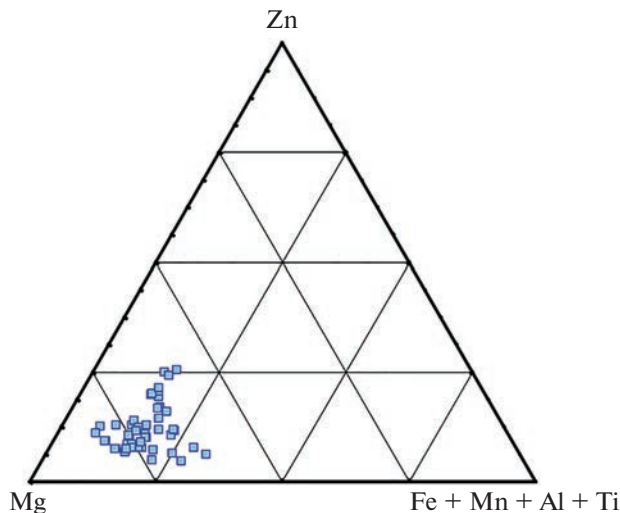


Рис. 4. Соотношения катионов $M^{2+,3+,4+}$ в октаэдрической координации в изученных образцах гармита.
Fig. 4. Ratios of octahedrally coordinated cations $M^{2+,3+,4+}$ in garmite.

личестве — соколоваите $\text{CsLi}_2\text{Al}(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$, крейтерите $\text{CsLi}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$, горбуновите $\text{CsLi}_2(\text{Ti},\text{Fe})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH},\text{O})_2$ и полилитионите $\text{KLi}_2\text{AlSi}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$ таких высоких содержаний цинка, как в гармите, ни разу не отмечалось. Вторая причина — геохимическая: обогащенность минералообразующей среды цинком при низкой активности S^{2-} вследствие окислительных условий кристаллизации. Если наше предположение об образовании “кварцевых глыб” из водно-силикатных жидкостей (этот вопрос рассмотрен подробнее в отдельной публикации) верно, то повышенное содержание цинка можно объяснить перераспределением цинка из сосуществующего водного флюида в водно-силикатную жидкость, что имеет экспериментальное подтверждение (Смирнов, 2015; Смирнов и др., 2017).

Реальные составы изученных зерен гармита можно представить как твердый раствор, содержащий 75% минала “идеального” гармита $\text{CsLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$ и 25% следующих миналов (в порядке убывания): $\text{CsLiZn}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$, $\text{CsLiFe}_2^{2+}\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$, соколоваита $\text{CsLi}_2\text{Al}(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$, $\text{CsLiMn}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$, горбуновита $\text{CsLi}_2\text{TiSi}_4\text{O}_{10}(\text{FO})$ и полилитионита $\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$. Поскольку сам выбор миналов в значительной мере формальный, то мы не приводим пересчета состава гармита на миналы.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ДАННЫЕ

Изучение монокристалла гармита проводилось на дифрактометре STOE IPDS II на $\text{MoK}\alpha$ -излучении. Получены следующие параметры моноклинной элементарной ячейки (пространственная группа $C2/m$, $C2$ или Cm), отвечающие политутипу 1M: $a = 5.21(6)$; $b = 9.02(8)$; $c = 10.2(3)$ Å; $\beta = 100(2)^\circ$; $V = 472(5)$ Å³; $Z = 2$. К сожалению, нам не удалось обнаружить недеформированного зерна гармита, пригодного для определения кристаллической структуры.

Рентгеновская порошковая диаграмма гармита получена на монокристаллическом рентгеновском дифрактометре Rigaku R-Axis Rapid II, оборудованном цилиндрическим детектором с использованием геометрии Дебая—Шеррера ($d = 127.4$ мм) на $\text{CoK}\alpha$ излуче-

Таблица 2. Рентгеновская порошковая диаграмма гармита

Table 2. X-ray powder diffraction data for garmite

I	$d_{\text{изм}}, \text{\AA}$	$d_{\text{выч}}, \text{\AA}$	hkl
17	10.65	10.625	0 0 1
10	5.31	5.312	0 0 2
35	4.48	4.481	1 1 0
8	4.37	4.364	-1 1 1
16	4.17	4.160	0 2 1
27	3.94	3.927	1 1 1
70	3.70	3.704	-1 1 2
18	3.55	3.542	0 0 3
44	3.45	3.443	0 2 2
31	3.20	3.201	1 1 2
28	3.00	3.001	-1 1 3
12	2.79	2.788	0 2 3
24	2.658	2.656	0 0 4
70	2.608	2.610	-2 0 1
		2.602	1 3 0
100	2.580	2.579	2 0 0
		2.579	-1 3 1
7	2.488	2.492	-2 0 2
10	2.419	2.420	-1 3 2
45	2.241	2.240	2 2 0
80	2.187	2.188	-1 3 3
25	2.126	2.125	0 0 5
15	2.018	2.017	1 3 3
9	1.784	1.784	1 3 4
20	1.721	1.721	0 4 4
		1.719	-1 3 5
14	1.587	1.591	-2 0 6
27	1.510	1.510	3 3 -1
9	1.307	1.307	4 0 -1
8	1.274	1.274	0 2 8
6	1.227	1.227	3 3 4
		1.226	3 1 5

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее интенсивные линии.

нии. Результаты расчета рентгеновской порошковой диаграммы приведены в табл. 2. Параметры элементарной ячейки, уточненные на основе порошковых данных, следующие: $a = 5.234(2)$; $b = 9.042(4)$; $c = 10.780(4) \text{ \AA}$; $\beta = 99.73(4)^\circ$; $V = 502.8(6) \text{ \AA}^3$.

По сравнению с тайниолитом, параметр элементарной ячейки c у гармита больше на 6%, что связано прежде всего с большим радиусом межслоевого катиона Cs^+ у гармита относительно K^+ у тайниолита. Сравнение по параметрам элементарной ячейки гармита с синтетическими цезиевыми аналогами тайниолита с различными двухвалентными катионами в октаэдрическом слое (Co, Fe, Mn) приведено в табл. 3 и на рис. 5, а с природными цезиевыми триоктаэдрическими слюдами и тайниолитом — в

Таблица 3. Параметры элементарных ячеек триоктаэдрических слюд с общей формулой $\text{CsLiM}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$, где $\text{M} = \text{Mg}$ (гармит), Co^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} (синтетические слюды)**Table 3.** Unit-cell parameters of trioctahedral micas with the general formula $\text{CsLiM}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ in which $\text{M} = \text{Mg}$ (garmite), Co^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} (synthetic micas)

	Гармит $\text{CsLiMg}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$	$\text{CsLiCo}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$	$\text{CsLiFe}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$	$\text{CsLiMn}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$
Ионный радиус $r_{\text{M}^{2+}}$, Å (Shannon, 1976)	Mg: 0.72	Co: 0.745	Fe: 0.78	Mn: 0.83
a , Å	5.234(2)	5.3051(11)	5.277(2)	5.3013(11)
b , Å	9.042(4)	9.1710(18)	9.148(2)	9.1761(18)
c , Å	10.780(4)	10.897(2)	10.804(2)	10.878(2)
β , °	99.73(4)	99.40(5)	99.19(3)	99.15(3)
V , Å ³	502.8(6)	523.05(18)	514.9(2)	522.44(18)
Источник	Наши данные	Koch, Breu, 2013	Mariychuk et al., 2007	Baumgartner et al., 2009

табл. 4. Как видно из приведенных данных, с ростом ионного радиуса октаэдрического катиона от 0.72 Å у Mg^{2+} до 0.83 Å у Mn^{2+} (Shannon, 1976) происходит закономерное уменьшение угла моноклинности β от 99.73(4)° у гармита до 99.15(5)° у синтетической

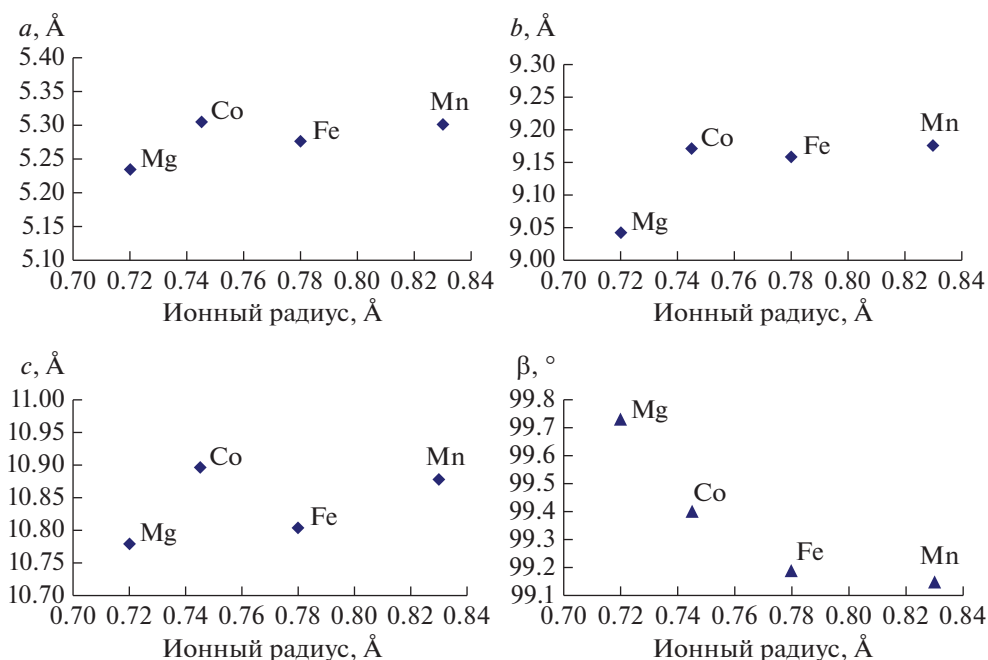


Рис. 5. Зависимость параметров элементарной ячейки в триоктаэдрических слюдах с общей формулой $\text{CsLiM}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$, где $\text{M} = \text{Mg}$ (гармит), Co^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} (синтетические слюды) от ионного радиуса октаэдрического катиона. Данные по параметрам ячеек заимствованы из работ: для Co-слюды (Koch, Breu, 2013); для Fe-слюды (Mariychuk et al., 2007); для Mn-слюды (Baumgartner et al., 2009). Ионные радиусы взяты из работы (Shannon, 1976).

Fig. 5. Correlation between unit-cell parameters of trioctahedral micas with the general formula $\text{CsLiM}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ [in which $\text{M} = \text{Mg}$ (garmite), Co^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} (synthetic micas)] and atomic radii of M cations.

Таблица 4. Сравнение гармита с другими триоктаэдрическими цезиевыми слюдами и тайниолитом
Table 4. Comparative data for garnite, other trioctahedral cesium micas and tainiolite

Минерал	Гармит Garnite	Тайниолит Tainiolite	Соколовит Sokolovaite	Крейтерит Kreiterite	Горбуновит Gorbunovite
Формула	$\text{CsLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$	$\text{KLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$	$\text{CsLi}_2\text{Al}(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$	$\text{CsLi}_2\text{Fe}^{3+}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$	$\text{CsLi}_2(\text{Ti},\text{Fe})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH},\text{O})_2$
Сингония	Моноклиная	Моноклиная	Моноклиная	Моноклиная	Моноклиная
Пр. группа	$C2/m, C2$ или Cm	$C2/m$	$C2/m, C2$ или Cm	$C2/m, C2$ или Cm	$C2/m, C2$ или Cm
$a, \text{\AA}$	5.234	5.227	5.189	5.240	5.236
$b, \text{\AA}$	9.042	9.057	9.005	9.054	9.054
$c, \text{\AA}$	10.780	10.133	10.692	10.761	10.767
$\beta, ^\circ$	99.73	99.86	99.82	99.58	99.61
$V, \text{\AA}^3$	502.8(6)	473.7(5)	491.6(7)	503.4(6)	503.3(6)
Z	2	2	2	2	2
Политип	1M	1M	1M	1M	1M
Сильные линии рентгеновской порошковой дифракции	4.48(35) 3.94(27) 3.70(70) 3.45(44) 3.20(20) 3.00(28) 2.658(24) 2.608(70) 2.580(100) 2.241(45) 2.187(80) 2.126(25) 1.721(20) 1.510(27)	9.9902 (67) 4.4802 (32) 3.6133 (66) 3.3566 (100) 3.1128 (91) 2.8862 (63) 2.6066 (69) 2.5773 (80) 2.3976 (88) 2.2588(14) 2.2401(11) 2.1447(43) 1.9980 (23) 1.6565(48)	4.15(28) 3.897(49) 3.682(80) 3.418(65) 3.174(100) 2.980(41) 2.767(32) 2.634(79) 2.582(66) 2.249(24) 2.107(94) 2.001(22)	4.49(31) 3.94(31) 3.70(70) 3.53(22) 3.45(36) 3.00(34) 2.610(72) 2.583(100) 2.241(38) 2.190(67) 2.122(21) 2.722(24) 2.512(25)	4.49(25) 3.94(20) 3.69(46) 3.57 (23) 3.45(34) 2.991(42) 2.608(77) 2.581(100) 2.240(33) 2.188(62) 2.020(24) 1.722(27) 1.511(23)
$D, \text{г см}^{-3}$ (изм./выч.)	3.34/3.336	2.83–2.90/2.80	3.25/3.23	3.33/3.351	3.28/3.302
Оптические свойства	Двуосный (–)	Двуосный (–)	Двуосный (–)	Двуосный (–)	Двуосный (–)
n_p	1.582	1.522–1.540	1.554	1.596	1.609
n_m	1.601	1.553–1.570	1.566	1.605	1.621
n_g	1.602	1.553–1.570	1.567	1.607	1.623
Источник	Наши данные	JCPDS 83–1308; Anthony et al., 1995	Паутов и др., 2006	Agakhanov et al., 2019b (IMA2019–041)	Agakhanov et al., 2017b (IMA2017–040)

слюды $\text{CsLiMn}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ (Baumgartner et al., 2009). Наиболее чувствительным к размеру катиона в октаэдрическом окружении оказывается параметр b , однако эта зависимость носит сложный характер (рис. 5). Причина такой сложной зависимости, вероятно, кроется в различной роли разных механизмов компенсации несоответствия октаэдрических и тетраэдрических слоев (гофрировка слоев, разворот Si—O тетраэдров, деформация — уплощение октаэдрического слоя и т.д.). Возможные механизмы размерного согласования для октаэдрического и тетраэдрических слоев в Cs аналогах тайниолита рассмотрены в ряде работ (Mariychuk et al., 2007; Baumgartner et al., 2009; Koch, Breu, 2013 и др.).

Значения индекса сходимости состава и свойств по Гладстону-Дейлу (Mandarino, 1981) следующие: $1-(K_p/K_c) = -0.018$ для $D_{\text{выч}} = 3.336 \text{ г/см}^3$ (superior) и -0.016 для $D_{\text{изм}} = 3.34 \text{ г/см}^3$ (superior).

Образование гармита, по нашему мнению, связано с раскристаллизацией водно-силикатной жидкости, обогащенной цезием. Вопросам образования такой субстанции и причинам концентрации цезия в ней посвящена отдельная наша публикация (Паутов и др., 2022).

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 20-05-00060. Рентгеновское изучение гармита осуществлено на оборудовании ресурсного центра “Рентгенодифракционные методы исследования” СПбГУ. Авторы благодарят за содействие в проведении полевых работ на Дарай-Пиёзском массиве Р.У. Сабирову, всех участников экспедиционных работ и прежде всего П.В. Хворова, Т. Беркелиева, М.А. Шодибекова, Н. Раджабова, за выполнение SIMS анализов — С.Г. Симакина, а за советы и обсуждение — Э.М. Спиридонова, Д.И. Белаковского и А.О. Карпова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агаханов А.А., Паутов Л.А., Белаковский Д.И., Соколова Е.В., Хоторн Ф.К. Телюшенкоит $\text{Cs-Na}_6[\text{Be}_2(\text{Si,Al,Zn})_{18}\text{O}_{39}\text{F}_2]$ — новый цезиевый минерал группы лейфита // Новые данные о минералах. **2003**. Вып. 38. С. 5–8.
- Агаханов А.А., Паутов Л.А., Уварова Ю.А., Соколова Е.В., Хоторн Ф.К., Карпенко В.Ю. Сенкевичит $\text{CsKNaCa}_2\text{TiO}[\text{Si}_7\text{O}_{18}(\text{OH})]$ — новый минерал // Новые данные о минералах. **2005**. Вып. 40. С. 17–22.
- Агаханов А.А. Минералогия цезия в щелочном массиве Дарай-Пиёз (Таджикистан). Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, **2010**. 167 с.
- Агаханов А.А., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Бекенова Г.К., Уварова Ю.А. Орловит $\text{KLi}_2\text{TiSi}_4\text{O}_{11}\text{F}$ — новый минерал из группы слюд // Новые данные о минералах. **2011**. Вып. 46. С. 13–19.
- Владыкин Н.В., Дусматов В.Д. Химический состав слюд массива Дарай-Пиоз (Таджикистан) // ЗВМО. **1996**. № 3. С. 84–94.
- Владыкин Н.В., Дусматов В.Д., Коваленко В.И. Полилитииониты: состав и генезис // Докл. РАН. **1995**. Т. 345. № 2. С. 223–226.
- Ганзеев А.А., Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф., Акрамов А.Н. О слюдах Туркестано-Алайской щелочной провинции (Центральный Таджикистан) // Докл. АН Таджикской ССР. **1976**. Т. 19. № 6. С. 48–51.
- Дусматов В.Д. К минералогии одного из массивов щелочных пород / Щелочные породы Киргизии и Казахстана. Фрунзе, **1968**. С. 134–135.
- Дусматов В.Д. Минералого-геохимические особенности щелочных и гранитоидных пород верховья р. Дарай-Пиёз (Южный склон Алайского хребта) / Вопросы геологии Таджикистана. Душанбе, **1970**. С. 27–28.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дарай-Пиёз (Южный Тянь-Шань). Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., **1971**. 18 с.
- Дусматов В.Д., Морозов С.А. Минералы массива Дарай-Пиёз // Минералогический журнал. **1993**. Т. 15. № 6. С. 102–103.
- Ефимов А.Ф., Дусматов В.Д., Ганзеев А.А., Катаева З.Т. Цезийкуплетскит — новый минерал // ДАН СССР. **1971**. Т. 197. № 6. С. 1394–1397.

Москвин А.В. География и геология Восточного Каратегина. В кн.: Таджикиско-Памирская экспедиция 1935 года. М.—Л. **1937**. С. 682–739.

Паутов Л.А., Агаханов А.А. Березанскит $\text{KLi}_3\text{Ti}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$ — новый минерал // ЗВМО. **1997**. № 4. С. 75–80.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Соколова Е.В., Игнатенко К.И. Дусматовит — новый минерал группы миларита // Вестн. МГУ. **1996**. Серия 4. Геология. С. 54–60.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Уварова Ю.А., Соколова Е.В., Хавторн Ф. Зеравшанит $\text{Cs}_4\text{Na}_2\text{Zr}_3(\text{Si}_{18}\text{O}_{45})(\text{H}_2\text{O})_2$ — новый цезиевый минерал из Дара-и-Пиозского массива (Таджикистан) // Новые данные о минералах. М. **2004**. Вып. 39. С. 20–25.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Бекенова Г.К. Соколоваит $\text{CsLi}_2\text{AlSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ — новый минерал из группы слюд // Новые данные о минералах. М. **2006**. Вып. 41. С. 5–13.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Карпенко В.Ю., Соколова Е.В., Хоторн Ф.К. Менделеевит-(Ce) $(\text{Cs},)_6(\square, \text{Cs})_6(\square, \text{K})_6(\text{REE}, \text{Ca},)_{30}(\text{Si}_{70}\text{O}_{175})(\text{H}_2\text{O}, \text{OH}, \text{F})_{35}$ — новый минерал из Дарай-Пиёзского массива, Таджикистан // Докл. РАН. **2013**. Т. 452. № 4. С. 441–441.

Паутов Л.А., Агаханов А.А., Пеков И.В., Карпенко В.Ю. О проблеме генезиса “кварцевых глыб” в Дарай-Пиёзском щелочном массиве (Таджикистан) и концентрировании в них цезия // ЗРМО. **2022**. № 4. С. 102–122.

Пеков И.В. Генетическая минералогия и кристаллохимия редких элементов в высокощелочных постмагматических системах. Дис. ... докт. геол.-минер. наук. М.: МГУ, **2005**. 652 с.

Семенов Е.И., Дусматов В.Д. К минералогии щелочного массива Дарай-Пиёз (Центральный Таджикистан) // Докл. АН Таджикской ССР. **1975**. Т. XVIII. № 11. С. 39–41.

Смирнов С.З. Флюидный режим магматического этапа развития редкометалльных гранитно-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., Томас В.Г., Каменецкий В.С., Козьменко О.А. Водно-силикатные жидкости в системе редкометалльный гранит– Na_2O – SiO_2 – H_2O как концентраторы рудных компонентов при высоких давлениях и температуре // Петрология. **2017**. Т. 25. № 6. С. 646–658.

Шарыгин В.В. Новые минералы и минеральные разновидности Приазовья: Октябрьский массив // Наукові праці УкрНДМІ НАН України, № 5 (частина II). **2009**. С. 132–139.

Garmite, $\text{CsLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$, a New Mica-Group Mineral from “Quartz Lumps” of the Darai-Piyož Alkaline Massif, Tajikistan

L. A. Pautov^{a, b, *}, A. A. Agakhanov^a, I. V. Pekov^c, V. Yu. Karpenko^a,
O. I. Siidra^d, E. V. Sokolova^e, F. C. Hawthorne^e, and A. R. Fayziev^f

^aFersman Mineralogical Museum RAS, Moscow, Russia

^bSouth Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology
of the Urals Branch RAS, Miass, Russia

^cFaculty of Geology, Moscow State University, Moscow, Russia

^dDepartment of Crystallography, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

^eDepartment of Geological Sciences, University of Manitoba, Manitoba, Canada

^fInstitute of Geology, Seismological Construction and Seismology of the National Academy of Sciences,
Dushanbe, Tajikistan

*e-mail: pla58@mail.ru

The new trioctahedral mica garmite, $\text{CsLiMg}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$, a Cs analogue of tainiolite was found in an essentially quartz rock in the Darai-Piyož alkaline massif, Rasht district (formerly Garm district), Central Tajikistan, and named after discovery locality. It is closely associated with Mn-bearing pectolite, aegirine, Sr-enriched fluorite, quartz, datolite, and polyolithionite. Garmite forms lamellae up to 0.2 mm across and up to 0.02 mm thick. The mineral is transparent, colourless, with perfect, mica-like cleavage on (001). The Mohs hardness is 2.5, the micro-indentation hardness $\text{VHN}_{20} = 90 \text{ kg/mm}^2$. $D_{\text{meas}} = 3.34(2)$, $D_{\text{calc}} = 3.336 \text{ g/cm}^3$. Garmite is optically biaxial (–), $2V_{\text{meas}} = -10(5)^\circ$, $\alpha = 1.582(2)$, $\beta = 1.601(2)$, $\gamma = 1.602(2)$. The chemical composition (electron microprobe, Li and H by SIMS, wt %): SiO_2 47.39; Al_2O_3 0.71; TiO_2 0.71; Nb_2O_5 0.12; FeO 2.12; MnO 0.85; MgO 9.01; ZnO 2.23; K_2O 0.16; Cs_2O 26.98; Li_2O 3.57; H_2O 0.08; F 7.23; $-\text{O}=\text{F}_2$ 3.04; total 99.90. The empirical formula calculated based on 12 O + F *apfu* is $(\text{Cs}_{0.95}\text{K}_{0.02})_{\Sigma 0.97}\text{Li}_{1.21}(\text{Mg}_{1.37}\text{Zn}_{0.16}\text{Fe}_{0.15}\text{Al}_{0.07}\text{Mn}_{0.06}\text{Ti}_{0.04})_{\Sigma 1.85}\text{Si}_{3.99}\text{O}_{10.04}(\text{F}_{1.92}\text{OH}_{0.04})_{\Sigma 1.96}$. Garmite is monoclinic, space group $C2/m$, $C2$ or Cm ; polytype 1M. The unit-cell parame-

ters are: $a = 5.234(2)$; $b = 9.042(4)$; $c = 10.780(4)$ Å; $\beta = 99.73(4)^\circ$; $V = 502.8(6)$ Å³; $Z = 2$. The strongest reflections of the powder XRD pattern (d in Å, I , hkl) are: 4.48, 35, 110; 3.70, 70, -112 ; 3.45, 44, 022; 2.608, 70, -201 , 130; 2.580, 100, 200, -131 ; 2.241, 45, 220; 2.187, 80, -133 . The holotype specimen is deposited in Fersman Mineralogical Museum of RAS, Moscow with catalogue no. 95894.

Keywords: garmite, new mineral, trioctahedral mica, lithium, cesium, alkaline rocks, Darai-Pioz, Alai Range, Tajikistan

REFERENCES

- Agakhanov A.A. Mineralogy of cesium in the Darai-Piez alkaline massif (Tadzhikistan). Ph.D. thesis. Moscow: MSU, **2010**. 167 p. (in Russian).
- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Belakovskiy D.I., Sokolova E.V., Hawthorne F.C. Telyushenkoite $\text{CsNa}_6[\text{Be}_2(\text{Si}, \text{Al}, \text{Zn})_{18}\text{O}_{39}\text{F}_2]$ — a new cesium mineral of the leifite group. *New Data on Minerals*. **2003**. Vol. 38. P. 5–8.
- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Uvarova Y.A., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Karpenko V.Yu. Senkevichite, $\text{CsKNaCa}_2\text{TiO}[\text{Si}_7\text{O}_{18}(\text{OH})]$, a new mineral. *New Data on Minerals*. **2005**. Vol. 40. P. 17–22.
- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Karpenko V.Y., Sokolova E.V., Hawthorne F.C. Kirchhoffite, $\text{CsB}_2\text{Si}_2\text{O}_6$, a new mineral species from the Darai-Pioz alkaline massif, Tajikistan: description and crystal structure. *Canad. Miner.* **2012**. Vol. 50(2). P. 523–529.
- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Karpenko V.Yu., Siidra O.I., Muftakhov V.A. Odigitriaite, $\text{CsNa}_5\text{Ca}_5[\text{Si}_{14}\text{B}_2\text{O}_{38}]\text{F}_2$, a new cesium borosilicate mineral from the Darai-Pioz alkaline massif, Tajikistan: Description and crystal structure. *Miner. Mag.* **2016**. Vol. 81. P. 113–122.
- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Karpenko V.Y., Siidra O.I., Garanin V.K. Mendeleevite-(Nd), $(\text{Cs}, \square)_6(\square, \text{Cs})_6(\square, \text{K})_6(\text{REE}, \text{Ca})_{30}(\text{Si}_{70}\text{O}_{175})(\text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{F})_{35}$, a new mineral from the Darai-Pioz alkaline massif, Tajikistan. *Miner. Mag.* **2017a**. Vol. 81. P. 135–141.
- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Pekov I.V., Karpenko V.Y., Siidra O.I., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Muftakhov V.A., Kasatkin A.V. Gorbunovite, IMA 2017-040. *Miner. Mag.* **2017b**. Vol. 81. P. 1280.
- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Kasatkin A.V., Karpenko V.Y., Sokolova E., Day M.C., Hawthorne F.C., Muftakhov V.A., Pekov I.V., Cámara F.A., Britvin S.N. Fluorapophyllite-(Cs), $\text{CsCa}_4(\text{Si}_8\text{O}_{20})\text{F}(\text{H}_2\text{O})_8$, a new apophyllite-group mineral from the Darai-Pioz Massif, Tien-Shan, northern Tajikistan. *Canad. Miner.* **2019a**. Vol. 57. P. 965–971.
- Agakhanov A.A., Pautov L.A., Pekov I.V., Karpenko V.Y., Siidra O.I., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Faiziev, A.R., Kasatkin A.V., Kulikova I.M., Muftakhov V.A. Kreiterite, IMA 2019-041. CNMNC Newsletter N. 51. *Eur. J. Miner.* **2019b**. Vol. 31. P. 1099–1104.
- Baumgartner A., Butterhof C., Koch S., Mariychuk R., Breu J. Melt synthesis and characterization of synthetic Mn-rich tainiolite. *Clays and Clay Miner.* **2009**. Vol. 57(2). P. 271–277.
- Belakovskiy D.I. Die seltenen Mineralien von Dara-i-Pioz im Hochgebirge Tadshikistans. *Lapis*. **1991**. Vol. 16 (12). S. 42–48.
- Dusmatov V.D. On mineralogy of an alkaline massif. In: *Alkaline Rocks of Kirgizia and Kazakhstan*. Frunze, **1968**. P. 134–135 (in Russian).
- Dusmatov V.D. Mineralogical-geochemical features of the alkaline and granitic rocks of the Darai-Piez river uppers (Southern slope of the Alai Range). In: *Tadzhikistan Geology Iss.* Dushanbe, **1970**. P. 27–28 (in Russian).
- Dusmatov V.D. Mineralogy of the Darai-Pioz Alkaline Massif (Southern Tien Shan). Ph.D. thesis. Moscow: IMGRE, **1971**. 171 p. (in Russian).
- Dusmatov V.D., Morozov S.A. Minerals of Darai-Piez alkaline massif. *Russ. Mineral. J.* **1993**. Vol. 15(6). P. 102–103 (in Russian).
- Efimov A.F., Dusmatov V.D., Ganseev A.A., Kataeva Z.T. Cesiumkupletsite, a new mineral. *Doklady USSR Acad. Sci.* **1971**. Vol. 197(6). P. 1394–1397 (in Russian).
- Ganzev A.A., Dusmatov V.D., Efimov A.F., Akramov A.N. On micas of the Turkestan-Alai alkaline region (Central Tadzhikistan). *Doklady Tajik SSR Acad. Sci.* **1976**. Vol. 19(6). P. 48–51 (in Russian).
- Grew E.S., Belakovskiy D.I., Fleet M.E., Yates M.G., Mc.Gee J.J., Marquez N. Reedmergerite and associated minerals from peralkaline pegmatite, Dara-i-Pioz, southern Tien-Shan, Tajikistan. *Eur. J. Miner.* **1993**. 5. P. 971–984.
- Karpenko V.Yu., Pautov L.A. Formation of baotite in alkaline rocks of a moraine of Dara-i-Pioz glacier, Tajikistan. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Monatshefte*. **2002**. P. 459–467.
- Koch S., Breu J. Transition metals in micas: synthesis and characterization of Co-rich Cs-tainiolite. *Eur. J. Miner.* **2013**. Vol. 25(3). P. 487–494.
- Mandarino J.A. The Gladstone-Dale relationship. Part IV. The compatibility concept and its application. *Canad. Miner.* **1981**. Vol. 14. P. 498–502.

Mariychuk R., Baumgartner A., Wagner F.E., Lerf A., Dubbe A., Moos R., Breu J. Synthesis, structure, and electric conductivity of ferrous tainiolite and its oxidative conversion into coarse-grained swellable smectite. *Chem. Materials*. **2007**. Vol. 19(22). P. 5377–5387.

Moskvina A.V. Geography and Geology of the Eastern Karategin. In: *Tadzhik-Pamir expedition of 1935*. Moscow-Leningrad: USSR Acad. Sci., **1937**. P. 682–739 (in Russian).

Pautov L.A., Agakhanov A.A. Berezanskite, $\text{KLi}_3\text{Ti}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$ — a new mineral. *Zapiski VMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1997**. N 4. P. 75–80 (in Russian).

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Sokolova E.V., Ignatenko K.I. Dusmatovite, a new mineral of the milarite group. *Moscow University Geol. Bull.* **1996**. P. 54–60 (in Russian).

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Sokolova E.V., Hawthorne F.C. Maleevite, $\text{BaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, and pekovite, $\text{SrB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, new mineral species from the Dara-i-Pioz alkaline massif, northern Tajikistan: description and crystal structure. *Canad. Miner.* **2004a**. Vol. 42(1). P. 107–119.

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Uvarova Yu.A., Sokolova E.V., Hawthorne F.C. Zervashanite, $\text{Cs}_4\text{Na}_2\text{Zr}_3(\text{Si}_{18}\text{O}_{45})(\text{H}_2\text{O})_2$, a new cesium mineral from Dara-i-Pioz massif (Tajikistan). *New Data on Minerals*. **2004**. Vol. 39. P. 21–25.

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Bekenova G.K. Sokolovaite $\text{CsLi}_2\text{AlSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ — a new mineral species of the mica group. *New Data on Minerals*. **2006**. Vol. 41. P. 5–13.

Pautov L.A., Agakhanov A.A., Pekov I.V., Karpenko V.Yu. “Quartz lumps” in the Darai-Piyoz alkaline massif (Tajikistan): On the problems of genesis and cesium accumulation. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **2022**. N 4. P. 102–122.

Reguir E.P., Chakhmouradian A.R., Evdokimov M.D. The mineralogy of a unique baratovite and miserite-bearing quartz-albite-aegirine rock from the Dara-i-Pioz complex, Northern Tajikistan. *Canad. Miner.* **1999**. Vol. 37. P. 1369–1384.

Shannon R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Cryst. Section A: Crystal Physics, Diffraction, Theoretical and General Crystallography*. **1976**. Vol. 32(5). P. 751–767.

Semenov E.I., Dusmatov V.D. On mineralogy of the Darai-Piyoz alkaline massif (Central Tadzhikistan). *Doklady Tajik SSR Acad. Sci.* **1975**. Vol. XVIII. P. 39–41 (in Russian).

Sharygin V.V. Hendricksite and Zn-containing phlogopite from peralkaline phonolites of the Oktyabrsky massif, Azov region, Ukraine. In: *Alkaline Magmatism, its Sources and Plumes*. **2009a**. P. 188–203.

Sharygin V.V. New minerals and mineral varieties in the Azov Sea region: Oktyabrsky massif. *Transact. UkrNDMI NAN Ukraine*. **2009**. N 5. Pt. 2. P. 132–139 (in Russian).

Vladykin N.V., Dusmatov V.D. Chemical composition of micas from Darai-Pioz massif (Tajikistan). *Zapiski VMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1996**. N 3. P. 84–94 (in Russian).

Vladykin N.V., Dusmatov V.D., Kovalenko V.I. Polyolithionites: composition and genesis. *Doklady Russian Acad. Sci.* **1995**. Vol. 345(2). P. 223–226 (in Russian).