

УДК: 549+544+069

DOI: 10.31343/1029-7812-2025-19-4-4-15

Азарова Ю.В.¹, Варламов Д.А.²

¹ – Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН

E-mail: azarova_yu@mail.ru

² – Институт экспериментальной минералогии РАН, п. Черноголовка

ВТОРИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ОКРАСКИ СКАПОЛИТОВ ИЗ ФЛОГОПИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ (РЕСПУБЛИКА САХА) – КУРАНАХ И ЭМЕЛЬДЖАК

Светлой памяти Дмитрия Варламова...

АННОТАЦИЯ

Изучены образцы скаполита, хранящиеся в фондах Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН в собрании «Минералы». Скаполит происходит из двух флогопитовых месторождений Южной Якутии (Республика Саха) – Куранах и Эмельджак и характеризуется необычной (сиреневой и красной) окраской. Проведено аналитическое изучение образцов с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Полученные результаты позволили уточнить вопросы об идентификации минералов в отобранных образцах, их химическом составе и генетической природе скаполитов данных месторождений. Кроме того, были выдвинуты предположения о причине необычной окраски скаполита в исследованных образцах.

Ключевые слова: скаполит, флогопитовые месторождения, Куранах, Эмельджак, генезис скаполита, природа окраски скаполита.

ABSTRACT

The samples of scapolite stored in the Department of Collections of the Vernadsky State Geological Museum of RAS in the collection "Minerals" were studied. Scapolite originates from two phlogopite deposits in South Yakutia (Sakha Republic) – Kuranakh and Emeldzhak and is characterized by an unusual (lilac and red) color. An analytical study of the samples using scanning electron microscope (SEM) was carried out. The results obtained made it possible to clarify questions about the identification of minerals

in the selected samples, their chemical composition and the genetic nature of the scapolites of these deposits. In addition, assumptions have been made about the reason for the unusual color of scapolite in the studied samples.

Keywords: *scapolite, phlogopite deposits, Kuranakh, Emeldzhak, genesis of scapolite, nature of scapolite color.*

ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУППЫ СКАПОЛИТА

Общая формула минералов группы скаполита: $M_4T_{12}O_{24}A$, где M – Ca, Na, K, реже Mg, Fe, Sr, Ba, Mn, Ti; T – Si, Al; A – Cl^- , F^- , HCO_3^- , HSO_4^- , OH^- (для мариалита) и CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , OH^{2-} , Cl_2^- или F_2^- (для мейонита).

Термин «скаполит» – scapolites происходит от греческого слова «колонна», «ствол», подчеркивая вытянутый, призматический габитус кристаллов. Он служит, в настоящее время, для обозначения довольно обширной группы минералов и был введен в 1800 г. бразильским естествоиспытателем Жозе Бонифасиу ди Андрада-и-Силва (José Bonifácio de Andrada e Silva) для обозначения отдельных разновидностей данной группы, обогащенных натрием и хлором.

Основные разновидности минералов группы скаполита:

Мариалит – $Na_4[Al_3Si_9O_{24}]Cl$, бесцветный, белый, серый, розовый, редко – сиреневый, фиолетовый, лиловый, винно-желтый, медово-желтый (ювелирные разновидности);

Мицзонит (глауколит, глауколит – устар.) – $NaCa_3[Al_5Si_7O_{24}]CO_3$, часто голубого, ярко-синего цвета;

Мейонит – $Ca_4[Al_6Si_6O_{24}]CO_3$, чаще всего бесцветный, реже серый, бледно-окрашенный;

Силвиалит – $Ca_4[Al_6Si_6O_{24}]SO_4$, часто желтый, светло-желтый;

Дипир (вернерит – устар.) – $Na_3Ca[Al_{3.66}Si_{8.33}O_{24}]Cl_{0.66}x(CO_3)_{3/0.33}$, преимущественно белый, серый, светлых оттенков, иногда фиолетовый, вишнево-черный и черный из-за обилия включений.

В настоящее время минералы группы скаполита рассматриваются как твердые растворы изоморфного ряда мариалит–мейонит. Чистые составы, отвечающие конечным членам этого ряда в природе неизвестны, равно как и отсутствует полный

изоморфный ряд между искусственно полученными конечными членами (Минералы, 2003). Наиболее простую идентификацию с делением по составам принято делать по содержанию мейонитового компонента: $Me = Ca / (Na + Ca) \cdot 100$. $Me = 0-20$ – маршалит, $Me = 20-50$ – дипир, $Me = 50-80$ – миццонит, $Me = 80-100$ – мейонит.

В нашей стране география находок минералов группы скаполита весьма обширна. Нередко они связаны с крупными проявлениями флогопитовых слюд. В данной статье речь пойдет о скаполитах с «нечастотной» для минералов этой группы окраской – ярко-сиреневой и красной, о природе которых все еще в той или иной степени идут споры. Предметом изучения стали образцы из коллекций фондов Государственного Геологического музея РАН, происходящие из интересных, но, к сожалению, отработанных ныне флогопитовых месторождений Республики Саха (Якутия) – Куранах и Эмельджак.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭМЕЛЬДЖАК И КУРАНАХ Месторождение Эмельджак

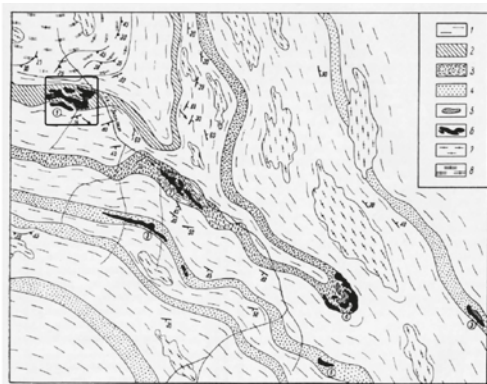


Рис. 1. Геологическая карта района Эмельджакской группы флогопитовых месторождений (Михайлов, 1973).

1 – федоровская свита; 2 – леглиерский горизонт; 3 – керибиканский горизонт; 4 – хатыминский горизонт; 5 – мраморы и кальцифиры; 6 – тела диопсидовых флогопитоносных кальцифиров; 7 – граниты; 8 – верхнеалданская свита.
1 – Эмельджак (выделено квадратом)

Эмельджакское месторождение флогопита было случайно обнаружено в 1941 г. по заявке охотника В.Н. Захарова. "Гнездо с кристаллами слюды в верховьях ключа Эмельджак оборудовал под

берлогу медведь, и охотник В.Н. Захаров в 1941 году перехватил у него лавры первооткрывателя" (Расческин, 2004). А.С. Амеландовым (геолог, сотрудник ВСЕГЕИ) оно было оценено как имеющее союзное значение. Месторождение начали разрабатывать в 1942 г.
(URL: <https://webmineral.ru/deposits/item.php?id=201>).

Эмельджакская группа месторождений располагается на левобережье реки Тимптон и объединяет три месторождения – крупное Эмельджакское, малые Горелое, Таборное и 31 проявление флогопита (рис. 1). Эмельджакское месторождение представляет собой единую зону метасоматических флогопит–диопсидовых пород мощностью около 100 м при протяженности 800 м. Месторождение локализовано в леглиерском горизонте федоровской свиты (нижний архей). В нижней части горизонта залегает первая пачка биотит–амфибол–диопсидовых, гиперстен–амфибол–диопсидовых гнейсов и сланцев мощностью 100 м. Выше эта пачка сменяется волластонитсодержащими сланцами, кварцито–гнейсами, кварц–диопсидовыми и диопсидовыми породами; мощность этой пачки – 20 м. Третьей снизу является пачка диопсидовых гнейсов и сланцев с прослоями и линзами диопсидовых пород; в ней развиты диопсид–скаполитовые породы с титанитом и биотит–диопсидовые гнейсы и сланцы; мощность пачки достигает 130 м. Завершается горизонт пачкой амфибол–диопсидовых и биотит–диопсидовых гнейсов мощностью до 50 м. Общая мощность горизонта – 250–300 м. Флогопитоносные магнезиальные скарны и слюдоносные зоны локализуются среди пород второй и третьей пачек продуктивного горизонта месторождения. Внутри тела метасоматических пород содержится большое число секущих жил и гнезд заполнения флогопитового, реже кальцит–флогопитового состава, концентрирующихся на четырех участках: Пятом, Третьем, Скальном, Центральном. Содержание флогопита в жилах и гнездах достигало 250 кг/м^3 , в метасоматических флогопит–диопсидовых породах – 50 кг/м^3 . Ныне месторождение исчерпано.
(URL: <https://webmineral.ru/deposits/item.php?id=201>).

Скаполит Эмельджакского месторождения представлен, преимущественно, мейонитом и связан, как было указано выше, с диопсидовыми породами, крупные кристаллы – с поздними образованиями: гнезда заполнения кальцит–флогопитового состава, поздние прожилки, возможно, преобразованные пегматоидные образования.

Месторождение Куранах

Флогодит на этом участке долины реки Куранах был обнаружен случайно, при проведении электрической сети – при копании ям были обнаружены пластины флогодита. В 1935 г. профессором Ленинградского горного института В.Н. Зверевым на правом склоне долины реки Куранах были отобраны и доставлены в ЦНИГРИ крупные пластины этого минерала высокого качества. В 1936 г. Восточно-Сибирским геологическим трестом была организована Алданская геолого-поисковая партия под руководством инженера И. Коробова, получившая положительные результаты: прогнозные ресурсы флогодита по категории P_2 – 7 тыс. т. В 1937 г. были проведены геолого-поисковые работы на флогодит в районе Алданской плиты с целью подробного изучения месторождения (Якжин, 1939).

Куранахская группа месторождений расположена в среднем течении реки Большой Куранах, в 8–10 км к северо-востоку от г. Алдана (рис. 2а; по: Якжин, 1939). Все участки месторождения приурочены к продуктивным горизонтам (пачкам) федоровской свиты пород (нижний архей). В структурном отношении они локализованы в пределах Колтыконской синклинали. Ослюдене-

ние приурочено к кристаллической свите, представленной роговообманковыми и биотитовыми гнейсами, диопсидовыми породами и линзами диопсида, пегматитами, прожилками и неправильной формы телами кальцифиров. В пределах месторождения выделяются три типа промышленных концентраций флогодита.

Первый тип распространен в диопсидовых породах, развитых на контакте карбонатных пород (кальцифиров) с гранитами (участки Структурный, Верхне-Террасный). Флогодит локализуется в виде небольших жил, длиной 1–2 м при мощности 5–15 см и гнезд линзовидной и неправильной формы размером 30х40 см. Жилы и гнезда сложены исключительно флогодитом.

Второй тип распространен в метасоматически измененных породах, приуроченных к зонам трещиноватости. Флогодит образует очень крупные скопления (участки Угольный, Зимний). Он составляет гнезда размером в среднем 20х30 см и жилы длиной до 4 м. В составе жил обычно принимают участие кальцит, скаполит, диопсид, роговая обманка. Качество флогодита весьма высокое. Этот тип имел ведущее промышленное значение, в основном, благодаря масштабам ослюденения.

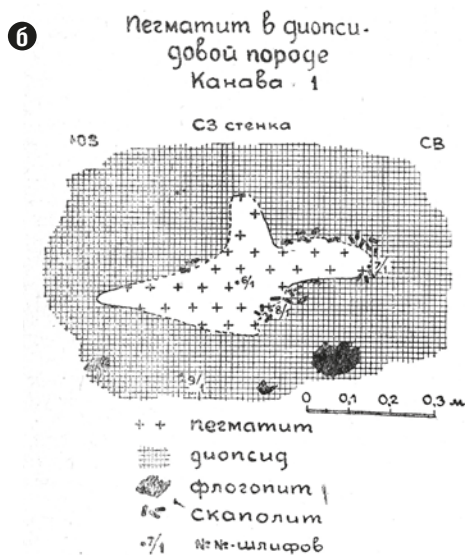
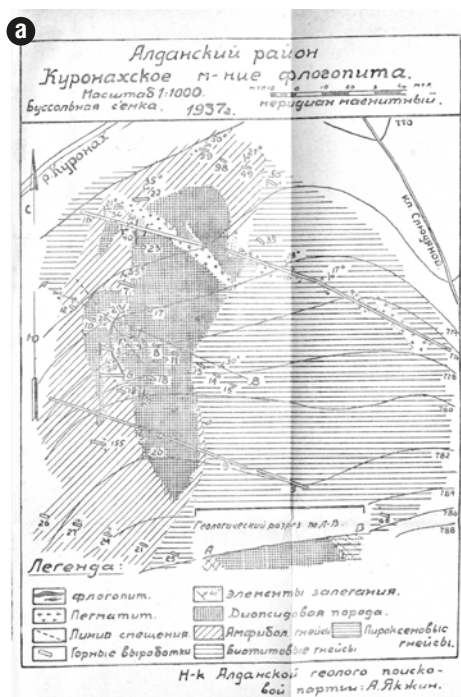


Рис. 2. а) Карта Куранахского флогодитового месторождения; б) схема пегматита с проявлениями крупных кристаллов скаполита из диопсидовых пород месторождения Куранах (Якжин, 1939).¹

¹ В статье Якжина А.А. месторождение именуется Куранах, но в настоящее время принято название Куранах.

Третий тип развит в местах концентрации флогопита, приуроченных к сильно мигматизированным участкам, изобилующим гранитами и пегматитами (участки Колтыкон I, Предвиденный, Поисковый, Трудный). Тип характеризовался средними масштабами ослюденения и, обычно, высоким качеством флогопита.

В настоящее время большинство участков месторождения отработано, другая часть законсервирована, в связи с падением спроса на флогопит (Якжин, 1939; Шуляк, 2016).

Сплошные проявления скаполита, а также скопления кристаллов и друзы, происходящие из этого месторождения и хранящиеся в фондах ГГМ РАН, чаще всего формировались либо среди диопсидовых пород (линз), либо в полостях пегматитов (рис. 2б; по: Якжин, 1939), а также в поздних жилах (часто кальцитовых).

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ СКАПОЛИТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭМЕЛЬДЖАК И КУРАНАХ

Месторождение Эмельджак

Изученный скаполит из месторождения Эмельджак представлен несколькими образцами. Образец МН-46221 представляет собой крупный штуф ало-красного скаполита (рис. 3а), чередующегося со скаполитом серым, по которым развивается белесо-серо-желтоватый карбонат. Одна сторона образца шлифована и минералогически представляет собой агрегат серого и темно-красного скаполита, местами с сиреневым оттенком, со слоями черного пироксена. Переход от красного скаполита к серому в большинстве случаев плавный, с розоватыми переходными зонами, хотя отмечается и резкое «внедрение» прослоев. По трещинам часто развит светлый кальцит (изредка – светло-морковный). Для сравнения изучен образец скаполита аналогичного цвета, но совершенно иной морфологии – игольчатый красный скаполит (МН-31545, рис. 3б), макроскопически однородный, с микровкраплениями темноцветных минералов, в тесной ассоциации с роговой обманкой, на магнетитовой породе, из Норвегии (Арендаль), коллекция Н.П. Румянцева, отобран в 18–19 вв.

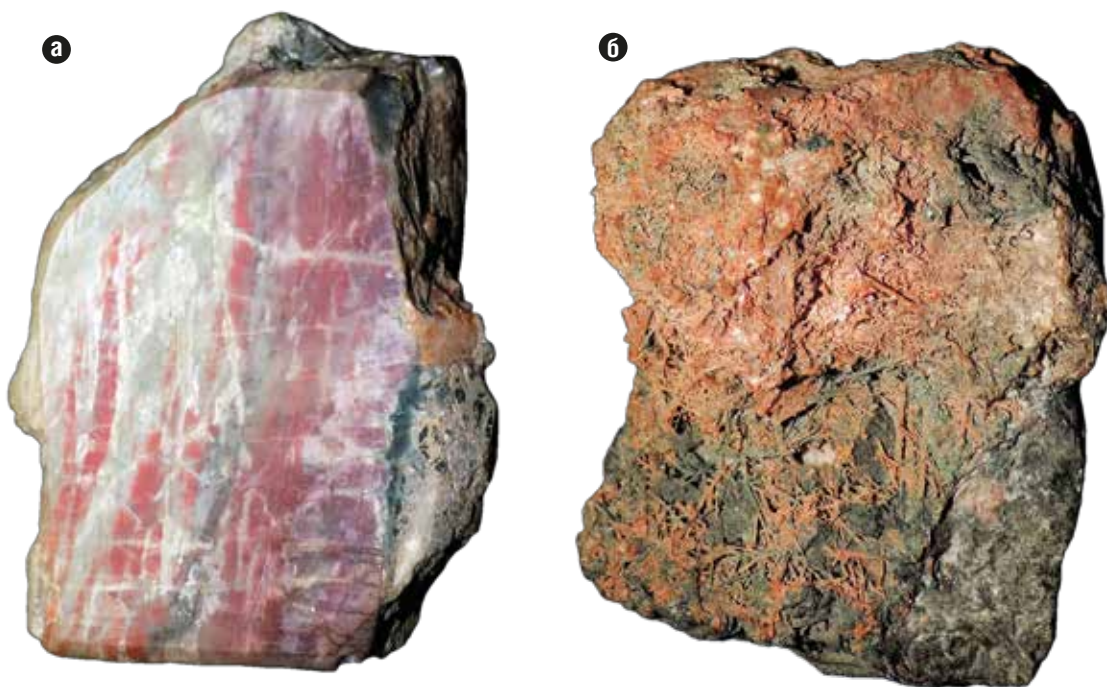


Рис. 3. а) Зонально-полосчатый шлифованный образец красного скаполита месторождения Эмельджак (ГГМ РАН, МН-46221, 9,5*7,5*6,5 см); б) Красный игольчатый скаполит из местонахождения Арендаль в Норвегии (ГГМ РАН, МН-31545, 8*6,5*5,5 см). Фото: Ю.В. Азарова.

Еще один интересный образец – МН-50989 (рис. 4). Это белый скаполитоподобный минерал, но в нем видна необычная зональность – на контакте с кристаллами флогопита по скаполиту распространяется слабо-фиолетовая окраска. О ее природе см. ниже: в разделе – «аналитическое изучение».



Рис. 4. а) Зональность окраски белого «скаполита». Месторождение Эмельджак (ГГМ РАН, МН-50989, 13.5*13*4.5 см); б) фрагмент того же образца. Фото: Ю.В. Азарова.

Месторождение Куранах

Скаполит месторождения Куранах в большинстве образцов коллекции ГГМ РАН имеет довольно яркую розово-сиреневатую окраску. Было изучено три образца.

Образец МН-43771 – это сросток плохо образованных крупнопризматических кристаллов сиреневого скаполита (рис. 5а). Местами есть небольшие участки светлого скаполита, возможно, реликты неизмененного минерала. По скаполитам в значительном количестве развит белесый кальцит. По всему образцу также отмечаются вроски уплощенных кристаллов кальцита яркой оранжево-розовой окраски и сростков неправильных кристалликов темной (почти черной) шпинели.

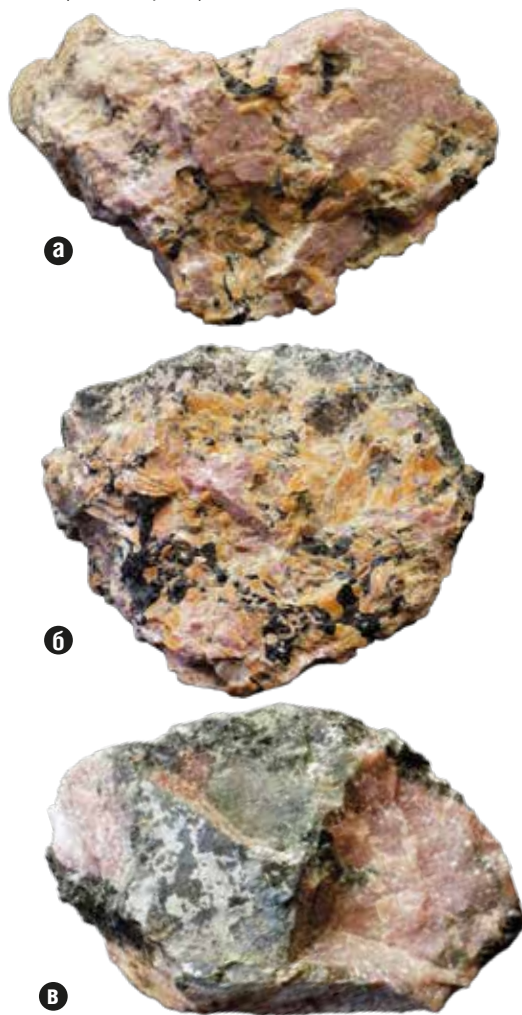


Рис. 5. Скаполит месторождения Куранах: а) и б) сиреневый скаполит с оранжевым кальцитом: (ГГМ РАН, МН-43771, 11*6*5 см и МН-46582, 15*13*5 см), участок (месторождение) Угольный; в) сиреневый, мусковитизированный? скаполит (ГГМ РАН, МН-47089, 14.5*9*8 см), участок (месторождение) Угольный, карьер №15; Фото: Ю.В. Азарова.

Образец МН–46582 – это крупный штупф сиреневого скаполита (рис. 5б), практически нацело серицитизированного (Шмакин, 1957). С одного из краев образца отмечен темно-серый полевой шпат (?). По всему объему образца отдельные кристаллики и зернистые скопления черной шпинели и крупнопластинчатые выделения ярко-оранжевого кальцита.

Образец МН–47089 (рис. 5в). Штупф плохо раскристаллизованного розового мусковитизированного скаполита, в тесной ассоциации с крупными выделениями черного амфибола, тронутого зеленым хлоритом и сероватым минералом из группы везувиана (?).

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СКАПОЛИТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУРАНАХ И ЭМЕЛЬДЖАК

Месторождение Куранах

Три образца скаполита из флогопитового месторождения Куранах (МН–43771, МН–46582 и МН–47089) были изучены с использованием СЭМ (метод рентгеноспектрального микроанализа с применением растрового электронного микроскопа Tescan Vega-II XMU; режим EDS, 20 кВ, 400 пА), аналитик Д.А. Варламов. Все образцы привлекают внимание своим необычным розово-сиреневым (светло-лиловым) цветом. Было предположено, что причина такой окраски кроется в особенностях состава, либо в механических микровключениях каких-либо сопутствующих минералов, либо в формировании псевдоморфоз мусковита (серицита) (по литературным данным: (Шмакин, 1957).

Образец МН–46582 (рис. 5б) ранее был изучен оптически Б.М. Шмакиным (Шмакин, 1957), который отметил практически повсеместное развитие по скаполиту серицита. Наше изучение с помощью СЭМ двух зерен этого же образца по площади (край–центр) показало, что это абсолютно чистый скаполит, без всяких признаков замещения и каких-либо вростков других минералов (рис. 6).

По составу зерна скаполита данного образца отвечают обычному мариалиту, с практически идеальной формулой $\text{Na}_4[\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}]\text{Cl}$, с небольшой примесью мейонитовой, кальциевой компоненты. Единственной их особенностью является довольно значительное содержание фтора (до 0.69%, табл. 1), тогда как в подавляющем большинстве случаев это сотые доли процента (Минералы, 2003). Очень малый дефицит суммы химического анализа

косвенно говорит о практически полном отсутствии групп CO_3 в составе минерала, в данном случае.

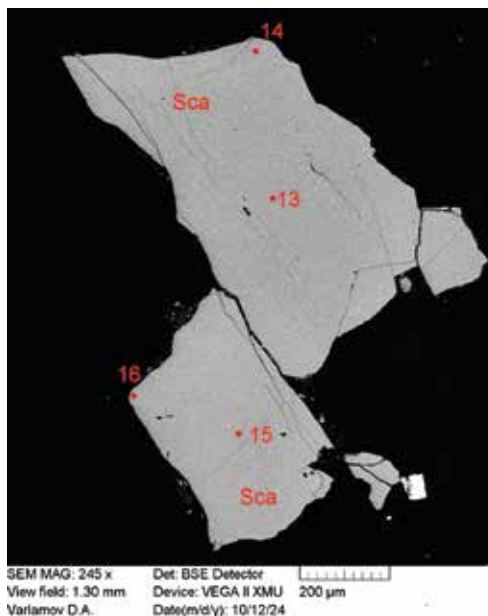


Рис. 6. Снимок зерен скаполита, образец МН–46582, месторождение Куранах, с использованием СЭМ (снимок в BSE).

Образец МН–43771 (как видно на рис. 5а, такого же сиреневого цвета) в обратно-отраженных электронах показывает неоднородное строение (рис. 7а и 7б). При большом увеличении (рис. 7б) видно, что зерно почти нацело замещено микропластинчатым мусковитом (по своему составу мусковит местами гидратирован, с переходом в иллит), то есть в этом образце скаполит подвергся поздне-гидротермальному, низкотемпературному преобразованию, скорее всего, в несколько стадий. На небольшом фрагменте виден реликт скаполита (рис. 7б), тоже измененного – по составу цеолитизированного (табл. 1) – с выносом кальция (что обусловило развитие кальцита по периферии зерна) и кремния.

Образец МН–47089. Здесь «скаполит» представляет собой, практически целиком, микрозернистый агрегат мусковита, с очень небольшими, прожилковидными зонками реликтового, существенно выщелоченного по кальцию – сильно цеолитизированного, собственно скаполита. По трещинкам также местами развит кальцит. Состав всех изученных образцов приведен в таблице 1.

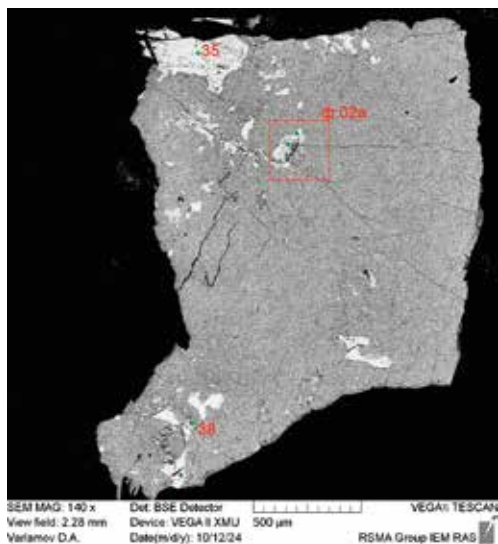
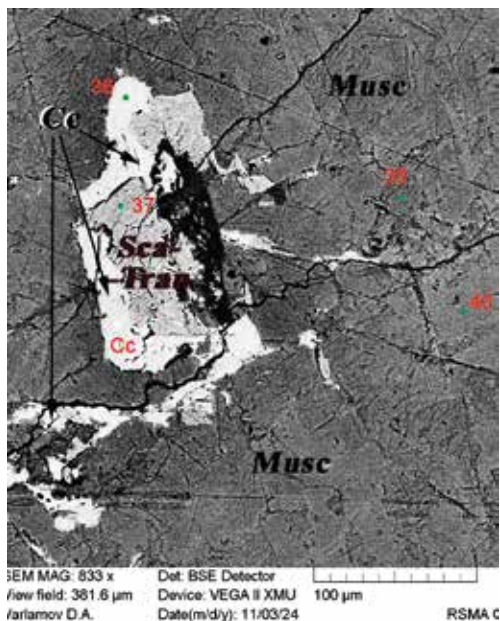
a**б**

Рис. 7. Снимок зерна скаполита, образец МН-43771, месторождение Куранах с использованием СЭМ (снимок в BSE): а) общий вид зерна, б) увеличенный фрагмент (Cc – кальцит, Musc – мусковит, Sca-Tran – измененный, цеолитизированный скаполит).

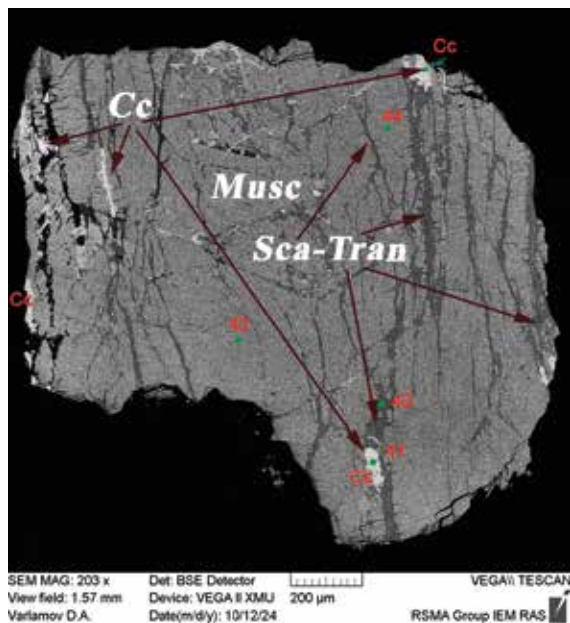


Рис. 8. Скаполит, замещенный мусковитом. Образец МН-47089, месторождение Куранах (снимок в BSE). (Cc – кальцит, Musc – мусковит, Sca-Tran – измененный скаполит).

Месторождение Эмьеджаж

Из этого месторождения изучены два образца скаполита – один красной окраски (МН-46221), зонального строения; второй – белый скаполитоподобный минерал (МН-50989), с зоной фиолетовой окраски.

Таблица 1. Химический состав скаполитов месторождений Куранах и Эмьеджаж (мас. %)

Куранахское месторождение								Эмьеджажское месторождение	
компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8*	9*муск.
Na ₂ O	9,68	9,74	9,98	10,12	0,13	0,10	2,91	3,76	0,47
K ₂ O	0,32	0,30	0,17	0,29	0,00	0,00	0,12	1,28	8,13
CaO	6,58	6,40	6,66	6,94	23,22	23,94	12,58	15,73	3,09
MnO	0,08	0,25	0,00	0,04	0,00	0,00	0,11	0,01	0,01
FeO	0,03	0,00	0,02	0,00	0,55	0,41	0,00	0,32	0,22
MgO	0,17	0,18	0,19	0,14	1,16	2,49	0,02	0,07	0,13
Al ₂ O ₃	22,15	21,82	21,55	22,10	26,21	25,00	27,01	29,83	38,88
SiO ₂	55,06	55,66	54,68	55,71	34,11	34,83	34,00	44,42	41,89
TiO ₂	0,00	0,13	0,05	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,00
F	0,19	0,69	0,00	0,31	0,31	0,02	0,16	0,06	-
Cl	3,59	3,58	3,54	3,47	0,21	0,23	0,03	0,90	0,08
Сумма	97,96	98,83	96,98	99,31	86,00	87,29	77,14	100,58**	99,52***
Формульные единицы (расчет на Si+Al=12), кроме мусковита									
Na	2,78	2,78	2,90	2,88	0,04	0,04	1,03	1,75	0,10
K	0,06	0,06	0,03	0,05	0,00	0,00	0,03	0,25	0,71
Ca	1,04	1,01	1,07	1,09	4,59	4,79	2,46	0,23	0,23
Mn	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,06	0,01	0,04	0,01
Mg	0,04	0,04	0,04	0,03	0,32	0,69	0,00	0,02	0,01
Al	3,86	3,79	3,81	3,82	5,70	5,50	5,80	5,30	3,13
Si	8,14	8,21	8,19	8,18	6,30	6,50	6,20	6,70	2,87
Ti	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
F	0,09	0,32	0,00	0,14	0,18	0,01	0,10	0,03	0,01
Cl	0,90	0,89	0,90	0,87	0,07	0,07	0,01	0,23	0,00

Примечания: ан. 1–4 — мариалит из пегматитов Куранахского месторождения (МН-46582); ан. 5–7 — измененный скаполит оттуда же (5, 6 – МН-43771, 7 – МН-47089), сильно цеолитизирован, по составу, практически, Са-цеолит; ан. 8 — измененный мариалит из Эмьеджажского месторождения, начало мусковитизации, ан. 9 — практически мусковит оттуда же.

* – приведены литературные данные (Галюк, 1957),

** – в сумму также входят Н₂О–0,72%, СО₂–2,40% и SO₃–1,08%.

*** – в состав входят Н₂О–5,79%, СО₂–0,54% и SO₃–0,21%. Анализ 9 рассчитан на сумму Si+Al=6. В ан. 8 и 9 железо присутствует в трехвалентной форме, согласно (Галюк, 1957).

Образец МН-50989 (рис. 4) (фрагмент белого кристалла) при аналитическом изучении оказался скаполитом, но полностью преобразованным в несколько этапов (от скаполита остались лишь реликты в первые десятки микрон) (рис. 9). Первым этапом, по-видимому, была полевошпатизация (анортизация) – основной объем изученного зерна, это почти чистый анортит. Вторым этапом стала мусковитизация – она протекала, видимо, при воздействии флогопитообразующих растворов, с обогащением более ранней фазы калием, с выносом кальция. Последний связывался в кальците, характерном в образцах данного месторождения (кальцит 1-ой генерации (по Галюк, 1957), обрастающий кристаллы флогопита и диопсида). Именно развитие мусковита, в данном случае, влечет за собой окрашивание более раннего анортита в фиолетовый цвет. Последнее прекрасно видно на рисунке 4, где по контакту с кристаллом флогопита идет формирование фиолетовой зоны. При изучении с использованием СЭМ также установлено, что по анортиту развивается мусковит (рис. 9).

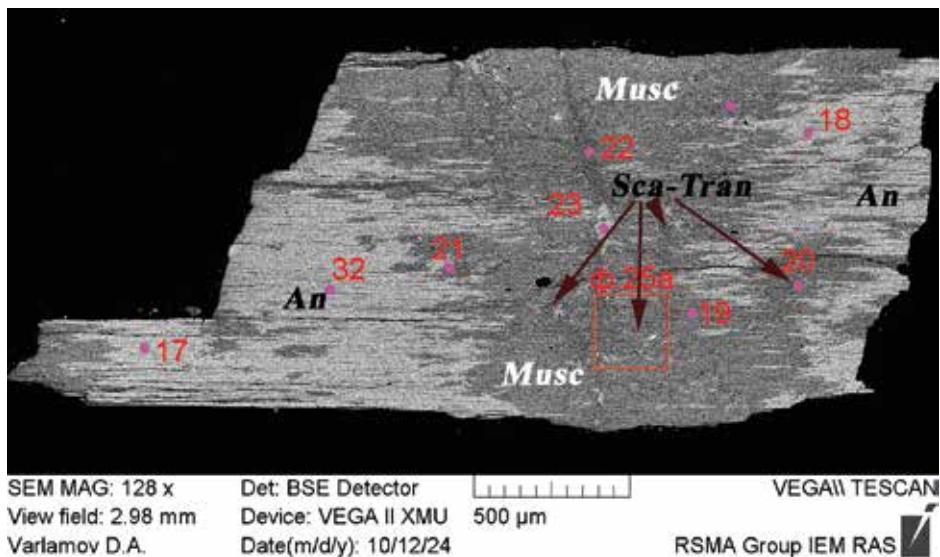


Рис. 9. Зерно измененного скаполита, образец МН-50989, месторождение Эмельджак, (снимок в BSE). An – анортит, Musc – мусковит, Sca-Tran – измененный скаполит.

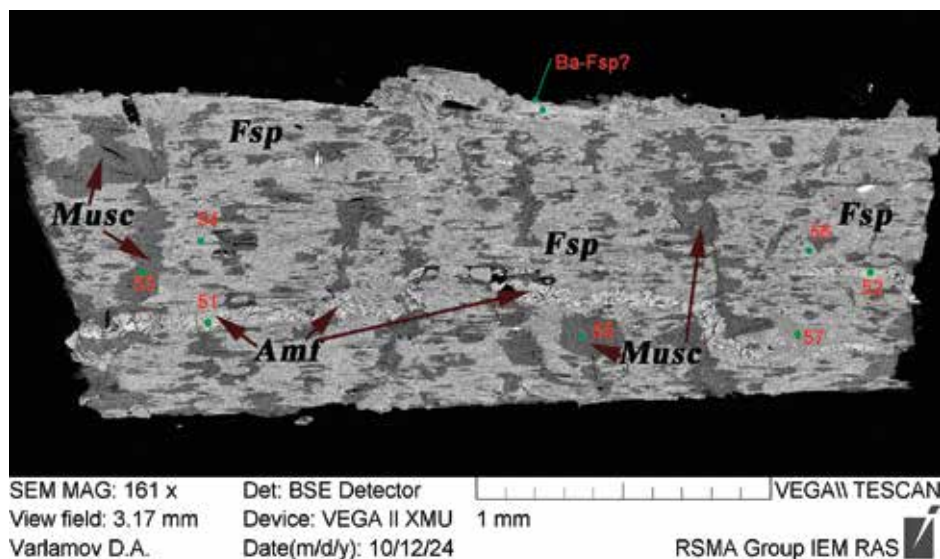


Рис. 10. Зерно измененного красного калиевого полевого шпата (КПШ), образец МН-31545, Норвегия, Арендаль (снимок в BSE). Fsp – КПШ, Amf – амфибол, Musc – мусковит.

По образцу МН-46221, к сожалению, удалось использовать лишь литературные данные. При изучении сплошных выделений, подобных тем, что содержатся в образце из нашей коллекции, было отмечено, что в большинстве случаев скаполит в них существенно замещен микрочешуйчатым агрегатом мусковита (гидро-мусковита) (Галюк, 1957). Неизменный скаполит относится к разностям мейонит-мицзонитового состава (табл. 1). Зональность нашего образца можно объяснить, по-видимому, двумя причинами: 1) по трещинам идет постепенное замещение скаполита мусковитом, что обуславливает формирование розоватых зон; 2) по этим же ослабленным зонам происходит более поздняя гематитизация, усиливающая красный оттенок (на последнее косвенно указывает примесь именно трехвалентного железа, согласно (Галюк, 1957) – табл. 1).

Для сравнения была предпринята попытка изучить минерал, также красного цвета, ранее идентифицированный как скаполит – он формирует сросток длиннопризматических кристаллов (МН-31545, Норвегия, Арендаль). Исследование с использованием СЭМ показало, однако, что этот минерал является калиевым полевым шпатом с развитием по трещинам амфибола группы чермакита с хлоритом и минералами эпидот–везувианового ряда (рис. 10). Возможно, это тоже продукт преобразования скаполита, но данные, указывающие на это, отсутствуют.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. ВЫВОДЫ

Исходя из анализа полученных аналитических и литературных данных, можно сделать несколько предположений о процессах преобразования изученного скаполита, а также о возможной природе необычной окраски некоторых образцов.

1. Галюк В.А. считает, что в месторождении Эмельджак скаполит является, как уже было отмечено выше, существенно значимым минералом флогопитовых тел (Галюк, 1957). Скаполит из сплошных выделений (подобных образцам из коллекции фондов ГГМ РАН) формировался, по-видимому, в постмагматическую – метасоматическую стадию формирования пород. На последующих стадиях минералообразования он претерпел сложные гидротермальные преобразования в несколько стадий. На более ранней стадии скаполит местами был преобразован в анортит – вероятно, под действием относительно высокотемпературных постмагматических растворов, обогащенных глиноземом, кальцием и летучими компонентами (CO_2 , H_2O , F и т.п.). Их источником, скорее всего, стали вмещающие месторождение породы – гнейсы и гранитогнейсы. На более поздней стадии (на некоторых участках месторождения она осталась единственной) минералы (в том числе и скаполит) подверглись интенсивной мусковитизации под действием растворов, формирующих флогопит. Согласно исследованиям (Галюк, 1957), растворы имели кальциево–магниевый состав. Однако химизм формирующихся минералов (в первую очередь, флогопита) указывает скорее на калий–магниевый характер растворов. Источником этих элементов могли быть вмещающие гранито–гнейсы и доломиты, а также сформированные одновременно со скаполитовыми диопсидовые тела, также подвергшиеся метасоматической переработке. «Освобожденный» из скаполита, диопсида и полевых шпатов кальций при реакции с

летучими компонентами растворов связывался в кальцит 1–ой генерации. Необычный желтоватый и ярко–оранжевый цвет кальцита, согласно (Галюк, 1957), объясняется примесями магния и Fe^{3+} .

2. Скаполит из Куранахского флогопитового месторождения также, в большинстве случаев, подвергался интенсивной мусковитизации (рис. 7). Это месторождение весьма родственно Эмельджакскому по генезису и сходно по своему строению. По мнению Б.М. Шмакина (Шмакин, 1957), формирование скаполита здесь связано с деятельностью богатых кальцием и летучими компонентами гидротерм, образовавшихся при остывании остаточных постмагматических растворов и взаимодействии их с карбонатными породами. Как и в Эмельджакском месторождении, последующая мусковитизация скаполита связана, по-видимому, с воздействием флогопитообразующих растворов, то есть с калиевым (Шмакин, 1957) (калий–магниевым) метасоматозом. Нельзя также не отметить аналогичный ярко–оранжевый кальцит (рис. 5), также, вероятно, сформированный из растворов, обогащенных «освобожденным» кальцием, при участии магния и трехвалентного железа (?).

3. При изучении розовато–сиреневого скаполита из месторождения Куранах Б.М. Шмакиным (Шмакин, 1957) была выдвинута версия, что своеобразная окраска скаполита в данном месторождении обусловлена тем, что он, в большинстве случаев, почти нацело замещен мелкочешуйчатым агрегатом серицита (мусковита). Неизмененный скаполит, по мнению этого автора, очень редок и, как правило, имеет белую окраску. Сходное мнение было высказано В.А. Галюком по поводу аналогичной окраски скаполита из месторождения Эмельджак (Галюк, 1957). В этой же работе автор предположил, что розоватая и сиреневая окраска скаполита может быть обусловлена примесью марганца. Наше изучение показало, что, во многих случаях, идентичный цвет имеют как существенно (или почти нацело) мусковитизированные зерна скаполита, так и абсолютно не подвергшиеся замещению. Что касается марганца, то, согласно нашим и литературным данным по этому минералу из месторождений Южной Якутии, содержание марганца в скаполитах ничтожно мало, либо он полностью отсутствует.

Вопросу природы окраски скаполита посвящено много работ. Наиболее объективными, на наш взгляд, являются авторы, пришедшие к выводу о радиационной природе разнообразных окрасок

скаполита (Shendrik, Chukanov *et al.*, 2024; Choudhary 2015; Allen, Renfro, Nelson, 2014; Taran, *et al.*, 1989 и другие). И наиболее разносторонне обоснованной нужно признать работу Никиты Владимировича Чуканова с соавторами (Shendrik, Chukanov *et al.*, 2024). Согласно этой работе, фиолетовые, синие, сиреневые и розоватые окраски обусловлены соотношением в структуре минерала F-центров и позиций $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ -группы. F-центр – это вакансия аниона (в структуре скаполита занимаемая

Cl^- , $(\text{CO}_3)^{2-}$, $(\text{SO}_4)^{2-}$, или F^-), которая захватила электрон. Перенос электрона от $(\text{CO}_3)^{2-}$ к вакансии порождает структурную группу: анион-радикал $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ и F-центр. Звёздочка здесь означает неспаренный электрон. Анион-радикал $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ – синий хромофор, F-центр – синий или фиолетовый (в зависимости от его окружения). Авторами этой же статьи разработана объективная диаграмма возможной окраски скаполита, в зависимости от особенностей его структуры (рис. 11).

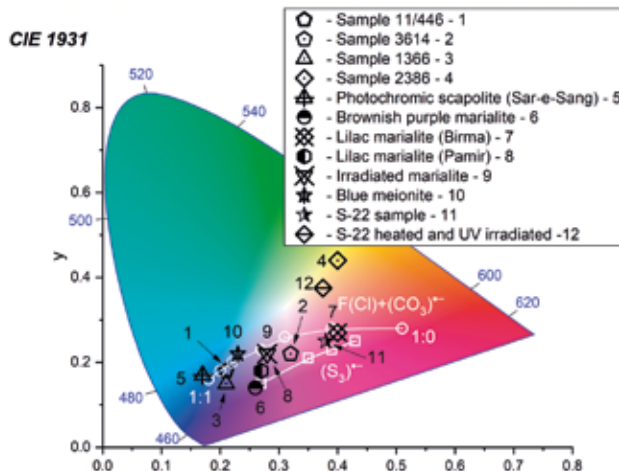


Рис. 11. Диаграмма цветности для минералов группы скаполита из разных объектов.

Условные обозначения: 1 – фиолетово-синие полупрозрачные кристаллы скаполита; 2 – сиреневый призматический кристалл мариалита из месторождения скаполита Кукурт, Восточный Памир, Таджикистан; 3 – бледно-зеленый SO_4^{2-} и F-содержащий мейонит из скарново-флогопитового месторождения Канку, Республика Саха (Якутия), Россия.; 4 – прозрачный, ювелирного качества желтый кальцийсодержащий мариалит из месторождения Кукурт; 5 – скаполит из (Allen *et al.*, 2014); 6 – скаполит из (Choudhary, 2015), 7 – Мьянма (Бирма), 8, 9 и 11 – розово-сиреневые скаполиты с хребта Туракулома, Восточный Памир, Таджикистан; 10 – ювелирный голубой мейонит из Восточного Памира (Таран и др., 1989); 12 – образец с хребта Туракулома, отожженный при 950°C, а затем облученный УФ-лампой 256 нм.

Белые линии показывают рассчитанные тенденции цветов скаполита для различных соотношений между $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ и F-центрами, где 1:0 показывает цвет скаполита, содержащего только F-центры, а 1:1 указывает скаполиты, содержащие равные концентрации $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ и F-центров. Также показан рассчитанный цветовой тренд скаполитов, содержащих $\text{S}^{\cdot-}$ радикалы в различных координациях Na/Ca (Shendrik, Chukanov *et al.*, 2024).

На рисунке 11 видно, что к изученным в данной статье скаполитам из месторождений Якутии наиболее близок по своей окраске сиреневый скаполит из месторождения Кукурт (Восточный Памир, Таджикистан) и месторождения Бирмы (ныне – Мьянма) – точки 2, 11 или 7. Такой окраске способствует снижение количества групп $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ в структуре (с этим согласуется низкое содержание $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ в «наших» скаполитах) или почти равные концентрации $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ и F-центров.

Таким образом, необычный сиреневый цвет скаполитов из месторождений Куранах и Эмельджак, во многих случаях, вероятно, имеет радиационную природу и обусловлен структурными особенностями (соотношением между $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ и F-центрами с переносом электронов в образующей группировке). Это касается, в основном, неизмененных, незатронутых вторичными процессами преобразования образцов. В некоторых случаях, когда процессы преобразования существенно затронули скаполит, краска может быть обусловлена развитием вторичных фаз (в большинстве случаев, мусковита).

Автор от всей души благодарна Дмитрию Варламову за скрупулезное аналитическое изучение образцов и помощь в обсуждении результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- Галюк В.А. Новые данные о геологии и минералогии Эмельджакского флогопитового месторождения (Южная Якутия). Труды МГРИ. Т. 31. 1957. С. 102-130.
- Минералы: Справочник. Т. 5. Каркасные силикаты. Вып. 2: Фельдшпатоиды. М.: Наука, 2003. 379 с.
- Михайлов Д.А. Магнезиально-кальциевые рудоносные метасоматиты докембрия. Л.: Наука, 1973. 144 с.
- Расческин Е.В. Сподохи Севера. Восточная Сибирь глазами геолога. Екатеринбург: Студия ГРАФО, 2004. 277, [2] с.
- Таран М., Таращан А., Платонов А., Багмут Н., Скригитил А. Спектроскопическое исследование драгоценных скаполитов Восточного Памира // ЗВМО. 1989. Ч. 118. С. 90-100.
- Шмакин Б.М. Псевдоморфозы мусковита по скаполиту с реки Куранах (Алдан) // Труды МГРИ. М.: Госгеолтехиздат, 1957. Т. 31. С. 130-134.
- Шуляк А.Н. Куранахское месторождение флогопита // Сб. статей. Междунар., конференция «Современное состояние и перспективы развития научной мысли». Пенза. 2016. Ч. 2. Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2016. С. 50-53.
- Яккин А.А. Слюдяные месторождения Северо-Западного Прибайкалья. Флогопитовые месторождения бассейна реки Куранах в районе Алданской плиты. Свердловск; Москва: ГОНТИ, 1939. 130 с.
- Allen T., Renfro N., Nelson D., Tenebrescent irradiated scapolite. Gems&Gemol. 2014. Vol. 50(1). P. 91-92.
- Choudhary G. Purple scapolite. Gems&Gemol. 2015. Vol. 51. Pp. 202-203.
- Shendrik R., Chukanov N.V., Bogdanov A., et al. Nature of Scapolite Color: Ab Initio Calculations, Spectroscopy, and Structural Study // Minerals. 2024. 14(2): 937. Pp. 1-27.
- URL:<https://webmineral.ru/deposits/item.php?id=201> (дата обращения: 25.01.25).