

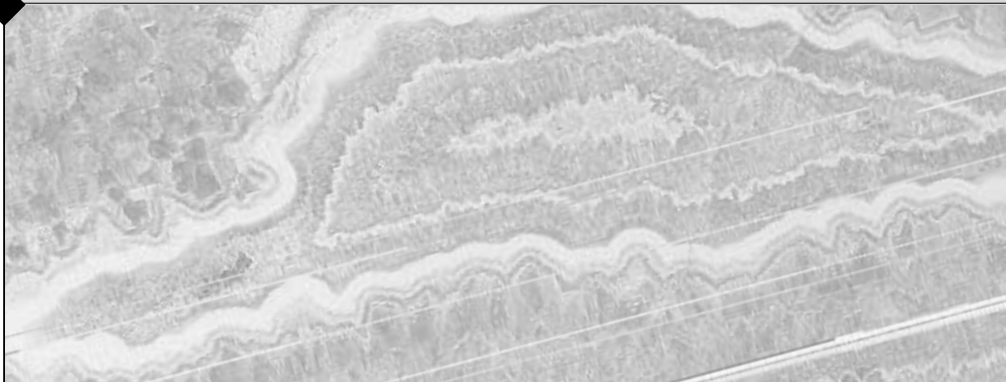
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ им. А.Е. ФЕРСМАНА

ВЫПУСК 41

Новые данные о минералах

ИЗДАНИЕ ОСНОВАНО В 1907 г.

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО "ЭКОСТ"
2006



УДК 549.6

СОКОЛОВАИТ $CsLi_2AlSi_4O_{10}F_2$ – НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ГРУППЫ СЛЮД ¹

Л.А. Паутов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, pla58@mail.ru

А.А. Агаханов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, atali99@mail.ru

Г.К. Бекенова

Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева МО и НРК, Алма-Ата

Новый минерал из группы триоктаэдрических слюд — цезиевый аналог полилитнионита — найден в щелочном массиве Дарай-Пиёз (Таджикистан) и назван соколоваитом (sokolovait) в честь известного кристаллографа и кристаллохимика Елены Вадимовны Соколовой. Новый минерал образует пластинчатые зерна, реже веерообразные и ельчатые агрегаты (от 0.02 до 2 мм) и прожилковидные обособления. Соколоваит обнаружен в глыбах существенно кварцевой породы с полилитнионитом, ридмерджеритом, микроклином, эгирином, согдианитом, стиллуэлитом-(Ce), лейкофенитом, туркестанитом, капицаитом-(Y), пирохлором, нептунитом, галенитом, эвдиалитом, таджикитом, баратовитом, самородным висмутом, сфалеритом, флюоритом, фторалпатитом, кальцитом, пектолитом, пековитом, зеравшанитом, цезиевым аналогом тайниолита и др. Соколоваит — бесцветный, в агрегатах — белый. Черта белая. Блеск стеклянный до перламутрового. Спайность весьма совершенная по (001). Листочки минерала гибкие. Твердость по Моосу 3. Твердость микровдавливания (ср. значение по 14 замерам) 154 кгс. Измеренная плотность — 3.25(2) г/см³, вычисленная — 3.234 г/см³. Соколоваит — оптически отрицательный, двусный. $2V_{\text{изм.}} = -20-35(10)^\circ$, $2V_{\text{выч.}} = -32^\circ$. $n_p = 1.554(2)$, $n_m = 1.566(2)$, $n_g = 1.1, 567(2)$. Инфракрасный спектр соколоваита весьма близок к ИК-спектру полилитнионита и имеет следующие полосы поглощения: 418, 450, 472, 524, 583, 779, 956, 985, 1095, 1139 см⁻¹. Моноклинная сингония, пр. группа C2/m, C2 или Cm, $a = 5.182(3)$; $b = 9.005(4)$; $c = 10.692(4)$ Å. $V = 491.6(7)$. $Z = 2$. Сильные линии рентгеновской порошкограммы (d, I): 3.897(49); 3.682(80); 3.418(65); 3.174(100); 2.980(41); 2.767(32); 2.634(79); 2.582(66); 2.107(94). Химический состав (эл. микронзонд, Li₂O ICP OES; мас. %): Li₂O 6.09; K₂O 0.34; Cs₂O 27.60; MgO 0.13; MnO 0.01; FeO 0.21; Al₂O₃ 10.44; SiO₂ 49.97; TiO₂ 0.18; F 7.92; -F = O 3.33; сумма 99.56. Эмпирическая формула минерала (O = 10): (Cs_{0.94}K_{0.03}Li_{0.97}(Li_{1.96}Mg_{0.02})_{1.98}(Al_{0.98}Ti_{0.01}Fe_{0.01})_{1.00}Si_{4.00}O_{10.00}F_{2.00}).

Идеализированная формула: CsLi₂AlSi₄O₁₀F₂. Индекс схожимости свойств $(1-K_p/K_c) = 0.017$. Образец с соколоваитом хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва).

В статье 4 таблицы, 6 рисунков и список литературы из 19 названий.

Новый минерал из группы триоктаэдрических слюд — цезиевый аналог полилитнионита — изучен из пород щелочного массива Дарай-Пиёз (Таджикистан) и назван соколоваитом (sokolovait) в честь известного кристаллографа и кристаллохимика Елены Вадимовны Соколовой, расшифровавшей кристаллическую структуру многих минералов и автора целого ряда новых минералов, в том числе и с Дарай-Пиёза.

История изучения цезиевых минералов насчитывает 160 лет и началась со времени открытия А. Брейтгауптом в 1846 г. поллуцита (т.е. первый минерал цезия был открыт за 14 лет до открытия Р.В. Бунзеном и Г.Р. Киргофом элемента цезия). Последующие 120 лет поллуцит (Cs,Na)AlSi₂O₆·nH₂O оставался единственным собственно цезиевым минералом. Авогадрит (K,Cs)BF₄ и родицит (K,Cs)Al₄Be₄(V,Be)₁₂O₂₈ в современном понимании не являются собственно цезиевыми минералами, а рассматриваются как цезий-содержащие минералы. В последние десятилетия количество описанных цезий-доминантных минералов значительно возросло и в настоящее время их насчитывается уже ше-

снадцать, причем почти около трети из них (цезийкуплетскит, зеравшанит, телюшенкоит, сенкевичит и соколоваит) открыто в породах Дарай-Пиёзского массива.

Повышенные против кларка содержания цезия в некоторых слюдах были обнаружены весьма давно (Вернадский, 1909), и к настоящему времени накоплен большой аналитический материал по редким щелочам в слюдах. Большинство анализов в «дозондовый» период выполнялось методами спектрального анализа, пламенной фотометрии, атомной абсорбции, реже нейтронно-активационным или рентгенофлюоресцентным методами, на что требовались более или менее большие навески минералов. Учитывая сложность выделения монофракций слюд, данные по содержанию цезия в ряде случаев могли быть как завышены (за счет вростков цезиевых минералов, наличия включений минералообразующей среды), так и занижены (за счет тесного срастания разных слюд). Вероятно, хотя бы частично с этим связано нарушение корреляции между содержанием цезия и свойствами слюд, часто отмечаемое в литературе. По данным анализов монофракций слюд наиболь-

¹ Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА) 3 июня 2004 года



Рис.1. Вид на правый борт долины р. Дарай-Пиёз в районе сая Леговый. Район находок соколоваита

шие содержания цезия характерны для лепидолита, лепидомелана из альбититов по нефелиновым сиенитам, полилитионита и особенно биотита (Cs_2O до 5.97 мас.%) (Гинзбург, Берхин, 1955; Геохимия, минералогия., 1964; Солодов и др., 1980; Кузнецова, Шмакин, 1981 и др.). Повышенные содержания цезия (Cs_2O до 0.8 мас.%) отмечены и для полилитионита с Дарай-Пиёзского массива (Акрамов, Дусматов, 1974; Ганзеев и др., 1976; Владыкин и др., 1995; Владыкин, Дусматов, 1996). С применением для определения цезия локальных методов были обнаружены слюды с более высокими содержаниями цезия. В 1988 г. была открыта первая собственно цезиевая слюда наньпингит — цезиевый аналог мусковита с содержанием $Cs_2O=25.29$ мас.% (Yang *et al.*, 1988), а в 1999 г. вышла работа о структуре обогащенного рубидием и цезием флогопита ($Cs_2O=6.60$ мас.%) (Hawthorne *et al.*, 1999). Очень интересные цезий-доминантные слюды из гранитных пегматитов Манитобы описаны в обстоятельной статье П. Черни с соавторами (Cerny *et al.*, 2003). На основании микронзондовых анализов ими выделены: Cs аналог аннита, Cs аналог флогопита и Cs аналог полилитионита. К сожалению, мелкие размеры выделений не позволили авторам получить полные данные о составе минералов (литий рассчитывался по предполагаемой корреляции с содержанием фтора), снять рентгеновские порошкограммы выявленных минералов и изучить физические свойства обнаруженных фаз. Уже после утверждения в КНМ ММА соколоваита как нового минерала вышла в свет обстоятельная статья Р.Ч. Ванга с соавторами (Wang *et al.*, 2004) о новой находке цезий-доминантного анало-

га полилитионита в топаз-лепидолитовых гранитах массива Ючунь (Южный Китай). Как и в случае находок цезиевых слюд в пегматитах Манитобы, из-за очень мелких размеров выделений минерала авторам не удалось определить физические свойства и получить полные данные о составе цезиевой слюды. По-видимому, цезий-доминантные слюды шире распространены в природе, чем ожидалось ранее, и можно предположить, что количество описанных собственных минералов цезия будет увеличиваться и за счет этой группы минералов.

Место нахождения и ассоциация

Соколоваит найден в породах щелочного комплекса Дарай-Пиёз (Гармский район, Таджикистан), собранных на морене ледника авторами совместно с В.Ю. Карпенко, П.В. Хворовым и Т.К. Беркелиевым. Минералогия и геология массива Дарай-Пиёз описана в ряде публикаций (Дусматов, 1968, 1971 и др.). Дарай-Пиёзский массив (верхний) расположен в верховьях реки Дарай-Пиёз, в водораздельной южной части Алайского хребта. Массив в центральной части с севера на юг рассечен ледником, из-за чего подходы к коренным обнажениям крайне затруднены, а сам массив в большей своей части обнажается в виде отвесных скал (рис. 1). В плане массив имеет изометричную форму, несколько вытянутую в северо-западном направлении. Общая площадь выходов изверженных пород составляет 18 км². Массив имеет близкое к кольцевому строение с асимметричным центром, расположенным в восточной части. Западное (внешнее) кольцо сложено среднезер-

нистыми двуслюдяными турмалиновыми гранитами позднекарбонного возраста. Далее следуют мелко- и среднезернистые биотитовые граниты, а центральная часть массива сложена мелко- и среднезернистыми эгириновыми сиенитами и фенитами. К востоку от центра массива расположен шток крупнозернистых канкринитовых фойяитов площадью около 2 км². Породы массива секутся дайкообразными телами мелкозернистых биотитовых гранитов с турмалином. С субщелочными пегматитами и гидротермалитами массива связана богатая и разнообразная редкометаллическая и борная минерализация.

Соколовайт обнаружен в глыбах породы, состоящей в основном из средне- крупнозернистого, участками гранулированного кварца. Слабо окатанные или совсем не окатанные глыбы такой породы спорадически встречаются в моренных отложениях, более часто в районе Ледового сая (рис. 1). В коренном залегании такие породы встречены не были, и потому однозначное мнение об их происхождении высказать в настоящее время затруднительно. Эти породы имеют легко запоминающийся очень характерный облик, обусловленный тем, что в бесцветном водяно-прозрачном кварце, в массе, кажущейся белой, хаотично вкраплены крупные (до 10 – 15 см) пластины полилитионита, зерна розового или светло-оранжевого ридмерджнерита, белого или бледно-зеленого

микроклина и идиоморфные черные кристаллы эгирина (рис. 2).

Реже в кварцевой породе наблюдаются фиолетово-розовые пластины согдианита, красно-коричневые полупрозрачные чечевицеобразные кристаллы стиллуэлита-(Ce), травяно-зеленые кристаллы лейкосфенита. Спорадически встречаются: туркестанит, капицайт-(Y), пирохлор, неггунит, галенит, эвдиалит, таджикит, баратовит, самородный висмут, сфалерит, флюорит, фторопатит, кальцит и фторапофиллит. Только в этой породе на Дарай-Пиёзе встречается очень своеобразного вида бурый полиминеральный агрегат, к которому и приурочены выделения соколоваита, и который состоит из зерен пектолита, кварца, высокостронциевого флюорита, эгирина и полилитионита. Весьма редко в этом агрегате находятся пековит, зеравшанит, сенкевичит и целый ряд недоизученных цезиевых силикатов (борный аналог поллуцита, цезиевый аналог тайниолита и др.). Соколовайт образует отдельные пластинчатые зерна, реже веерообразные и ельчатые агрегаты от 0.02 до 2 мм и прожилковидные обособления (рис. 3). Как правило, пластинчатые зерна нового минерала в той или иной степени деформированы.

Физические свойства

Соколовайт – минерал бесцветный, в агрегатах белый. По внешнему виду практически не отличим от полилитионита.



Рис. 2. Общий вид кварцевой породы, в которой обнаружен соколовайт

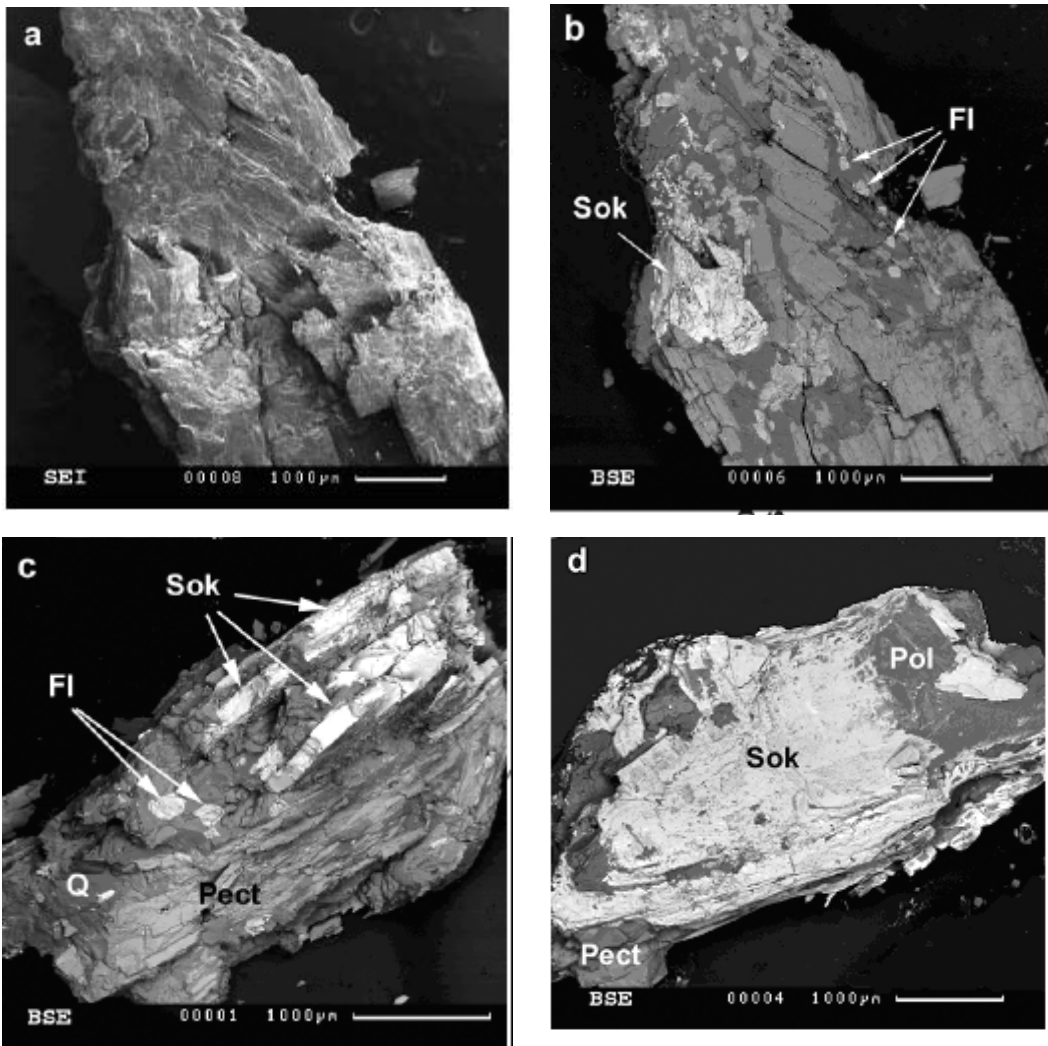


Рис. 3. Характер выделений соколоваита в полиминеральном существенно пектолитовом агрегате. Sok – соколоваит, Pect – пектолит, Q – кварц, Pol – полилитнионит, Fl – стронцийсодержащий флюорит. РЭМ-фото. a, b – гнездобразное выделение соколоваита в пектолит-кварцевом агрегате; c – лейсты соколоваита в кварце с пектолитом. d – пластинчатые зерна соколоваита в сростании с полилитнионитом.

Черта белая. Блеск стеклянный до перламутрового. Спайность весьма совершенная по (001). Листочки минерала гибкие. Твердость по Моосу 3. Твердость микровдавливания (среднее значение по 14 замерам) 154 кгс/мм^2 при разбросе значений $140 - 165 \text{ кгс/мм}^2$. Микротвердость измерена на приборе ПМТ-3 при нагрузке 10 г, градуированном по NaCl. Плотность минерала определялась уравниванием зерен в растворе Клеричи. Измеренная плотность минерала – $3.25(2) \text{ г/см}^3$, вычисленная – 3.234 г/см^3 . Соколоваит – оптически отрицательный, двусный $2V = -20 - 35(10)^\circ$,

$2V_{\text{выч.}} = -32^\circ$. Невысокая точность измерения $2V$ обусловлена тем, что практически все зерна деформированы и для них характерно волнистое «бегущее» погасание. N_p и с почти параллельны. Измерить точно ориентировку оси N_p относительно кристаллографических направлений не удастся из-за деформированности чешуек нового минерала. Показатели преломления соколоваита измерены на вращающейся игле и имеют следующие значения: $n_p = 1.554(2)$, $n_m = 1.566(2)$, $n_g = 1.1, 567(2)$. Для нового минерала характерны сизые аномальные цвета интерференции. Инфракрасный спектр

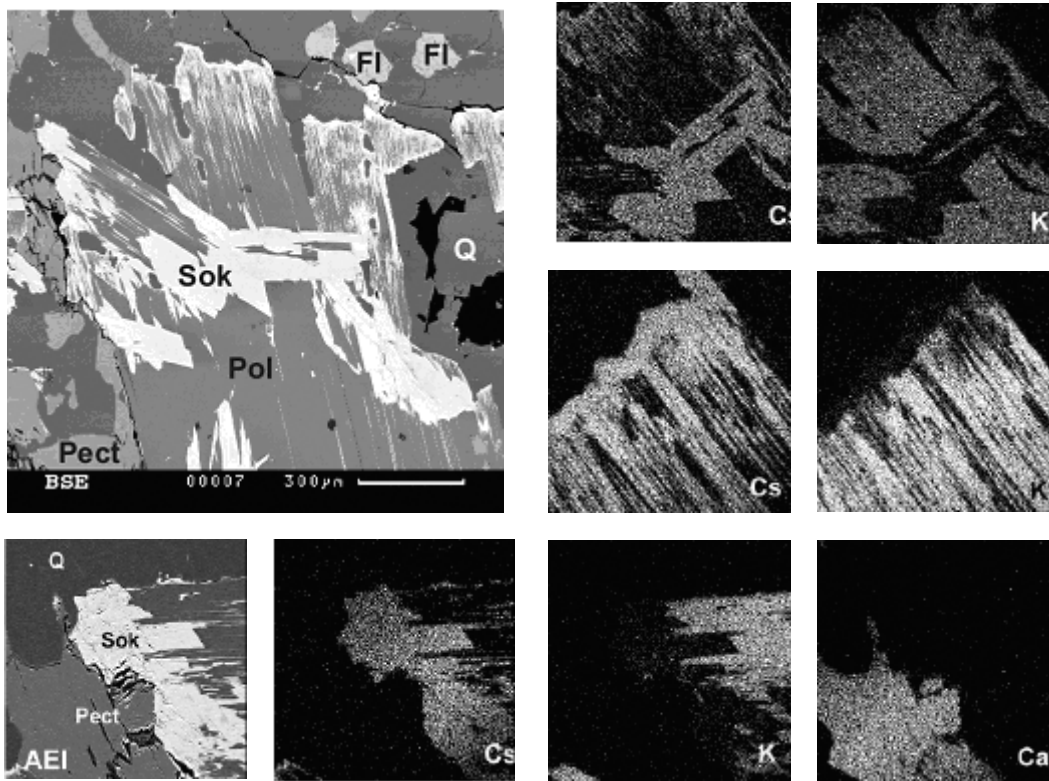


Рис. 4. Странствие соколоваита (Sok) с полилитнионом (Pol) в кварц (Q) – пектолитовом (Pect) агрегате. Обзорное изображение полированного шлифа в отраженных электронах (BSE) и фрагментов в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов

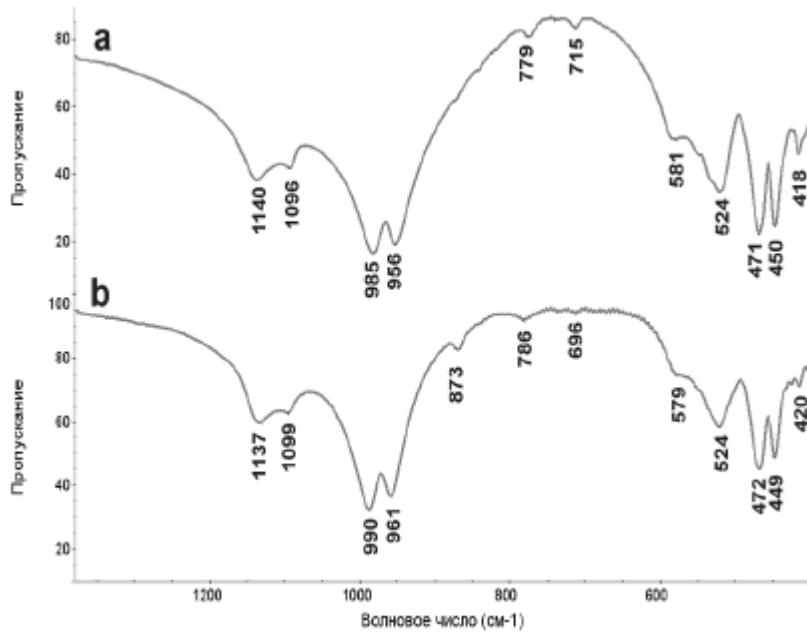


Рис. 5. ИК-спектры: а – соколоваита, б – полилитнионита с Дараи-Пиёза. Препараты – таблетки минерала с KBr. Спектры получены на ИК-фурье спектрометре Avatar (Thermo Nicolet)

Таблица 1. Результаты расчета порошковой рентгенограммы соколоваита

| I | дизм., Å | двыч., Å | hkl |
|-----|----------|----------|------|
| 12 | 10.53 | 10.535 | 001 |
| 3 | 5.27 | 5.267 | 002 |
| 14 | 4.46 | 4.442 | 110 |
| 8 | 4.32 | 4.329 | -111 |
| 28 | 4.15 | 4.140 | 021 |
| 49 | 3.897 | 3.891 | 111 |
| 80 | 3.682 | 3.675 | -112 |
| 4 | 3.515 | 3.512 | 003 |
| 65 | 3.418 | 3.422 | 022 |
| 100 | 3.174 | 3.172 | 112 |
| 41 | 2.980 | 2.978 | -113 |
| 32 | 2.767 | 2.769 | 023 |
| 79 | 2.634 | 2.634 | 004 |
| 66 | 2.582 | 2.584 | -201 |
| 5 | 2.431 | 2.429 | -114 |
| 24 | 2.249 | 2.247 | 132 |
| 8 | 2.172 | 2.175 | -133 |
| 94 | 2.107 | 2.107 | 005 |
| 21 | 2.001 | 2.002 | 133 |
| 5 | 1.909 | 1.908 | 025 |
| 4 | 1.802 | 1.803 | 115 |
| 8 | 1.771 | 1.771 | 134 |
| 6 | 1.722 | 1.723 | -116 |
| 22 | 1.708 | 1.708 | -135 |
| 5 | 1.657 | 1.656 | -225 |
| 5 | 1.636 | 1.636 | 026 |
| 7 | 1.557 | 1.558 | 242 |
| | | 1.556 | 116 |
| 5 | 1.538 | 1.538 | 045 |
| 8 | 1.502 | 1.501 | 060 |
| 6 | 1.495 | 1.496 | 153 |
| | | 1.494 | -117 |
| 6 | 1.427 | 1.427 | 027 |
| | | 1.426 | 225 |

Таблица 2. Значения межплоскостных расстояний соколоваита по данным расшифровки электронограмм от косых текстур

| Ускоряющее напряжение 75 кВ, 2Lλ = 54.956 | | | Ускоряющее напряжение 100 кВ, 2Lλ = 48.017 | | | h k l | |
|--|----------------------|----------------|---|----------------------|----------------|----------|-----|
| I | д _{изм} , Å | D _φ | I | д _{изм} , Å | D _φ | | |
| | | | | | | 1 эллипс | |
| 4 | 4.49 | — | 3 | 4.48 | — | 0 | 2 0 |
| 4 | 4.46 | 1.48 | | | | 1 | 1 0 |
| 1 | 4.32 | 3.46 | <1 | 4.30 | 3.14 | 1 | 1 1 |
| 6 | 4.13 | 5.25 | 4 | 4.11* | 4.61 | 0 | 2 1 |
| 5 | 3.890 | 7.07 | 4 | 3.889* | 6.13 | 1 | 1 1 |
| 6 | 3.675 | 8.58 | 6 | 3.669* | 7.5 | 1 | 1 2 |
| 5 | 3.411 | 10.47 | 5 | 3.407* | 9.14 | 0 | 2 2 |
| 7 | 3.174 | 12.26 | 7 | 3.165* | 10.74 | 1 | 1 2 |
| 6 | 2.970 | 13.88 | 6 | 2.966* | 12.13 | 1 | 1 3 |
| 7 | 2.756 | 15.75 | 7 | 2.757* | 13.72 | 0 | 2 3 |
| 2 | 2.565 | 17.58 | 2 | 2.566* | 15.33 | 1 | 1 3 |
| | | | 1 | 2.428 | 16.62 | 1 | 1 4 |
| | | | | | | 3 эллипс | |
| | | | 5 | 2.244 | | 0 | 4 0 |
| | | | | | | 2 | 2 1 |
| | | | | | | 2 | 2 0 |
| | | | 3 диф. | 2.228 | | 0 | 4 1 |
| | | | 3 | 2.195 | | 2 | 2 2 |
| | | | 5 | 2.166 | | 2 | 2 2 |
| | | | 4 | 2.114 | | 2 | 2 1 |
| | | | 2 | 1.942 | | 2 | 2 2 |
| | | | <1 | 1.878 | | 0 | 4 3 |
| | | | 4 | 1.838 | | 2 | 2 4 |
| | | | 1 | 1.656 | | 2 | 2 5 |
| | | | 2 | 1.533 | | 0 | 4 5 |
| | | | 1 | 1.487 | | 2 | 2 6 |
| | | | 3 | 1.425 | | 2 | 2 5 |
| | | | 2 | 1.380 | | 0 | 4 6 |
| | | | 2 | 1.338 | | 2 | 2 7 |

Примечание: электронограф ЭМР-100М, угол наклона препарата φ=68°, 2Lλ – постоянная прибора, эталон – ПСІ. Расстояния между рефлексами измерены на компараторе ИЗА-2.

* – рефлексы, по которым рассчитаны параметры элементарной ячейки. Интенсивность рефлексов оценена визуально

соколоваита весьма близок к ИК-спектру полилитионита (рис. 5) и имеет следующие полосы поглощения: 418, 450, 472, 524, 583, 779, 956, 985, 1095, 1139 см⁻¹. По результатам ИК-спектроскопии минерал не содержит воды и гидроксильных группировок.

Рентгеновские данные

Изучить новый минерал методами монокристаллической рентгеновской съемки не удалось из-за того, что не удалось выделить недеформированный монокристалл. Рентгеновская порошковая диаграмма минерала получена

фотометодом на FeKα-излучении в камере диаметром 114 мм и на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4 на CuKα-излучении (табл. 1). Она индивидуальна и хорошо индицируется в параметрах моноклинной ячейки (пр. группа C2/m, C2 или Cm): a=5.182(3); b=9.005(4); c=10.692(4)Å. V=491.6(7). Z=2. Параметр c соколоваита, как и следовало ожидать, оказался значительно больше такового полилитионита, что связано с тем, что у нового минерала межслоевой катион представлен более крупным ионом Cs, вместо K у полилитионита. Ни при съемке фотометодом, ни при получении дифрактограммы не уда-

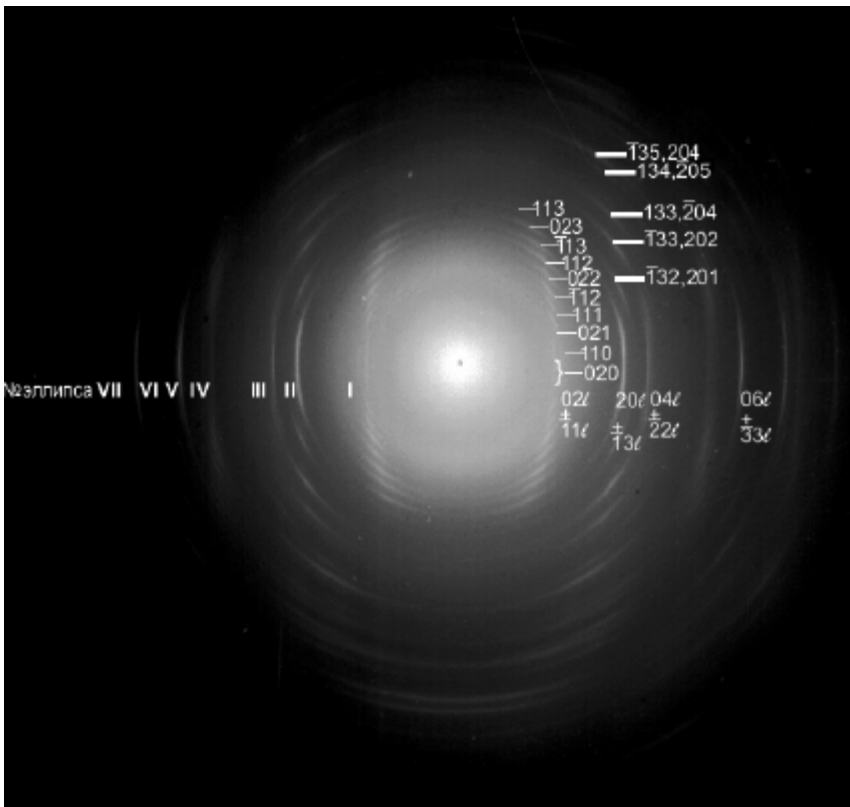


Рис. 6. Электронограмма от косой текстуры соколоваита. Угол наклона препарата 60° . Электронограф ЭМР-100, ускоряющее напряжение 75 кВ

лось полностью избежать текстурирования препарата. По этой причине интенсивности отражений типа $00l$ на порошкограммах несколько завышены.

Дифракционное изучение соколоваита проводилось также методами электронной микроскопии и электронографии на электронном микроскопе JEM-100CX и электронографе ЭМР-100M. Микродифракционные картины от пластинчатых монокристаллов представлены гексагональной сеткой рефлексов, в кольцевых электронограммах от поликристаллических препаратов соколоваита расположение кольцевых рефлексов грубо подчиняется соотношению $b \approx a\sqrt{3}$, что подтверждает принадлежность минерала к слоистым силикатам. На электронограммах от косых текстур (рис. 6) дужки рефлексов хорошо разрешенные, что указывает на высокую степень совершенства кристаллической структуры. Геометрия расположения рефлексов на втором эллипсе и их интенсивность подтверждают 2:1-слойную структуру слюды. Интенсивность рефлекса на малой эллиптической оси 6-го эллипса значительно выше, чем таковая рефлекса 7-го эллипса, что характерно для триоктаэдрических сло-

истых силикатов. В определении политипной модификации по электронограммам от косых текстур (ЭКТ) самым информативным является первый эллипс $02l, \pm 11l$. Политипная модификация соколоваита 1M (3T). Визуально заметная неравномерность расположения рефлексов на первом эллипсе и диффузность рефлексов на втором эллипсе характерна для литиевых слюд (Жухлисов и др., 1983). Известно, что геометрическое положение рефлекса на ЭКТ определяется его расстоянием (высотой) от малой эллиптической оси $D_\phi = hr + ks + lq$ (для кристаллов триклинной сингонии), где p, s, q пропорциональны $a^* \cos \beta^*, b^* \cos \alpha^*, c^*$ и $p/q = -c \cos \beta / a, s/q = -c \cos \alpha / b$. Для минерала моноклинной сингонии высота рефлекса $D = hr + lq$ (Звягин, 1964). В общем случае на ЭКТ триоктаэдрических слюд 1M (3T) рефлексы первого эллипса располагаются равномерно ($p/q = 1/3 + \delta$, где $\delta = 0$). Неравномерность в чередовании рефлексов на первом эллипсе ЭКТ указывает на искажение моноклинного угла β . Оценим порядок величины искажения моноклинного угла β на ЭКТ соколоваита. Величина δ из выражения $p/q = 1/3 + \delta$ для соколоваита составляет 0,017(7) (табл. 2). Абсолютная

Таблица 3. Химический состав соколоваита

| Компонент | 1 | | 2 |
|--------------------------------|--------------|---------------------|--------|
| | мас. % | Диапазон содержания | мас. % |
| Li ₂ O | 6.09 | | 6.1 |
| K ₂ O | 0.34 | 0.28 – 0.40 | 0.28 |
| Cs ₂ O | 27.60 | 27.45 – 27.72 | |
| Rb ₂ O | следы | | 0.22 |
| MgO | 0.13 | 0.00 – 0.15 | |
| MnO | 0.01 | 0.00 – 0.02 | |
| FeO | 0.21 | 0.00 – 0.51 | |
| Al ₂ O ₃ | 10.44 | 10.42 – 10.80 | |
| SiO ₂ | 49.97 | 49.20 – 50.00 | |
| TiO ₂ | 0.18 | 0.00 – 0.33 | 0.38 |
| F | 7.92 | 7.90 – 8.02 | 6.9 |
| H ₂ O | | | 0.2 |
| – F=O | 3.33 | | |
| Total | 99.56 | | |

Примечание: 1 – анализы выполнены на электронном микронзонде, Li₂O – по данным ICP OES, аналитик Л.А. Паутов; 2 – анализ SIMS, кроме того определено (ppm): ZrO₂ 0.17; V₂O₃ 2.18; BeO 0.23. Аналитик С.Г. Симакин

Таблица 4. Сравнительная характеристика соколоваита, полилитионита и нанпингита

| Характеристика минерала | Соколоваит | Полилитионит | Нанпингит |
|---|--|--|--|
| Формула | CsLi ₂ AlSi ₄ O ₁₀ F ₂ | KLi ₂ AlSi ₄ O ₁₀ F ₂ | CsAl ₂ AlSi ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂ |
| Пространственная группа | C2/m, C2 или Cm | C2/m | C2/c |
| a, Å | 5.189 | 5.189 | 5.362 |
| b, Å | 9.005 | 8.974 | 8.86 |
| c, Å | 10.692 | 10.067 | 21.42 |
| β, ° | 99.82 | 100°27' | 95.77 |
| Z | 2 | 2 | 4 |
| Сильные линии рентгеновской порошковой программы, D _{изм.} (I) | 3.897(49) 3.682(80) 3.418(65) 3.174(100) 2.980(41) 2.767(32) 2.634(79) 2.582(66) 2.107(94) | 4.89(80) 3.27(100) 2.56(100) 1.969(100) 1.631(90) 1.493(100) 1.290(90) | 3.622(5) 3.329(6) 2.664(100) 2.654(14) 2.129(85) 2.122(16) 1.328(14) |
| Плотность, г/см ³ (изм/выч) | 3.25/3.23 | 2.58 – 2.82/2.84 | 3.11/3.19 |
| Оптические свойства (оптический знак) | Двуосный (–) | Двуосный (–) | Двуосный (–) |
| n _p | 1.554 | 1.53 | 1.551 |
| n _m | 1.566 | 1.551 – 1.556 | 1.584 |
| n _g | 1.567 | 1.555 – 1.559 | 1.588 |

разница между промежутками, разделяющими рефлексы на первом эллипсе, $3\delta = 0.058$ от величины q ; a относительная разница $(1-3\delta)/(1+3\delta) = 0.85$.

Расчитанные по рефлексам первого эллипса параметры элементарной ячейки соколоваита не противоречат данным, полученными по порошковой рентгенограмме: a 5.20(1); b 8.99(1); c 10.65(1) Å; β 99.93(6)°; V 490(1) Å³.

Химический состав

Химический состав соколоваита изучался на электронном микронзонде JСХА-50А фирмы JEOL, укомплектованном энергодисперсионным спектрометром и тремя волновыми спектрометрами. Анализы на все элементы, кроме фтора, проводились на энергодисперсионном спектрометре при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 2 нА при диаметре зонда 2 мкм. Стандартами на Si, Al и К служил микролин USNM 143966; на Fe и Ti – ильменит USMN 96189; на Cs – CsTbP₄O₁₂; на Mg – оливин USNM 2566; на Mn – металлический марганец. Фтор измерялся на волно-

вом спектрометре при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе зонда 25 нА на кристалле RAP по линии Kα. Использовался дифференциальный режим работы дискриминатора. Для меньшего повреждения образца измерения проводились при расфокусированном пучке. Образцом сравнения при измерении фтора служил MgF₂. Расчет концентраций выполнен по программе ZAF-коррекции. Методом ИК-спектроскопии вода, гидроксил- и карбонат-ионы в составе минерала не обнаружены. Литий определен методом оптической спектроскопии с возбуждением спектра в индуктивно-связанной плазме на спектрометре VISTA-PRO фирмы VARIAN (радиальный обзор плазмы) из микронавески после разложения минерала в HF и последующего удаления фторид-иона отгонкой с серной кислотой. Усредненный состав минерала (табл. 3) пересчитывается при 10 атомах кислорода на формулу: (Cs_{0.94}K_{0.03})_{0.97}(Li_{1.96}Mg_{0.02})_{1.98}(Al_{0.98}Ti_{0.01}Fe_{0.01})_{1.00}Si_{4.00}O_{10.00}F_{2.00}. Идеализированная формула соколоваита: CsLi₂AlSi₄O₁₀F₂.

Анализ микропримесей и контрольное определение некоторых макрокомпонентов (табл. 3) в одном зерне соколоваита осуществ-

лялось методом вторично-ионной масс-спектрометрии (ионного зонда) с использованием вторично-ионного микроскопа Cameca IMS-4F в Институте Микроэлектроники и Информатики РАН. Методика измерений в основном соответствовала методике, приведенной в работе (Smirnov *et al.*, 1995). Использовался пучок первичных ионов O^2 , абсолютные концентрации каждого элемента вычислялись из отношений интенсивностей ионных токов элемент/ $^{30}\text{Si}^+$ с использованием калибровочных констант.

Индекс сходимости свойств $(1-K_p/K_c)=0.017$, что соответствует его высшей степени.

Сравнение соколоваита с близкими минералами приведено в таблице 4.

Образец с соколоваитом передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва).

Благодарности

Авторы благодарят за помощь в проведении полевых работ на морене ледника Дарай-Пиёз и в лабораторных исследованиях В.Ю. Карпенко, П.В. Хворова, за проведение анализов методом SIMS С.Г. Симакина, за ценные замечания и советы И.В. Пекова и Д.И. Белаковского.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 04-05-64118).

Литература

- Акрамов А.Н., Дусматов В.Д. Слюды в щелочных породах Каратегина // В сборнике: Материалы 4 Республиканской конференции молодых ученых Таджикской ССР. Душанбе. **1974**. Ч. 1. С. 79-80.
- Вернадский В.И. К истории рубидия, цезия и таллия // Изв. Академии Наук. **1909**. Т. 3. № 12. С. 821-832.
- Владыкин Н.В., Дусматов В.Д., Коваленко В.И. Полилитиониты: состав и генезис // Доклады РАН. 1995. Т. 345. № 2. С. 223-226.
- Владыкин Н.В., Дусматов В.Д. Химический состав слюда массива Дарай-Пиёз (Таджикистан) // ЗВМО. **1996**. № 3. С. 84-94.
- Ганзеев А.А., Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф., Акрамов А.Н. О слюдах Туркестано-Алайской щелочной провинции (Центральный Таджикистан) // Доклады АН Таджикской ССР. **1976**. Т. 19. № 6. С. 48-51.
- Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т.1. М. Наука. **1964**. 688 с.
- Гинзбург А.И., Берхин С.И. О составе и химической конституции литиевых слюда // Труды минералогического музея. **1955**. Вып. 5. С. 90-131.
- Дусматов В.Д. К минералогии одного из массивов щелочных пород // В сборнике: Щелочные породы Киргизии и Казахстана. Фрунзе. **1968**. С. 134-135.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дарай-Пиёз (Южный Тянь-Шань). Автореферат диссертации. М. **1971**. 18 с.
- Дусматов В.Д. Минералого-геохимические особенности щелочных и гранитоидных пород верховья р. Дарай-пиёз (Южный склон Алайского хребта) // В сборнике: Вопросы геологии Таджикистана. Душанбе. **1970**. С. 27-28.
- Жухлистов А.П., Звягин Б.Б., Шурига Т.Н. Структурные и химические особенности литиевых слюда по электронограммам от текстур // Минералогический журнал. **1983**. № 3. С. 92-97.
- Звягин Б.Б. Электронография и структурная кристаллография глинистых минералов. М.:Наука. **1964**. 248 с.
- Кузнецова Л.Г., Шмакин Б.М. Состав породообразующих минералов экзоконтактовых ореолов поллуцитоносных жил в разных пегматитовых полях// ЗВМО. **1981**. Вып. 1. С. 59-70.
- Сологов Н.А., Балашов Л.С., Кременицкий А.А. Геохимия лития, рубидия и цезия. М.: Недра. **1980**. 234 с.
- Cerny, P., Chapman, R., Teertstra, K., Novak, M. Rubidium- and cesium-dominant micas in granitic pegmatites // Am. Mineral. **2003**. V. 88. P. 1832-1835.
- Hawthorne F.C., Teertstra D.K., Cerny, P. Crystal-structure refinement of a rubidian cesian phlogopite // Am. Mineral. **1999**. V. 84. P. 778-781.
- Smirnov V.K., Sobolev A.V., Batanova V.G., Portnyagin M.V., Simakin S.G., Potapov E.V. Quantitative SIMS analysis of melt inclusions and host minerals for trace elements and H_2O // EOS Trans // Spring Meet. Suppl. AGU. **1995**. №76 (17). P. 270.
- Yang Y.Q., Ni Y.X., Wang W.Y., Zhang Y.P., Chen C.H. Nanpingite – a new cesium mineral // Yanshi Kuangwuxue Zashi. **1988**. 7. P. 49-58.
- Wang R.C., Hu H., Zhang A.C., Huang X.L., Ni P. Pollucite and the cesium-dominant analogue of polyolithionite as expression of extreme Cs enrichment in the Yichun topaz-lepidolite granite, Southern China // Can. Mineral. **2004**. Vol. 42. P. 883-896.