



Электронная версия доступна на сайте
[www.fmm.ru/Новые данные о минералах](http://www.fmm.ru/Новые_данные_о_минералах)
Минералогический музей
имени А.Е. Ферсмана РАН

Н Д М

Новые данные о минералах, том 54, вып. 3 (2020), 74–95

Важнейшие научные результаты Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана в 2019 году

Плечов П.Ю., Белаковский Д.И., Паутов Л.А., Пеков И.В.,
Касаткин А.В., Агаханов А.А., Карпенко В.Ю., Некрылов Н.А.,
Гриценко Ю.Д., Гаранин В.К., Карпов А.О., Герасимов В.Ю.

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, pplechov@gmail.com

Статья представляет собой сводку основных научных результатов сотрудников Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (Минмузея РАН) за 2019 год. Приведены краткие описания 20 новых минеральных видов: фторапофиллит-(Cs), гмалимит, ферроефремовит, нишанбаевит, дрицит, патынит, малетойваямит, хинганит-(Nd), перклевейт-(La), радекшодайт-(Ce), виттинкиит, крейтерит, оксивисмутомикролит, сергеванит, полиарсит, юргенсонит, евсевит, чийокоит, алекскузнецовит-(La), натрофтиталит.

В статье суммированы текущие результаты изучения выдающихся минералогических объектов, типоморфных минералов месторождений Поморья, Якутии, Камчатки, Урала, Кавказа, Крыма, Памира и Тянь-Шаня. Приведены данные по детальному изучению монтичеллита, минералов надгруппы эпидота, группы мелиита, а также результаты изучения включений в оливине, плагиоклазе, клинопироксене, ортопироксене и кварце из различных магматических объектов.

Ключевые слова: Минмузей РАН, отчет о научной работе за 2019 г., новый минеральный вид, оливин, алмаз, мелилит, вариации состава породообразующих минералов.

Введение

Одним из важнейших направлений Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана является изучение минералогического многообразия в земной коре. За 2019 год с участием сотрудников Минералогического музея были открыты и утверждены Комиссией по новым минералам и названиям минералов Российского минералогического общества и Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации (КНМНК – CNMNC) Международной минералогической ассоциации (ММА – IMA) 20 новых минералов. Каждый новый открытый минеральный вид пополняет фундаментальную науку, проливает свет на природные процессы, дает инструменты для поиска полезных ископаемых, создания новейших материалов, свидетельствует о

высочайшем мировом уровне исследований.

Результаты исследований сгруппированы в несколько разделов. В первом разделе суммированы сведения о новых минералах, открытых сотрудниками Минмузея РАН или при их участии. Второй раздел описывает наиболее интересные результаты, полученные при изучении различных минералогических объектов, которые объединены здесь по географическому принципу. Третий раздел посвящен работе по изучению вариаций химического состава и свойств минералов различных групп, а последний раздел – изучению включений в минералах и генетической информации, которую из них можно извлечь. Большая часть этих результатов уже опубликована в отдельных статьях, и для них приводятся ссылки на публикации.

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

В данном разделе приведены краткие сведения о 20 минералах, открытых с сотрудниками Музея или с их участием и утвержденных Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации (IMA CNMNC) в 2019 году. Кроме этого, приведено описание натроафгиталита, который был утвержден Комиссией в конце 2018 года и не вошел в предыдущий обзор (Плечов и др., 2019). Название минерала приводится в английском и русском написании. После названия минерала дан официальный номер, присваиваемый IMA CNMNC. Также приводятся регистрационные номера образцов, на которых выполнялись оригинальные исследования, если они переданы в коллекцию Музея. В списке авторов курсивом выделены сотрудники Минмузея РАН.

Силикаты:

Перклевеит-(La) *Percleveite*-(La). IMA 2019-037. $\text{La}_2\text{Si}_2\text{O}_7$. Мочалин Лог, Челябинская обл., Южный Урал, Россия. Тетрагональный, пр. гр. $P4_1$, $a = 6.8482(3) \text{ \AA}$, $c = 24.8550(13) \text{ \AA}$, $V = 362.123(14) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Образует изометричные зерна в агрегатах с другими редкоземельными минералами (рис. 1). Назван как лантановый аналог ранее открытого на месторождении Бастнез (Швеция) перклевеита-(Ce), который получил название в честь шведского химика, первооткрывателя элементов гольмия и тулия Пера Теодора Клива (*Per Theodor Cleve*) (1840–1905) (Holtstam et al., 2003). Котип (оригинал структурного исследования) хранится в систематической коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (обр. FMM_1_96697, рег. № 5362/1) (Kasatkin et al., 2020).

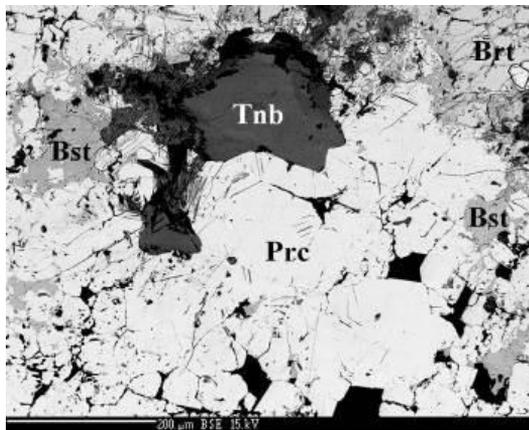


Рис. 1. Перклевеит-(La) (Prcl) в ассоциации с бастнезитом-(Ce) (Bst), тёрнебломитом-(La) (Tnb) и фторбрихтолитом-(Ce) (Brt). Черные зерна – кварц. Изображение в режиме BSE.

Авторы: *Касаткин А.В., Зубкова Н.В., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Шкода Р., Агаханов А.А., Белаковский Д.И., Платил Я., Кузнецов А.М.*

Радекшкодаит-(Ce) *Radekškodaite*-(Ce). IMA 2019-042. $(\text{CaCe}_5)(\text{Al}_4\text{Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_5\text{O}(\text{OH})_3$. Мочалин Лог, Челябинская обл., Южный Урал, Россия. Моноклинный, пр.гр. $P2_1/m$, $a = 8.9702(4) \text{ \AA}$, $b = 5.7044(2) \text{ \AA}$, $c = 25.1642(13) \text{ \AA}$, $\beta = 116.766(6)^\circ$, $V = 1149.68(11) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Встречен в сростаниях с другими минералами REE (рис. 2). Назван как цериевый аналог радекшкодаита-(La), открытого в 2018 году (Kasatkin et al., 2020) и вошедшего в обзорную статью прошлого года (Плечов и др., 2019), который получил название в честь чешского минералога Радека Шкоды. Котип (оригинал структурного исследования) радекшкодаита-(Ce) передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96698 (рег. № 5363/1).

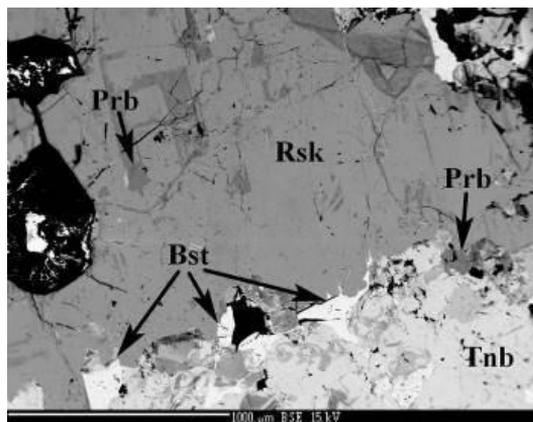


Рис. 2. Радекшкодаит-(Ce) (Rsk) в ассоциации с пербштейнитом-(Ce) (Prb), тёрнебломитом-(Ce) (Tnb) и бастнезитом-(Ce) (Bst). Черные зерна – кварц. Изображение в режиме BSE.

Авторы: *Касаткин А.В., Зубкова Н.В., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Шкода Р., Нестола Ф., Агаханов А.А., Белаковский Д.И., Кузнецов А.М.*

Алекскузнецовит-(La) *Alexkuznetsovite*-(La). IMA 2019-081. $\text{La}_2\text{Mn}(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)$. Мочалин Лог, Челябинская обл., Южный Урал, Россия. Моноклинный, пр.гр. $P2_1/c$, $a = 6.5642(3) \text{ \AA}$, $b = 6.7689(3) \text{ \AA}$, $c = 18.7213(10) \text{ \AA}$, $\beta = 108.684(6)^\circ$, $V = 788.00(7) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. Встречен в ассоциации с другими минералами лантана, в том числе с новым описанным выше перклевеитом-(La) (рис. 3). Является La-Mn-аналогом бираита-(Ce) (Konev et al., 2005). Вторая находка в мире самого бираита-(Ce) сделана авторами на этом же месторождении. Минерал назван в честь Алексея Михайловича Кузнецова (1962 г. р.), известного минералога-любителя и коллекционера, много работающего по Южному Уралу, в частности по Мочалину Логу. Голотип алекскузнецовита-(La) передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_97005, рег. № 5416/1 (Kasatkin et al., 2020).

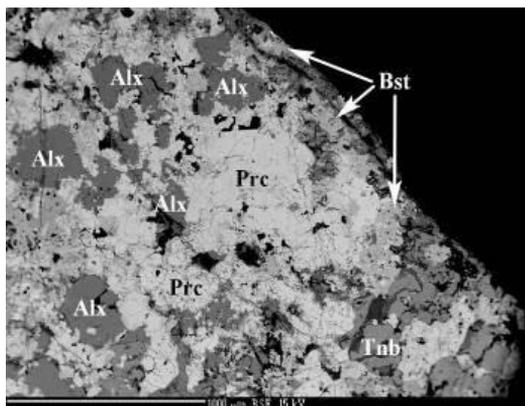


Рис. 3. Алескузнецовит-(La) (Alx) в ассоциации с перклевитом-(La) (Prc), тёрнебомитом-(La) (Tnb) и бастнезитом-(La) (Bst). Черные зерна – кварц. Изображение в режиме BSE.

Авторы: Касаткин А.В., Зубкова Н.В., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Шкода Р., Нестола Ф., Агаханов А.А., Белаковский Д.И., Пушаровский Д.Ю.

Крейтерит Kreiterite. IMA 2019-041. $\text{CsLi}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$. Щелочной массив Дарай-Пиёз, Таджикистан. Моноклинный, пр. гр. $C2/m$, $C2$ или Cm (политип 1M), $a = 5.240(2) \text{ \AA}$, $b = 9.054(4) \text{ \AA}$, $c = 10.761(4) \text{ \AA}$, $\beta = 99.58(4)^\circ$, $V = 503.4(6) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Минерал из группы слюд. Встречается в виде тонких вростков в эгирине из кварц-пектолитового агрегата вместе с ридмерджнеритом и флюоритом (рис. 4). Назван в честь российского геолога Владимира Михайловича Крейтера (1897–1966), известного советского ученого, одного из основоположников учения о поисках и разведке полезных ископаемых в СССР. Оригинал исследования передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 4935/1.

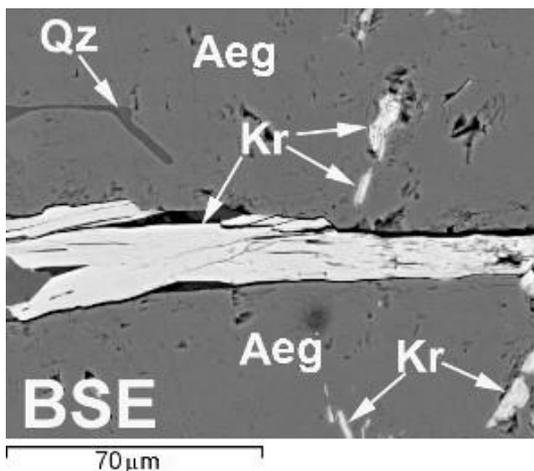


Рис. 4. Выделения крейтерита (Kr) в эгирине (Aeg) из кварц-пектолитового агрегата. Изображение в режиме BSE.

Авторы: Агаханов, А.А., Паутов Л.А., Пеков И.В., Карпенко В.Ю., Соколова Е.В., Hawthorne F.C., Фазиев А.Р., Касаткин А.В., Куликова И.М., Муфтахов В.А.

Сергеванит Sergevanite. IMA 2019-057. $\text{Na}_{15}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_3\text{H}_2\text{O}$. Рудник Карнасурт, Ловозерский щелочной массив, Кольский полуостров, Россия. Тригональный, пр. гр. $R\bar{3}$, $a = 14.2179(1) \text{ \AA}$, $c = 30.3492(3) \text{ \AA}$, $V = 5,313.11 \text{ \AA}^3$. Минерал из группы эвдиалита, характеризуется сочетанием $\text{Ca}+\text{Mn}$ и $\text{Na}+\text{Fe}$ в отдельных структурных позициях. Назван по реке Сергевань, в бассейне которой находятся северные склоны горы Карнасурт.

Голотип сергеванита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_97007, рег. № 5423/1.

Авторы: Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Аксенов С.М., Пеков И.В., Белаковский Д.И., Возчикова С.А., Бритвин С.Н.

Фторапофиллит-(Cs) Fluorapophyllite-(Cs). IMA 2019-108. $\text{CsCa}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}\text{F} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Щелочной массив Дарай-Пиёз, Таджикистан. Тетрагональный, пр. гр. $P4/mnc$, $a = 9.060(6) \text{ \AA}$, $c = 15.741(11) \text{ \AA}$, $V = 1292.1(1) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Встречен в виде выделений неправильной формы, обрастающих кварц в кварц-пектолитовом агрегате (рис. 5). Минерал является цезиевым аналогом фторапофиллита-(K) и назван по аналогии с ним согласно правилам минералогической номенклатуры. Котип фторапофиллита-(Cs) передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и зарегистрирован под номером 5280/1.

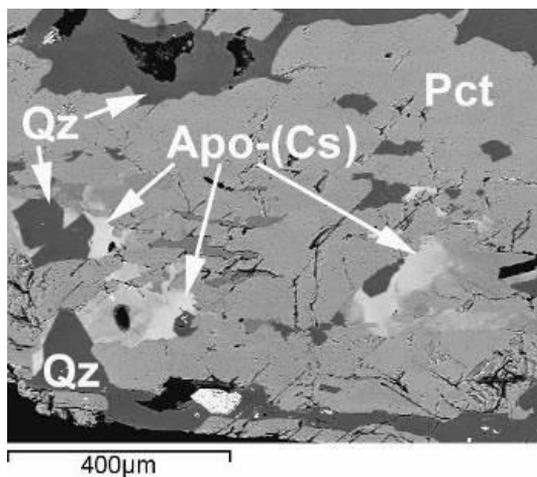


Рис. 5. Фторапофиллит-(Cs), Apo-(Cs), в кварц-пектолитовом (Qz-Pct) агрегате. Изображение в режиме BSE.

Авторы: Агаханов А.А., Паутов Л.А., Касаткин А.В., Соколова Е.В., Day M.C., Hawthorne F.C., Карпенко В.Ю., Муфтахов В.А., Пеков И.В., Камара Ф.А., Бритвин С.Н.

Патынит Patynite. IMA 2019-018. $\text{NaKCa}_4[\text{Si}_9\text{O}_{23}]$. Патынский массив, Горная Шория, Кемеровская область, Южная Сибирь, Россия. Триклинный, пр. гр. $P\bar{1}$, $a = 7.27430(10) \text{ \AA}$, $b = 10.5516(2) \text{ \AA}$, $c = 13.9851(3) \text{ \AA}$, $\alpha = 104.203(2)^\circ$, $\beta = 104.302(2)^\circ$, $\gamma = 92.0280(10)^\circ$, $V = 1003.07(3) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Образует шестоватые агрегаты в сростании с чароитом, токситом, диопсидом и графитом. Минерал не имеет аналогов ни по химическому составу, ни по кристаллической структуре. Патынит – это цепочечный силикат с шестичленными тетраэдрическими цепочками, образующими колонки с внутренними каналами (рис. 6). Эта структура состоит из двух модулей. Тройная цепочка тетраэдрически координированных атомов Si вытянута вдоль направления a и состоит из трех симметрично неэквивалентных волластонитовых цепочек с тремя тетраэдрами в качестве повторяющейся единицы.

Тройные цепочки формируют восьмичленные и пятничленные кольца тетраэдров. Шесть цепочек образуют сложный мотив тетраэдров, соответствующий колонке (или силикатной трубе), проходящей вдоль оси a . Стехиометрия силикатного радикала $[\text{Si}_{18}\text{O}_{46}]^{20-}$. Каждая колонка содержит центральный канал, инкрустированный лентами из восьмичленных искаженных колец. Второй модуль структуры: двойная цепочка Ca-центрированных октаэдров формирует гофрированный слой вдоль плоскости (001) (рис. 6).

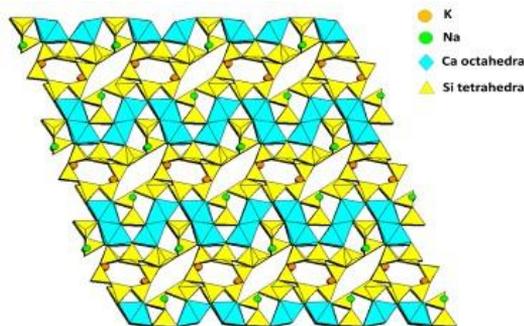


Рис. 6. Схематическое изображение структуры патынита. Оранжевые шарики – K, зеленые – Na, голубые полиэдры – октаэдры Ca, желтые треугольники – тетраэдры Si.

Название дано по месту находки – Патынскому массиву. Голотип патынита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96590 (рег. № 5369/1). (Kasatkin et al., 2019).

Авторы: Касаткин А.В., Нестола Ф., Чуканов Н.В., Шкода Р., Камара Ф., Агаханов А.А., Белаковский Д.И., Леднёв В.С.

Хинганит-(Nd) Hingganite-(Nd). IMA 2019-028.

$\text{Nd}_2\text{OBe}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$. Найден на горе Зеги (Zagi/Zegi), Hameed Abad Kafoor Dheri, Пешавар, провинция Хибер-Пахтунхва, Пакистан. Моноклинный, пр. гр. $P2_1/c$, $a = 4.77193(15) \text{ \AA}$, $b = 7.6422(2) \text{ \AA}$, $c = 9.9299(2) \text{ \AA}$, $\beta = 89.851(2)^\circ$, $V = 362.123(14) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Хинганит-(Nd) относится к надгруппе гадолинита. Он является неодимовым аналогом хинганита-(Y), названного по месту находки (Большому Хингану (Khinggan), Китай (Ding et al., 1984). Nd-доминантный хинганит описывался ранее в Монголии (MacDonald et al., 2015) и в Словакии (Pršek et al., 2010), но только в прошлом году удалось получить полные данные по составу и структуре, чтобы подготовить полноценную заявку в комиссию IMA CNMNC. Голотип хинганита-(Nd) передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96591 (рег. № 5370/1) (рис. 7).



Рис. 7. Темный зеленовато-коричневый призматический кристалл хинганита-(Nd).

Авторы: Касаткин А.В., Нестола Ф., Шкода Р., Чуканов Н.В., Агаханов А.А., Белаковский Д.И., Lanza A., Holá M.

Виттинкиит Vittinkiite. IMA 2017-082a. $\text{MnMn}_3\text{MnSi}_5\text{O}_{15}$. Железный рудник Виттинки, Илистаро, регион Остроботни, Финляндия. Минерал из группы родонита, полиморф пироксмангита. Триклинный, пр. гр. $P\bar{1}$, $a = 6.6980(3) \text{ \AA}$, $b = 7.6203(3) \text{ \AA}$, $c = 11.8473(5) \text{ \AA}$, $\alpha = 105.663(3)^\circ$, $\beta = 92.400(3)^\circ$, $\gamma = 94.309(3)^\circ$, $V = 579.38(3) \text{ \AA}^3$, $Z = 1$. Установлен в образце FMM_1_15061 Минмузея РАН (каталогизирован в 1926 году как родонит) и назван по месту отбора образца – руднику Виттинки в Финляндии (Shchipalkina et al., 2019). Минерал такого состава и структуры ранее был описан в образцах родонитовых месторождений Среднего Урала (Брусницын, 2000), а также обнаружен в гальках Мочалина Лога (Южный Урал), образец FMM_1_96761.

Образец FMM_1_15061 является голотипом виттинкиита, материал исследования также передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН (рег. № 5061/1).

Авторы: Щипалкина Н.В., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Зубкова Н.В., Белковский Д.И., Бритвин С.Н., Кошлякова Н.Н.

Арсенаты и сульфаты:

Полиарсит Polyarsite. IMA 2019-058. $\text{Na}_7\text{CaMgCu}_2(\text{AsO}_4)_4\text{F}_2\text{Cl}$. Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский дол, Камчатка, Россия. Моноклинный, пр. гр. $I2/m$, $a = 8.4323(4) \text{ \AA}$, $b = 10.0974(4) \text{ \AA}$, $c = 10.7099(6) \text{ \AA}$, $\beta = 90.822(4)^\circ$, $V = 911.79(8) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$.

Полиарсит является представителем нового структурного типа (рис. 8). Структура полиарсита содержит целый ряд химических элементов, расположенных в отдельных позициях кристаллической структуры: четыре катиона (Na, K, Mg и Cu^{2+}) и два дополнительных аниона (F- и Cl-). Атомы натрия занимают три кристаллографически неэквивалентные позиции, образуя сложный катионный мотив.

Название составлено из «поли» (от греческого πολύς – «многие», так как в этом минерале необычно много отдельных позиций как для катионов, так и в анионной части) и «арс», обозначающего принадлежность к арсенатам. Голотип передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96700 (рег. № 5417/1) (рис. 8).

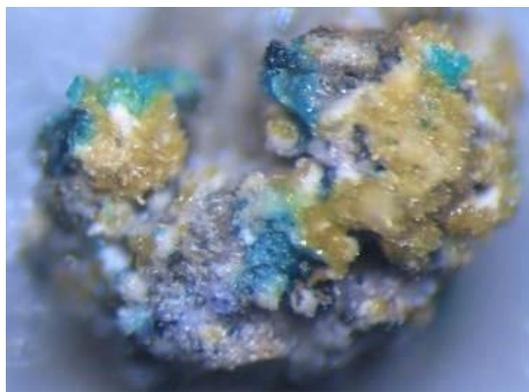


Рис. 8. Серо-синие кристаллические корки полиарсита в сростании с желтыми кристаллами эгирина, белыми и бесцветными зернами тридимита и санидина. Поле зрения 1.7 мм.

Авторы: Пеков И.В., Зубкова Н.В., Агаханов А.А., Белковский Д.И., Вигасина М.Ф., Бритвин С.Н., Турчкова А.П., Сидоров Е.Г., Пушаровский Д.Ю.

Юргенсонит Yurgensonite. IMA 2019-059. $\text{K}_2\text{SnTiO}_2(\text{AsO}_4)_2$. Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский дол, Камчатка, Россия. Изоструктурный аналог катиарсита $\text{KTiO}(\text{AsO}_4)$, открытого ранее в материале

из этой же фумаролы (Pekov et al., 2016). Ромбический, пр. гр. $Pna2_1$, $a = 13.2681(6) \text{ \AA}$, $b = 6.6209(3) \text{ \AA}$, $c = 10.8113(5) \text{ \AA}$, $V = 949.74(7) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. Минерал назван в честь российского минералога, геохимика и специалиста в исследованиях месторождений рудных полезных ископаемых профессора Георгия Александровича Юргенсона (1935 г. р.), внесшего значительный вклад в минералогию и геохимию оловянных месторождений Забайкалья (Южная Сибирь, Россия). Голотип юргенсонита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96702 (рег. № 5419/1) (рис. 9).



Рис. 9. Многочисленные пучки бесцветных игольчатых кристаллов юргенсонита, обросшие красновато-коричневым пансперитом и молочно-белым афиталитом, на матрице, состоящей из желто-белого санидина и желтовато-зеленого бадаловита. Поле зрения 10 мм.

Авторы: Пеков И.В., Зубкова Н.В., Агаханов А.А., Япскурт В.О., Белковский Д.И., Вигасина М.Ф., Бритвин С.Н., Турчкова А.П., Сидоров Е.Г., Пушаровский Д.Ю.

Евсеевит Evseevite. IMA 2019-064. $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{AsO}_4)\text{F}$. Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский дол, Камчатка, Россия. Изоструктурный аналог фосфата мораскоита $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{PO}_4)\text{F}$, описанного ранее в материале из метеорита Мораско (Karwowski et al., 2015). Ромбический, пр. гр. $Pbcn$, $a = 5.32235(12) \text{ \AA}$, $b = 14.1255(3) \text{ \AA}$, $c = 12.0047(3) \text{ \AA}$, $V = 902.53(4) \text{ \AA}^3$, $Z = 8$. Назван в честь сотрудника Минмузея РАН Александра Андреевича Евсеева (1949 г. р.), известного специалиста в истории минералогии и применении географической информации в минералогии. Голотип евсеевита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96701 (рег. № 5418/1) (рис. 10).

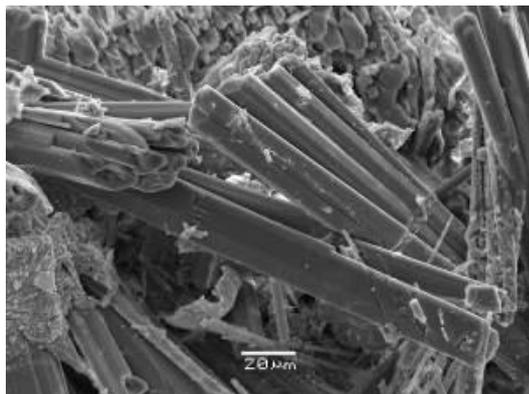


Рис. 10. Сrostки призматических кристаллов евсеевита на игольчатых кристаллах бадаловита. Изображение в режиме отраженных электронов.

Авторы: Пеков И.В., Зубкова Н.В., Агаханов А.А., Белковский Д.И., Вигасина М.Ф., Япаскурт В.О., Бритвин С.Н., Турчкова А.П., Сидоров Е.Г., Пушаровский Д.Ю.

Нишанбаевит Nishanbaevite. IMA 2019-012. $(K,Na)Al_2O(AsO_4)(SO_4)$. Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский дол, Камчатка, Россия. Ромбический, пр. гр. $Pbcn$, $a = 15.487(3) \text{ \AA}$, $b = 7.2582(16) \text{ \AA}$, $c = 6.6014(17) \text{ \AA}$, $V = 742.1(3) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. Минерал является представителем нового структурного типа. В основе структуры лежат гетерополиэдрические слои, образованные CuO_4Cl -тетрагональными пирамидами, AsO_4 -тетраэдрами и MgO_4F_2 -октаэдрами. Назван в честь российского минералога Турсуна Приназоровича Нишанбаева (1955–2017).

Фрагмент голотипа нишанбаевита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96592 (рег. № 5379/1) (рис. 11).

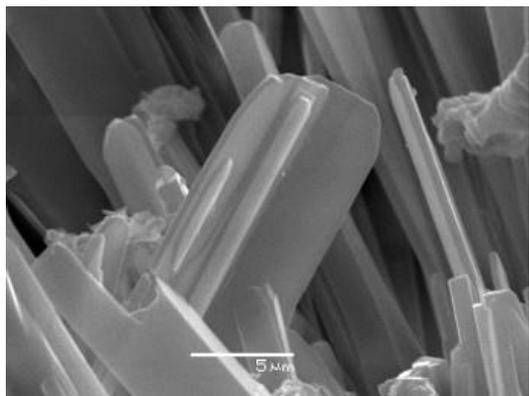


Рис. 11. Уплотненные кристаллы нишанбаевита. Изображение в режиме отраженных электронов.

Авторы: Пеков И.В., Зубкова Н.В., Япаскурт В.О., Белковский Д.И., Бритвин С.Н., Агаханов А.А., Турчкова А.П., Сидоров Е.Г., Пушаровский Д.Ю.

Ферроефремовит Ferroefremovite. IMA 2019-008. $(NH_4)_2Fe^{2+}_2(SO_4)_3$. Фумарола Вокса Grande, вулкан Solfatara di Pozzuoli, Италия. Относится к группе лангбейнита, железистый аналог ефремовита $(NH_4)_2Mg_2(SO_4)_3$. Кубический, пр. гр. $P2_13$, $a = 10.0484(9) \text{ \AA}$, $V = 1014.59(16) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. Минерал назван по аналогии с ранее открытым в горелых угольных отвалах ефремовитом (Щербакова, Баженова, 1989), получившим название в честь Ивана Антоновича Ефремова (1907–1972), советского палеонтолога и писателя-фантаста. В 1935–1959 годах он работал в Палеонтологическом институте, находившемся в одном здании с Минмузеем РАН. Котип ферроефремовита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96589 (рег. № 5368/1) (рис. 12).



Рис. 12. Мелкие бесцветные кубические кристаллы ферроефремовита с белым мелкозернистым хазинигитом-(Al). Поле зрения 1.8 мм.

Авторы: Касаткин А.В., Plášil J., Шкода Р., Campostrini I., Чуканов Н.В., Агаханов А.А., Карпенко В.Ю., Белковский Д.И.

Натроафтиталит Natroapthitalite IMA 2018-091. $KNa_3(SO_4)_2$. Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский дол, Камчатка, Россия. Тригональный, пр. гр. $Pm1$, $a = 5.6014(3) \text{ \AA}$, $c = 7.1507(5) \text{ \AA}$, $V = 194.30(2) \text{ \AA}^3$, $Z = 1$. Натроафтиталит изоструктурен с афтиталитом (Shchipalkina et al., 2020) и назван по составу, из-за преобладания Na над K, в отличие от афтиталита $(K_3Na)(SO_4)_2$. Минерал был утвержден IMA CNMNC еще в 2018 году, но был пропущен в сводном отчете (Плечов и др., 2019), поэтому мы приводим его краткое описание здесь, чтобы восполнить этот пробел. Фрагмент голотипа натроафтиталита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96277 (рег. № 5254/1) (рис. 13).

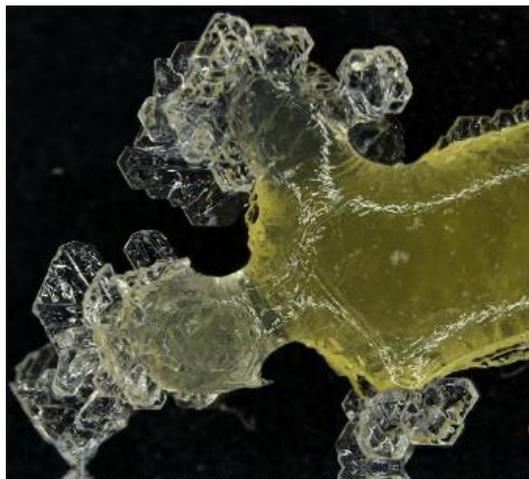


Рис. 13. Агрегаты хорошо образованных бесцветных прозрачных шестиугольных табличатых кристаллов натроафтигалита, нарастающие на желтые каплевидные кристаллы натроафтигалита первой генерации. Поле зрения 15 мм.

Авторы: Щипалкина Н.В., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Зубкова Н.В., Белаковский Д.И., Кошлякова Н.Н., Бритвин С.Н., Сидоров Е.Г., Возчикова С.А.

Минералы других классов:

Малетойваямит Maletoyvayamite. IMA 2019-021. $\text{Au}_3\text{Se}_4\text{Te}_6$. Золоторудное месторождение Малетойваям, Корякия, Камчатский край, Россия. Триклинный, пр. гр. $P1$, $a = 8.901(1) \text{ \AA}$, $b = 9.045(1) \text{ \AA}$, $c = 9.265(4) \text{ \AA}$, $\alpha = 97.66(3)^\circ$, $\beta = 106.70(2)^\circ$, $\gamma = 101.40(1)^\circ$, $V = 685.86 \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Имеет хорошую спайность по $\{010\}$ и $\{001\}$. Формирует отдельные зерна от 10 до 50 мкм в диаметре, а также встречен в сростаниях с самородным золотом, калаверитом, фазами AuTe и Au_2TeSe , самородным теллуrom, теннантитом, тетраэдритом, голдфилдитом, ватанабитом и вторичным тришугиитом (Tolstykh et al., 2020). Название дано по месту находки. Голотип находится в музее Института геологии и минералогии СО РАН, номер в каталоге V-9/1.

Авторы: Толстых Н.Д., Тухи М., Вымазалова А., Plášil J., Laufek F., Касаткин А.В., Нестола Ф., Боброва О.В.

Оксивисмутомикролит Oxubismutomicrolite. IMA 2019-047. $(\text{Bi}_{1.33}\square_{0.67})_{22}\text{Ta}_2\text{O}_6\text{O}$. Пегматитовая жила Солнечная, Малханское пегматитовое поле, Красночуйский район, Забайкальский край, Россия. Кубический, пр. гр. $Fd3m$, $a = 10.475(1) \text{ \AA}$, $V = 1149.38 \text{ \AA}^3$, $Z = 8$. Образует октаэдрические кристаллы черного цвета размером до 1 мм и изометричные зерна до 2 мм в альбит-лепидолит-эльбаитовой породе вместе с обогащенным висмутом фторнатромикролитом, висмутотанталитом и стибитотанталитом. Назван согласно принятой номенклатуре в надгруппе пироклора (Atencio et al., 2010). Го-

лотип оксивисмутомикролита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96699 (рег. № 5409/1) (рис. 14).



Рис. 14. Черные зерна оксивисмутомикролита в альбите рядом с эльбаитом (Kasatkin et al., 2020a).

Авторы: Касаткин А.В., Бритвин С.Н., Перегужко И.С., Чуканов Н.В., Шкода Р., Агаханов А.А.

Чийокоит Chiyokoite. IMA 2019-054. $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{CO}_3)[\text{B}(\text{OH})_4]\text{O}(\text{OH})_5\text{O}(\text{O}_2\text{O})$. Найден в шахте Fuка, Bicchu-cho, Takahashi, префектура Окаяма, Япония. Минерал из низкотемпературных бороносных скарнов, принадлежит к группе эттрингита. Гексагональный, пр. гр. $P6_3$, $a = 11.0119(5) \text{ \AA}$, $c = 10.5252(13) \text{ \AA}$, $V = 1105.31(9) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Назван в честь японского профессора Чийоко Хенми (1949–2018), внесшей значительный вклад в изучение минералогии Японии. Котип чийокоита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96818 (рег. № 5412/1) (рис. 15). Ранее, в 2007 году, под номером FMM_1_92266 в систематическую коллекцию был записан бурятит с этого же месторождения. Результаты изучения бурятита показали его идентичность чийокоиту.

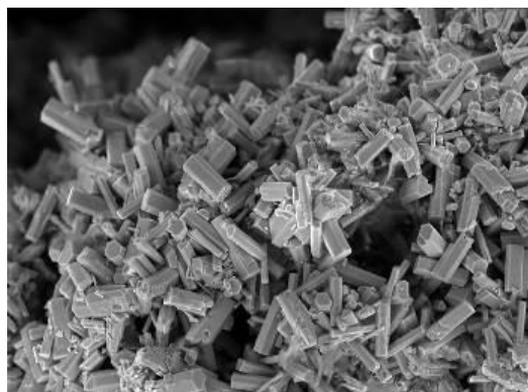


Рис. 15. Агрегаты кристаллов чийокоита. Изображение в режиме отраженных электронов. Поле зрения 0,4 мм.

Авторы: Лыкова И.С., Чуканов Н.В., Пеков И.В., Япаскурт В.О., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Белаковский Д.И., Варламов Д.А., Бритвин С.Н., Scheidl K.S.

Гмалимит Gmalimite. IMA 2019-007. $K_6Fe^{2+}_{23}Cu^{+2}S_{27}$. Река Nalamish, формация Хатрурим, пустыня Негев близ Арада, Израиль. Относится к группе джерфшерита и является К-аналогом зоарита $(Ba,K)_6(Fe,Cu,Ni)_{25}S_{27}$. Кубический, пр. гр. $Pm\bar{3}m$, $a = 10.34863(8) \text{ \AA}$, $V = 1108.28(3) \text{ \AA}^3$, $Z = 1$. Название дано по притоку реки Халамиш, пустыня Негев, Израиль.

Голотип гмалимита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96588 (рег. № 5297/1).

Авторы: Галускина И.О., Krüger V., Галускин Е.В., Krüger H., Vapnik Y., Banasik K., Мурашко М.Н., Агаханов А.А., Pauluhn A.

Дрицит Dritsite IMA 2019-017. $Li_2Al_4(OH)_{12}Cl_2 \cdot 3H_2O$. Найден в керне скважины № 2001, Романовский участок, Верхнекамское месторождение калийных солей, Пермский край, Россия. Минерал надгруппы гидроталькита с бруситоподобной структурой. Гексагональный, пр. гр. $R\bar{3}m$, $a = 5.0960(3) \text{ \AA}$, $c = 15.3578(13) \text{ \AA}$, $V = 345.4(5) \text{ \AA}^3$, $Z = 1$. Назван в честь советского кристаллографа и минералога Виктора Анатольевича Дрица (1932 г. р.) (Zhitova et al., 2019). Фрагмент голотипа дрицита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_96593 (рег. № 5380/1).

Авторы: Житова Е.С., Пеков И.В., Чайковский И.И., Чиркова Е.П., Япаскурт В.О., Белаковский Д.И., Чуканов Н.В., Зубкова Н.В., Бритвин С.Н., Бочаров В.Н.

ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В 2019 году сотрудники Музея проводили полевые и лабораторные исследования различных минералогических объектов Камчатки (Тобелко и др., 2019; Pekov et al., 2020; Shchিপalkina et al., 2020a), Архангельской обл. (Криулина и др., 2019), Предуралья (Zhitova et al., 2019), Урала (Kasatkin et al., 2020), Кавказа (Герасимов и др., 2020; Стифеева и др., 2019), Средней Азии (Паутов и др., 2020; Мираков и др., 2020; Карпенко и др., 2020) и других регионов.

Новые данные по минералогии фумарол вулкана Толбачик (Камчатка, Россия)

Фумарольные поля вулкана Толбачик на Камчатке – минералогический объект мирового значения. Они сформировались в результате Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. и активны по сегодняшний день. Впервые 30

лет изучения здесь было открыто 30 новых минералов. Новая волна исследований, начавшаяся в 2009 году при активном участии сотрудников Музея, привела к описанию 100 новых минералов, что вывело этот объект в тройку лидеров (наряду с Хибинским и Ловозерским массивами на Кольском полуострове) по количеству впервые описанных минералов (Pekov et al., 2020). Только в 2019 году из фумарольных образований Толбачика изучены и утверждены IMA CNMNC пять новых минеральных видов: полиарсит, юргенсонит, евсеевит, нишанбаевит и натроафтиталит (описаны выше).

В минерало-геохимическом и генетическом аспектах этот объект уникален в первую очередь по масштабам концентрации в наземных эксгаляционных системах малораспространенных и редких элементов (Cu, Zn, Pb, As, V, Sn, Se, Au, Cs, Tl и др.), а также по многообразию и необычности ассоциаций химических элементов. По состоянию на 2018 год в фумаролах Толбачика было зафиксировано около 350 минералов (Pekov et al., 2020). Своеобразие минерализации толбачинских фумаролов обусловлено уникальным для природных объектов сочетанием физико-химических условий и механизмов ее формирования: это высокие температуры (до 700–800 °С), атмосферное давление, очень высокая фугитивность кислорода (в результате смешения вулканического газа с атмосферным воздухом на стадии, предшествующей минералообразованию), газовый транспорт большинства компонентов, прямое осаждение многих высокотемпературных минералов (таких здесь известно 146) из вулканических газов, обладающих специфической геохимией, включая сильную обогащенность щелочными и халькофильными («рудными») элементами, широкое проявление газового метасоматоза (взаимодействие горячего газа с породами, слагающими стенки фумарольных камер), развитие процессов «горячего гипергенеза» (минералообразование в верхних частях фумарольных систем при температурах 50–150 °С в результате сложных взаимодействий между вулканическим газом, атмосферной влагой и ранее образованными минералами). Фумарольные поля Толбачика – самый яркий в мире пример наземных эксгаляционных минералообразующих систем окислительного типа. По минеральному и геохимическому разнообразию они намного превосходят сходные объекты не только в Курило-Камчатском регионе, но и на Везувии (Италия), Изалько (Сальвадор), вулканах Японии, Индонезии, Исландии и др. Нет сомнения, что именно Толбачик следует сегодня рассматривать как эталонный для данного геохимико-минералогического и генетического типов объект. В музейно-минералогическом аспекте фумарольные поля Толбачика также являются уникальным объектом. Это заключается не только в широчайшем разнообразии минералов, включая большое число редких, подчас эндемичных видов, которые особенно интересны с точки

зрения включения в музейные коллекции классического систематического направления, но и в том, что здесь, в отличие от фумарол большинства других вулканов, многие экзотические минералы образуют крупные обособления, известны в эффектных образцах, которые могут украсить экспозицию любого музея.

Новые данные по минералогии фумарольных возгонов подземных пожаров Фан-Ягнобского угольного месторождения (Центральный Таджикистан)

В рамках изучения минерализации возгонов на угольном пожаре Фан-Ягнобского месторождения каменного угля (~100 км к северу от г. Душанбе), являющегося одним из крупнейших в Центральной Азии месторождений коксующихся углей, установлен ряд редких минералов, а также продолжено доизучение ранее выявленных минералов. Месторождение приурочено к Фан-Ягнобской синклинали, вытянутой на 24 км в северо-западном направлении, в сложении которой принимают участие породы триасового возраста, угленосные толщи юрского возраста и перекрывающие их осадочные отложения мелового, палеогенового и неогенового возрастов (Ермаков, 1935; Охунов и др., 2017). Угленосные породы Фан-Ягнобского месторождения характеризуются повышенными концентрациями V, Sn, Ag, W, Cu, Mo, Pb, Zn, Cr, Cd (Охунов и др., 2017). Из многочисленных очагов природных угольных пожаров в пределах этого месторождения наиболее изучены в минералогическом отношении выходы газовых струй на правом борту р. Ягноб близ бывшего кишлака Рават, в верховьях урочища Кухи-Малик, с температурой от 40 до 590 °С (Новиков, Сапрычев, 1986). Сотрудники Минмузея РАН на протяжении ряда лет занимаются систематическим изучением минералов, формирующихся в возгонах Фан-Ягнобского месторождения (Белаковский и др., 1988; Белаковский, Москалев, 1988; Nasdala, Pekov, 1993; Мираков и др., 2017; Pautov et al., 2020). В 2019 году впервые для Фан-Ягнобского месторождения были описаны самородный теллура, пауфлерит, бонацит.

Самородный теллура

Самородный теллура обычно ассоциирует с золотом в гидротермальных месторождениях. Также он описан в фумаролах вулкана Толбачик (Камчатка, Россия) (Главатских, Трубкин, 2003), острова Вулкано (Италия) (Fulignati, Sbrana, 1998), вулкана Усу (Япония) (Africano, Bernard, 2000). Среди минералов природных угольных пожаров он встречен впервые.

Он встречается в виде призматических кристаллов (около 100 мкм в длину) и их сростков (рис. 16), наиболее развиты формы $m\{10\bar{1}0\}$, $\bar{e}\{01\bar{1}2\}$, $r\{10\bar{1}1\}$, реже $c\{0001\}$.

Кристаллы теллура зональны, центральная часть со-

держит до 9 мас.% Se. В ассоциации с ним находятся сульфаты Fe и K, Tl и K, англезит. Определены физические свойства, получена рентгеновская порошковая дифракция (Паутов и др., 2019). Одним из объяснений возникновения зональных по содержанию Se кристаллов является возможное изменение локальной термической обстановки на участке роста кристаллов теллура, что повлекло последующий дальнейший рост обедненного селеном теллура вплоть до чистого теллура. Формирование самородного теллура происходило при десублимации из газовой фазы.

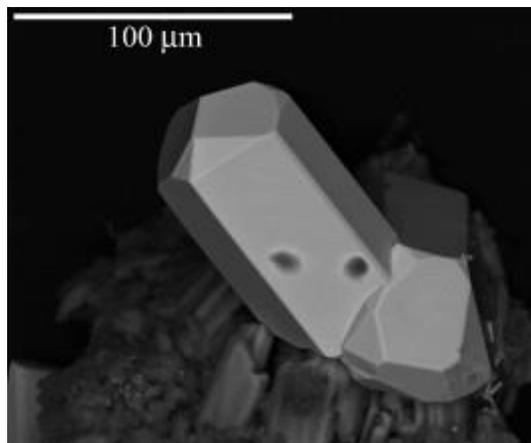


Рис. 16. Сросток призматических кристаллов теллура. Изображение в режиме отраженных электронов.

Пауфлерит $\beta\text{-VO}(\text{SO}_4)$

В сублиматах высокотемпературной окислительной псевдофумаролы на природном подземном угольном пожаре в урочище Кухи-Малик диагностирован и изучен весьма редкий ванадиевый минерал пауфлерит $\beta\text{-VO}(\text{SO}_4)$ (Мираков и др., 2019). До этой находки, кроме первого описания минерала в вулканических возгонах на 1-м шлаковом конусе Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка, Россия) (Krivovichev et al., 2007), имеется лишь два упоминания о находках пауфлерита: в карбонатитах Montviel (Канада) и сублиматах вулкана Colima, Мексика (Nadeau et al., 2015; Ostrooumov, Taran, 2015). Пауфлерит в возгонах пожара на Кухи-Малик представлен хорошо образованными прозрачными кристаллами зеленого цвета размерами 40–100 мкм (рис. 17), что позволило определить набор его типичных кристаллографических форм и оптические свойства.

Проявлены следующие кристаллографические формы: $b\{010\}$, $t\{101\}$ (наиболее развита), $e\{110\}$, $p\{111\}$, $\delta\{212\}$. Минерал оптически двусный, $2V$ близок к 90° . Дисперсия оптических осей очень слабая, $v > r$. Плоскость оптических осей перпендикулярна удлинению кристаллов; $n_p = 1.733(2)$, $n_m = 1.778(3)$, $n_g(\text{расч.}) = 1.823(4)$. Плеохроизм: по Ng – зеленая

окраска, по Nm и Np – светло-зеленая. Схема абсорбции $Ng > Nm > Np$. Состав (ср. по 3 ан., электронно-зондовые данные, мас.%): VO_2 49.87, SO_3 50.01, сумма 99.88. Эмпирическая формула: $V_{0.97}O(S_{1.02}O_4)$. Параметры ромбической элементарной ячейки (Å): $a = 7.392(3)$, $b = 6.272(2)$, $c = 7.064(3)$. По присутствию минеральных фаз V, Cd, Mo, Tl, Bi, Sn, In, Sb, Se, Te, As возгоны угольного пожара на Фан-Ягнобском месторождении близки к возгонам вулканических фумарол Камчатки, Курил, Италии, что связано с общностью механизмов извлечения газами этих элементов из вмещающих пород, их переноса и отложения в зонах разгрузки газовых струй.

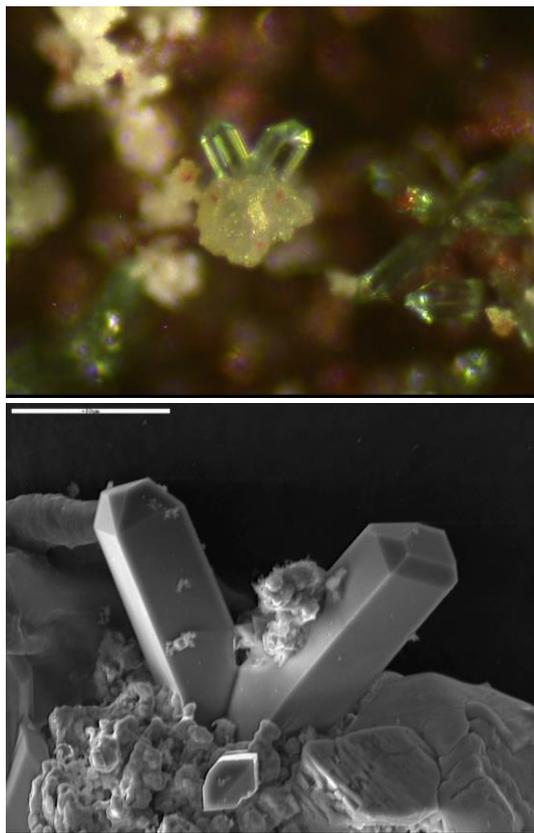


Рис. 17. Сrostок кристаллов пауффлерита. Вверху изображение под бинокулярным микроскопом, внизу в режиме вторичных электронов.

Бонанциит и реальгар

Бонанциит – редкий природный аналог β - As_4S_4 , впервые описанный в материале из рудника Аласан (Чили) и из месторождения Хайдаркан (Кыргызстан) (Bindi et al., 2015). Сотрудники Минмузея РАН совместно с сотрудниками НАН Республики Таджикистан обнаружили его в возгонах, богатых мышьяковыми соединениями, в урочище Кухи-Малик.

Минерал образует перьевидные часто скелет-

ные кристаллы на щетках призматических кристаллов реальгара, который также нередко образует скелетные кристаллы (рис. 18). Для бонанциита характерна небольшая, но постоянная примесь Se (до 0.65 мас.%), эмпирическая формула $As_4(S_{4.03}Se_{0.03})_{4.06}$ (9 электронно-зондовых анализов). Диагностика бонанциита и реальгара подтверждена порошковым рентгеновским методом. Тесную ассоциацию двух диморфов As_4S_4 можно объяснить, вероятнее всего, быстрой сменой локальной обстановки на выходе газовых струй.

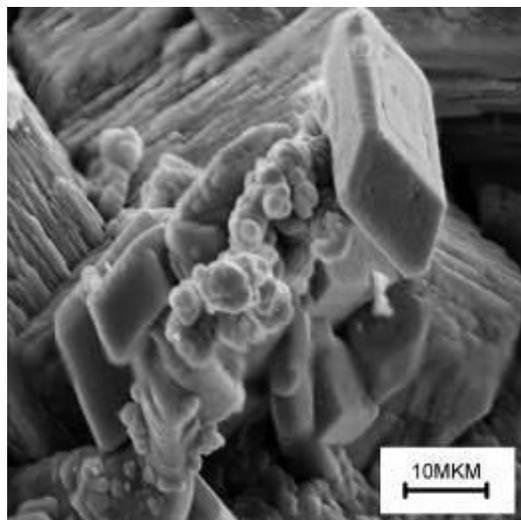


Рис. 18. Ромбоэдрические кристаллы бонанциита, нарастающие на оксидомид аммония и мышьяка. Изображение во вторичных электронах.

Потенциально новый минерал $(NH_4)As_2O_6(Br, Cl, F)$

Оксидомид аммония и мышьяка встречен среди низко-среднетемпературных возгонов, богатых сульфидами мышьяка (реальгар, бонанциит). Это Br-аналог недавно открытого в Чили маурицидинита (Kampf et al., 2020). Минерал встречен в виде желтоватых призматических и таблитчатых кристаллов (рис. 19), причем последние часто образуют сферолитовые сростки. Состав минерала (микронд, EDS):

$(NH_4)_{0.97}As_{3.77}Sb_{0.04}S_{0.19}O_{5.55}(Br_{0.85}Cl_{0.10}F_{0.09})$, параметры гексагональной элементарной ячейки (расчет по порошкограмме) $a = 5.257(1)$, $c = 9.14(1)$ Å, $V = 218.7(1)$ Å³. Измеренная плотность (3.59 г/см³) близка к расчетной (3.65 г/см³). Спайность у минерала совершенная по (001). Микротвердость, измеренная на плоскости спайности, составляет ~ 40 кгс/мм² (1.5 по Моосу). Структурный тип аналогичен таковому для синтетических соединений типа $(NH_4)As_4O_6X$, где X = (Br, Cl, I).

Кроме реальгара и бонанциита, в ассоциации находятся сера, нашатырь.

К моменту написания этой статьи минерал уже

утвержден MMA CNMNC как ермаковит. Его подробное описание будет приведено авторами в отдельной публикации, а также войдет в следующий обзор научных результатов Минмузея РАН. Фрагмент голотипа ермаковита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером FMM_1_97019 (per. № 5525/1).

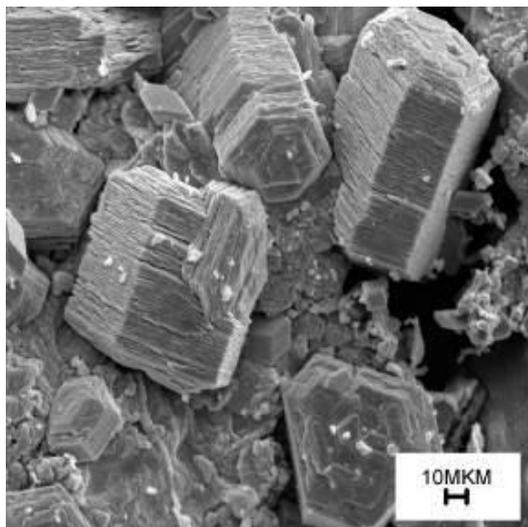


Рис. 19. Кристаллы $\text{NH}_4\text{-As-оксибромада}$. Изображение в режиме вторичных электронов.

Нашатырь бромсодержащий

В нашатыре, собранном сотрудником Минмузея РАН Ю.Д. Гриценко и Я.Л. Ланцевым совместно с сотрудниками НАН Республики Таджикистан в апреле 2019 г., обнаружены повышенные содержания брома (0.2 вес.% Br, метод РФА, аналитик Л.А. Паутов). Бромсодержащий нашатырь представляет собой щетки необычного коричневатого-желтого цвета (рис. 20) и происходит из относительно низкотемпературной зоны разгрузки.



Рис. 20. Щетки кристаллов бромсодержащего нашатыря из взонов Фан-Ягнобского угольного месторождения. Обр. FMM_1_96933 из систематической коллекции Минмузея РАН.

Несколько образцов бромсодержащего нашатыря переданы в Минмузей РАН и записаны в систематическую коллекцию с номерами FMM_1_96930–FMM_1_96933.

Новые данные по минералогии Архангельской и Якутской алмазоносных провинций

Сотрудниками Минмузея РАН продолжено изучение алмазов Архангельской и Якутской алмазоносных провинций. Валовые химические анализы пород из кимберлитовых трубок Якутии кластерным анализом разделяются на три группы, в которых закономерно различаются состав и содержание оксидных минералов (Гаранин и др., 2009). Содержание TiO_2 (мас.%) в кимберлитах является критерием, по которому они делятся на низкотитанистые (< 1.0), умереннотитанистые (1.0–2.5) и высокотитанистые (> 2.5). Эти три группы различаются также потенциальной алмазоносностью (Криулина и др., 2013).

Низкотитанистые кимберлиты имеют наибольший алмазный потенциал. Они обычно высокомагнезиальны (до 35 мас.% MgO), содержат преимущественно ксенолиты перидотитов. В тяжелой фракции практически отсутствует ильменит и преобладают пироп и хромит.

Умереннотитанистые кимберлиты обладают также умеренной магнезиальностью (до 25–27 мас.% MgO). Среди ксенолитов широко распространены ильменитовые гипербазиты. В тяжелой фракции преобладают ильменит и хромшпинелид, много граната (пироп-альмандин) и пикроильменита, а также перовскит и рутил. В матрице наименее алмазоносных кимберлитов этой группы отмечается высокое содержание перовскита (от 20–30 до 80–85%), а количество ильменита (5–10 до 30%) и хромшпинелида (от 10–15 до 50–70%) заметно ниже.

Высокотитанистые кимберлиты имеют очень низкую алмазоносность. В матрице этих пород доминируют титаномagnetит и перовскит, в ксенолитах широко распространен пикроильменит.

Гипотеза о связи алмазоносности с особенностями химического и минерального состава кимберлитов проверена на объектах Архангельской алмазоносной провинции (ААП).

Месторождение им. М.В. Ломоносова (ААП) представлено низкотитанистыми кимберлитами. Алмазы характеризуются широким диапазоном концентраций азота ($50 < N_{\text{tot}} < 3000$ ат. ppm) с низкой степенью агрегации (в среднем $NB \leq 30\%$), что свидетельствует об относительно короткой посткристаллизационной истории. Алмазы с волокнистым и зонально-секториальным внутренним строением распространены в месторождении им. М.В. Ломоносова и отличаются максимально высокими концентрациями водорода. Эти особенности строения проявляются в вариациях интенсивности желтой и серой окраски, зонально-секториального строения с нормальным и тангенциальным механизмами роста (Криулина и др., 2013).

Кимберлиты трубки им. В. Гриба (ААП) относятся к умереннотитанистому типу. Алмазы преимущественно представлены октаэдрами и образовались преимущественно при послонном росте, который происходит при более высокой температуре. Для них типичны пониженные концентрации азота ($N_{tot} < 500$ ат. ppm), бесцветные или с незначительным желтым нацветом октаэдрические кристаллы. Алмазы претерпели длительный посткристаллизационный отжиг: большая доля азота находится в агрегированной В-форме ($50 < NB < 95\%$).

Кимберлиты Кепинского поля (ААП) имеют низкую алмазонность и высокое содержание пикроильменита в тяжелой фракции, но соответствуют умереннотитанистому типу. Высокотитанистых кимберлитов в ААП пока не обнаружено.

При оценке запасов важно учитывать не только количество (млн карат), содержание (карат на тонну руды), но и качество алмазного сырья, что позволит более точно определять стоимостные характеристики добываемого сырья.

Содержание азота в алмазах

Для кимберлитовых месторождений алмаза России выделены семь групп алмаза по содержанию азота и степени его агрегации в В-центрах (Криулина и др., 2013), которые зависят от температуры формирования и длительности посткристаллизационной истории (рис. 21).

При этом концентрация азота в алмазах перидотитового парагенезиса обычно не превышает 500 ат. ppm с медианой 100–200 ат. ppm. Алмазы эклогитового парагенезиса характеризуются более размытым бимодальным распределением азота (от 0 до 1500 ат. ppm) с максимумами 0–100 ат. ppm и 300–600 ат. ppm.

Алмазы I группы содержат менее 100 ppm азота и условно названы «безазотными». В низкотитанистых кимберлитах безазотные алмазы редки, а в умереннотитанистых кимберлитах (трубка Мир или трубка им. Гриба) их доля может составлять до 8%. Степень агрегации азота умеренная ($20 \leq \%NB \leq 55$, $P \leq 4 \text{ см}^{-1}$ и $N \leq 1 \text{ см}^{-1}$). Посткристаллизационный отжиг данной группы кристаллов происходил в диапазоне 1150–1200 °C (рис. 21). Преимущественно это бесцветные или со слабым оттенком октаэдрические кристаллы (рис. 22).

Кристаллы II и IV групп распространены как в низко-, так и умереннотитанистых кимберлитах. Для трубок Удачная, Комсомольская, им. Гриба главной является II группа алмаза (IV второстепенная), а для трубок Архангельская, Снегурочка, Ботубинская, Интернациональная, Мир основной является IV, а второстепенной II. Кристаллы алмаза II группы (низкоазотные) типичны для всех кимберлитов мира и объединяют октаэдрические и додекаэдрические кристаллы с высокими геммологическими характеристиками. Для них типичны низкие содержания азота ($N_{tot} < 500$ ат. ppm) широкий диапазон степени агрегации в В-центрах ($\%NB \sim 13\text{--}58$).

Значительно их содержание в трубке Архангельская; встречаются в трубках Снегурочка и Ботубинская (для которой, как и для всех трубок Якутии, характерно отсутствие или минимальное содержание водорода).

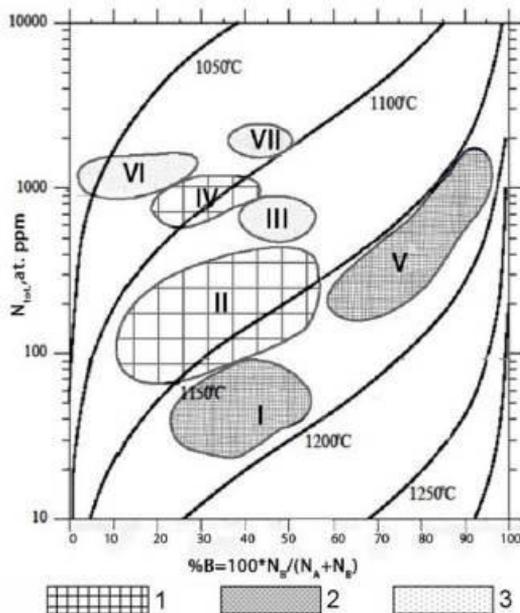


Рис. 21. Типы алмазов по содержанию азота и степени агрегации в В-форму (по Криулина и др., 2013). I – безазотные, II – низкоазотные, III – умеренноазотные, IV – среднеазотные низкоагрегированные, V – среднеазотные высокоагрегированные, VI – высокоазотные низкоагрегированные, VII – высокоазотные умеренноагрегированные. Штриховкой показаны группы алмаза: 1 – характерные для всех типов кимберлитов, 2 – типичные для умереннотитанистых кимберлитов, 3 – типичные для низкотитанистых кимберлитов.

Алмазы III группы (умеренноазотные алмазы) редки и установлены только среди бесцветных и с серым оттенком кристаллов комбинационного и додекаэдрического габитуса из трубок Архангельская и Снегурочка. Аналогичные индивиды отмечаются в трубках Кольцовская и Первомайская Золотницкого поля. В месторождениях Якутии такие алмазы не установлены.

Алмазы IV группы (среднеазотные низкоагрегированные) характеризуются повышенным содержанием азота: $400 < N_{tot} < 1500$ ат. ppm, $10 < \%NB < 40$ (в среднем 23–25%) и низкими содержаниями водорода ($N \sim 0.5 \text{ см}^{-1}$) и плейтелетс ($P \sim 3.5 \text{ см}^{-1}$). Эта группа алмазов доминирует в трубках, сложенных низкотитанистыми кимберлитами (Архангельская, Интернациональная, Ботубинская), и встречается в трубках умереннотитанистых кимберлитов (им. Гриба, Мир). Кристаллы характеризуются высокой степенью закалки, сохранением октаэдрического габитуса часто с полицентрическим характером роста и отсутствием следов травления (рис. 22).

Тангенциальный механизм роста, послыбно-зональное внутреннее строение и минимум водорода свидетельствуют о росте алмазов в спокойных условиях. К этой же группе отнесены алмазы со следами пластической деформации. Прозрачные и просвечивающие октаэдры и комбинационные формы кристаллов доминируют в трубке Ботуобинская, кубы и додекаэдровиды непрозрачные в трубке Архангельская.

Алмазы V группы (среднеазотная высокоагрегированная) встречаются только в многофазных трубках умереннонитратистых кимберлитов со сложной эволюцией (Удачная, Юбилейная, Комсомольская). Алмазы этой группы содержат от 200 до 1500 ат. ppm азота при высокой доле В-центров ($60 < \%N_B < 90$, в среднем 65%) и имеют повышенную концентрацию водорода. Преимущественно однородное внутреннее строение алмаза из трубок Удачная и Комсомольская (рис. 22) говорит о его росте в достаточно спокойных (равновесных) условиях, длительном высокотемпературном (1150–1200 °С) посткри-

сталлизационном отжиге, определившем трансформацию значительной доли азота в В-форму. Для алмазов этой группы отмечается большее распространение криволинейных форм, что косвенно свидетельствует о постепенном подъеме кимберлитовой магмы при формировании трубки.

Алмазы VI группы (высокоазотные низкоагрегированные) характерны для всех трубок Золотицкого поля и относятся к эклогитовому парагенезису. В них часто проявлены кубические и тетрагексаэдрические формы с нормальным и смешанным механизмами роста. Скорость роста таких кристаллов максимальна, что отражается в высокой концентрации азота (N_{tot} 800–1500 ат. ppm) и низкой степени сегрегации в В-центрах ($\%N_B$ от 0 до 30%). Эта группа является отличительной особенностью низкотитанистых кимберлитов Золотицкого поля и не встречается в других кимберлитовых трубках мира. Посткристаллизационный отжиг кристаллов данной группы был весьма кратковременный и при пониженных температурах, ~ 1050 °С.

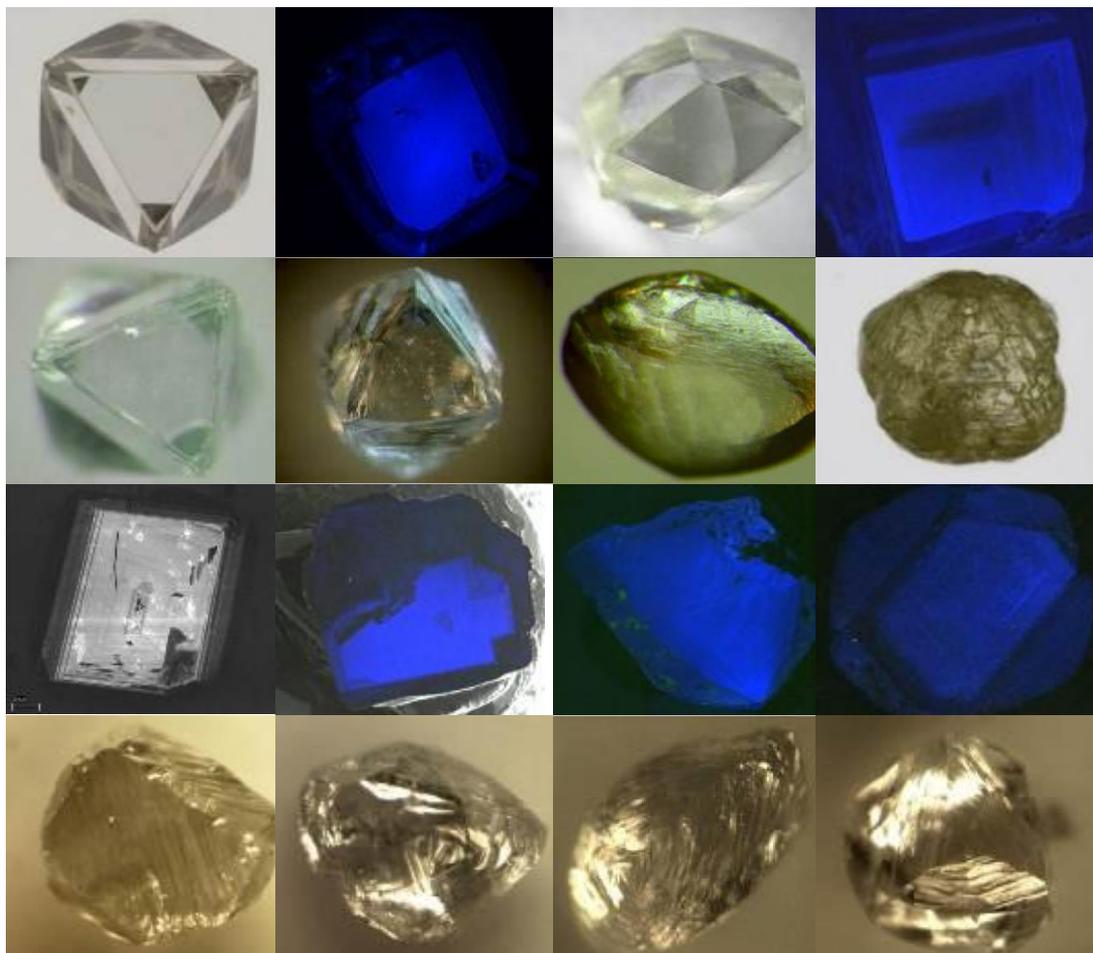


Рис. 22. Морфология и зональность алмаза IV–VII групп. Фотографии сгруппированы в горизонтальные ряды, в каждом из которых нумерация идет слева направо. Верхний ряд (кристаллы I группы): 1 и 2 – трубка Мир, 3 и 4 – трубка им. Гриба. Второго ряда (кристаллы IV группы): 1 – октаэдр (тр. им. Гриба); 2 – октаэдр с поверхностями додекаэдроида (тр. Архангельская); 3 – додекаэдровид со

следами пластической деформации и сложным внутренним строением (тр. им. Карпинского-1); 4 – кристалл сложной формы со сменой механизмов роста с тангенциального на нормальный. Третий ряд – катодоллюминесцентные изображения кристаллов, расположенных во втором ряду. Нижний ряд (кристаллы V группы): 1 – трубка Комсомольская (а), 2, 3 – трубка Юбилейная, 4 – трубка Удачная.

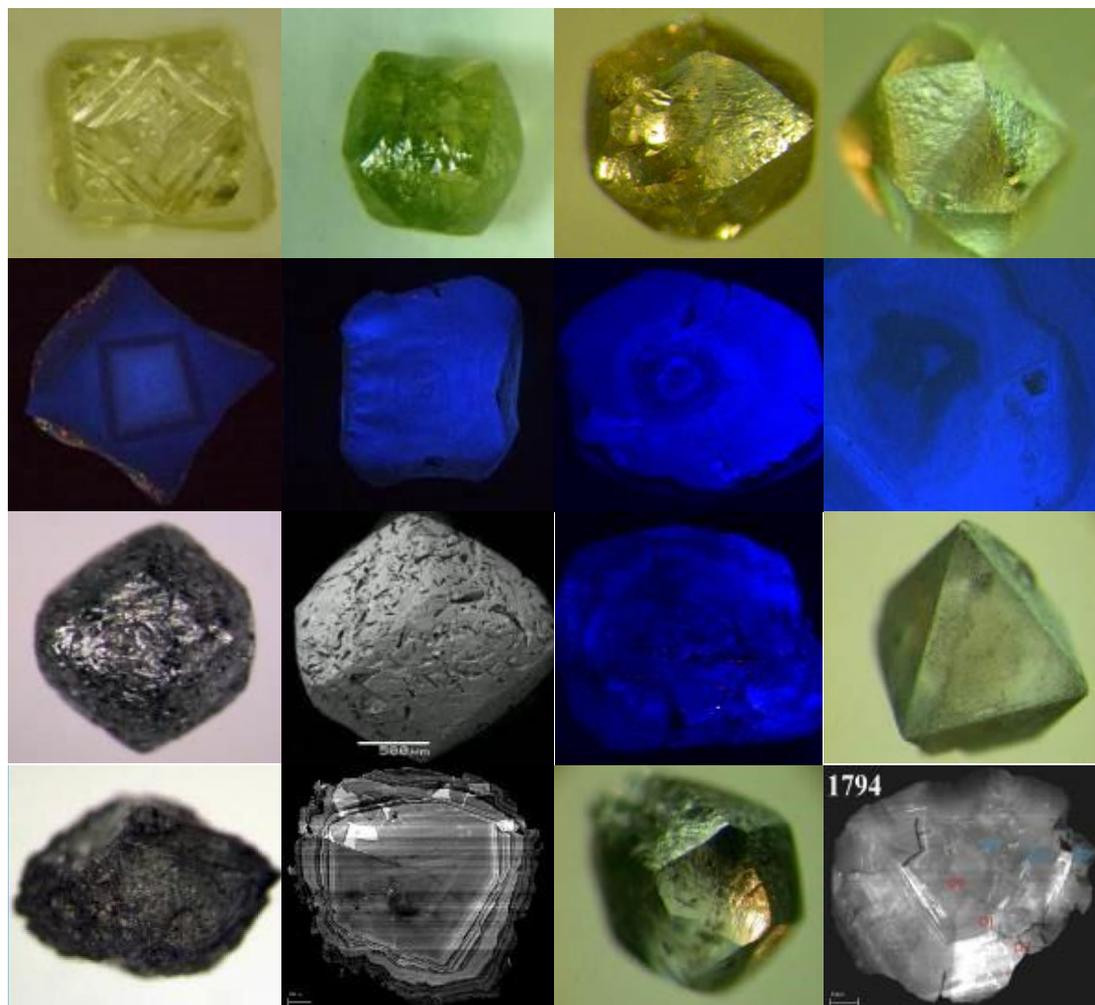


Рис. 22. Продолжение. Верхний ряд (кристаллы VI группы): 1 – куб с седловидными гранями с октаэдрическим зародышем, со сменой тангенциального механизма роста на нормальный (тр. Архангельская); 2 – кристалл комбинационной формы с гранями куба и тетрагексаэдроид (тр. Архангельская); 3 – додекаэдр с каплевидной скульптурой (им. Карпинского-1), 4 – тетрагексаэдр (им. Карпинского-1). Второй ряд – катодоллюминесцентные изображения кристаллов VI группы. Каждое изображение соответствует кристаллу из верхнего ряда. Третий ряд (кристаллы VII группы): ромбододекаэдр; ромбододекаэдр с каналами травления и фигурами травления; зональное строение кристалла; октаэдр с «графитизированной» поверхностью. Нижний ряд (кристаллы VII группы): кристалл с гранями октаэдра и псевдоромбододекаэдра с «графитизированной» поверхностью; зональный кристалл; додекаэдр с дефектной приповерхностной зоной и сложным зонально-секториальным строением.

В VII группу (высокоазотные умеренноагрегированные) отнесены специфические кристаллы додекаэдрического (реже октаэдрического) габитуса с серой окраской (рис. 22) из трубок Архангельская и Снегурочка. Они не имеют аналогов среди алмазов из других трубок. Большое количество включений, примесей и дефектов обусловлено структурой данных кристаллов: самые высокие содержания азота, водорода и плейтелетс ($N_{tot} > 1000 \text{ at. ppm}$, до 3000 at. ppm ; %Nв 25–65, P 12–32 см⁻¹, $0,6 < H < 22 \text{ см}^{-1}$).

С увеличением содержания и размера плейтелетс уменьшается содержание примеси водорода. Визуально эти алмазы можно отнести к V разновидности по классификации Ю.Л. Орлова, но при изучении внутреннего строения среди макроскопически однотипных индивидов выявлены зонально-секториальные и послойно-зональные кристаллы с различным изотопным составом углерода ($\delta^{13}\text{C}$ от -10 до -25%). Рост индивидов данной группы, возможно,

связан не только с максимальными пересыщениями в алмазообразующей среде, но и с динамическими процессами, сопровождающимися резким возрастанием РТ-параметров, способствовавших, с одной стороны, частичной графитизации поверхности кристаллов, с другой – возникновению планарных дефектов, микроблочности и сильной трещиноватости.

Новые данные по минералогии Восточного Памира, Алайского хребта (Таджикистан) и Туркестанского хребта (Кыргызстан)

Продолжались работы по Желисуйскому, Ходжаачканскому, Матчинскому массивам (Кыргызстан), Дарай-Пиёзскому щелочному массиву (Таджикистан). В результате этих работ обнаружены два цезиевых минерала (фторапофиллит-(Cs) и крейтерит) из ассоциации с ридмерджеритом.

Проведено изучение зональности бадахшаниита-(Y) $Y_2Mn_4Al(Si_2B_7BeO_{24})$, открытого ранее в пегматите Дорожный (Кукуртское пегматитовое поле) (Rautov et al., 2020a). Центральная зона кристалла оказалась немного обеднена REE, но обогащена Sc. Внешняя кайма содержит более высокие концентрации Mn и Fe наряду с более низкими концентрациями Y и REE, что отражается в яркости тона различных зон на изображении в отраженных электронах (рис. 23).

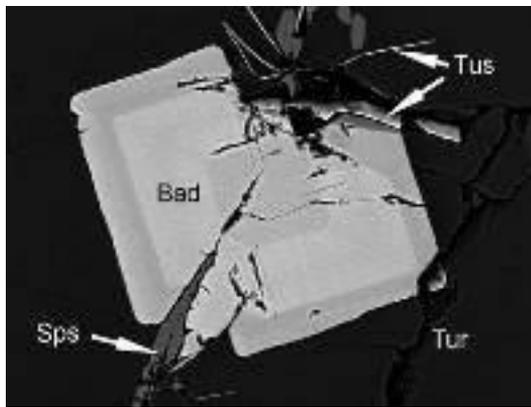


Рис. 23. Сечение зонального кристалла бадахшаниита-(Y) в режиме отраженных электронов. Bad – бадахшаниит-(Y), Tur – турмалин, Sps – спессартин, Tus – тусиюнит.

Более детально изучена минеральная ассоциация, в которой ранее был открыт акоповайт, новый литиевый минерал из группы гидроталькита. Акоповайт $Li_2Al_4(OH)_{12}(CO_3)(H_2O)_3$ в природных условиях формируется в участках выщелачивания более ранних минералов, возможно, железо-марганцевых фосфатов (рис. 24). Новообразованные фосфаты сохраняются в кайме этих участков.

На урановом проявлении Зор-Ярчи-Чак (правый берег р. Ак-Байтал-Южный, В. Памир, Таджикистан) в зоне окисления урансодержащих метасома-

титов в 2018 году были встречены плотные скрытокристаллические выделения желтоватого цвета, которые диагностированы как кокониноит $Fe_2Al_2(UO_2)_2(PO_4)_4(SO_4)(OH)_2 \cdot 20H_2O$.

Пластинчатые индивиды размером 5–10 мкм (рис. 25) имеют $n_{сред} = 1.589–1.590$ (на разрезах, близких перпендикулярно к оптической оси). Состав, вес.% (м.з., среднее по 24 анализам; H₂O – CNH-анализ, среднее по 2 анализам): Al₂O₃ 6.86 (5.44–7.70), Fe₂O₃ 10.99 (9.77–12.91), UO₃ 37.38, CaO 0.87, P₂O₅ 18.27, SO₃ 4.22, H₂Oобщ 22.1, сумма 102.17. Параметры ячейки, Å: $a = 12.45(1)$, $b = 12.87(1)$, $c = 22.75(1)$, $\beta = 105.66(4)$. Вариации Al и Fe в кокониноите, в том числе находка высокоалюминиевого кокониноита в Ц. Кызылкумах (Белова и др., 1993), позволяют предположить существование природного ряда минералов с крайними Al- и Fe-доминантными членами (Карпенко и др., 2020).

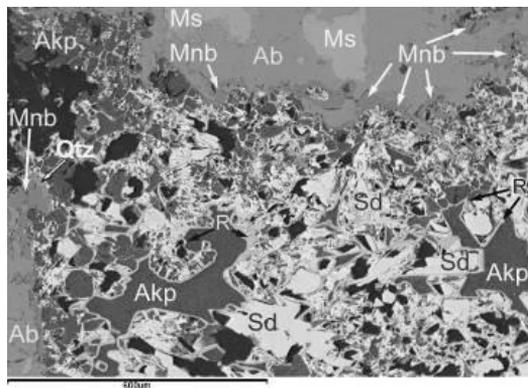


Рис. 24. Участок выщелачивания Fe-Mn-фосфатов (предположительно) в мусковит-альбитовом (Ms-Ab) агрегате, заполненный высокомарганцевым сидеритом (Sd) и акоповитом (Akp). Участки с акоповитом окружены по контуру каймой (rim, R) многофазного строения, сложной Fe-Mn-оксидами (гидроксидами), Fe-Al-фосфатом, монтебразитом. Сам участок окаймлен узкой зоной монтебразита (Mnbn); Qtz – кварц. Изображение в режиме BSE.

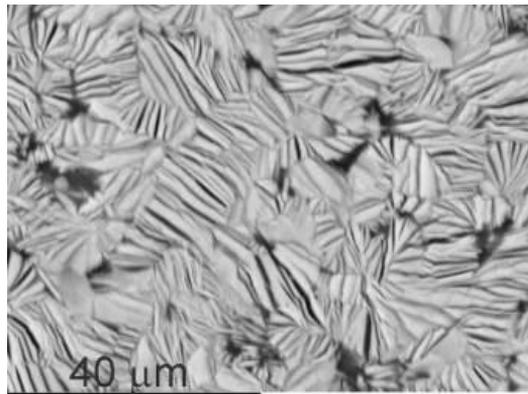


Рис. 25. Выделения кокониноита в полированном препарате. Изображение в режиме отраженных электронов.

Новые данные по редкоземельной минерализации месторождения Мочалин Лог, Южный Урал

Необычная редкоземельная минерализация возникла в результате сложных метасоматических процессов, связанных с пегматитами, локализованными среди гранито-гнейсов в экзоконтакте щелочной интрузии Потаниных гор Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса.

Первая работа, посвященная ей, была опубликована уже в 1861 году, в 1927–1930 годах здесь работал минералогический отряд под руководством В.А. Зильберминца, а в 1950-х – сотрудники Свердловского горного института (Короваев, 1861; Зильберминц, 1930; Свяжин, 1956). Редкоземельные минералы формируют полиминеральные нодулы и находятся в них в тонких сростаниях друг с другом. Современные аналитические возможности позволили гораздо детальнее изучить сложную минерализацию, что привело к открытию ряда новых минералов и существенному расширению общего списка минералов данного объекта. В 2019 году IMA CNMNC утверждены три новых минеральных вида: перклевейт-(La), радекшкодаит-(Ce), алекскузнецовит-(La), описанные выше.

Новые данные по другим объектам

Определен U–Pb возраст граната из скарнов Дашкесанского месторождения (Азербайджан) (Стифеева и др., 2019). Исследованный титаносодержащий гранатgrossуляр-андрадитового ряда относится к первичным породообразующим минералам скарнов и отражает время скарнообразования, тогда как рудные минералы, как правило, связаны с более поздними процессами. Этот гранат имеет следующие вариации минералов (мол.%): 60–86% андрадита, 10–36% grossуляра, 2–3% спессартина, 0.1–3.8% альмандина, 0.1–4.0% моримотоита, 0.1–3.4% шорломита-Al. Содержание U высокое (8–8,5 ppm). Среднее значение возраста ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$), рассчитанное для трех проанализированных микроаналитов граната, составляет 147 ± 3 млн лет (СКВО = 4.5) и совпадает с их конкордантной оценкой возраста (Стифеева и др., 2019).

Исследована зональность и получен абсолютный возраст для серии кристаллов циркона (размер около 100 мкм) из мигматитов Адысу (Кабардино-Балкария), которые характеризуют стадию регионального метаморфизма амфиболитовой фации в зоне Главного хребта Большого Кавказа. Практически все U–Pb изотопные датировки лежат на конкордии и демонстрируют широкий возрастной спектр 315–1040 млн лет, частично унаследованный от кластогенных зерен циркона исходных метапелитов. Возраст регенерационных кайм кристаллов циркона (315 ± 10 млн лет) отвечает процессам перекристаллизации и дорастания зерен циркона на стадии анатексиса и мигматизации и совпадает с возрастом постметаморфических гранитоидов Кавказа.

Проведены предварительные петрографические исследования коллекции жадеита Кавказского региона, который является перспективным жадеитонным из-за широкого развития гипербазитовых массивов. Недавно жадеитовые породы были обнаружены в серпентинитах Беденского массива, которые вскрыты в долине р. Б. Лаба на площади около 9 км². Желваки жадеита (до 20 см) встречаются в серпентинитовом меланже на южном обрамлении массива, в зоне контакта с девонскими метаморфитами Урупского комплекса Передового хребта. Цветовая гамма от серовато- и синевато-зеленого практически до глубокого зеленовато-синего.

ИЗУЧЕНИЕ ВАРИАЦИЙ СОСТАВА И ГЕНЕЗИСА ПОРОДОБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Надгруппа эпидота

В большой подборке образцов из различных магматических, метасоматических и метаморфических формаций Пелагонийского массива (Македония), Урала и Айфеля (Германия) были получены новые данные о закономерностях изоморфных замещений в минералах надгруппы эпидота (рис. 26, Варламов и др., 2019).

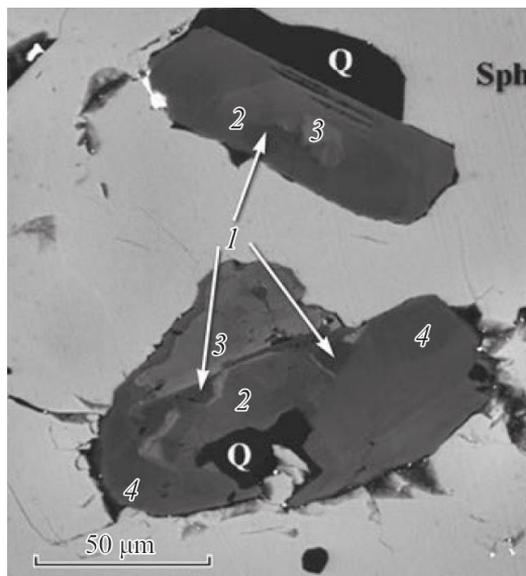


Рис. 26. Зональные включения минералов надгруппы эпидота вместе с кварцем (Q) в сфалерите (Sph): 1 – галлиевый аналог эпидота, 2 – высокогаллиевый алланит, 3 – низкогаллиевый алланит, 4 – эпидот (Варламов и др., 2019).

К минералам надгруппы эпидота (МНЭ) мы относим моноклаинные орто-диортоосиалкаты с общей формулой $A^1A^2M^1M^2M^3(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}^{10}$, где среди утвержденных минеральных видов позиции могут быть заняты:

$A^1 = \text{Ca}, \text{Mn}^{2+}$;

$A^2 = \text{Ca}, \text{REE}, \text{Sr}, \text{Pb}, \text{Th}$;

$M^1 = \text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{V}^{3+}, \text{Mn}^{3+}, \text{Cr}^{3+}$;

$M^2 = Al, Fe^{3+}$;
 $M^3 = Al, Fe^{3+}, V^{3+}, Mn^{3+}, Cr^{3+}, Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}$;
 $\emptyset^4 = O, F$;
 $\emptyset^{10} = O, OH$

Выявлены закономерности изменения состава и установлены корреляции между редкими изоморфными примесями.

Редкоземельные элементы и свинец имеют хорошо выраженную обратную корреляцию с кальцием, а цинк, медь и магний – положительную корреляцию с редкоземельными элементами. Было выявлено девять потенциально новых минеральных видов с видообразующими компонентами Cr, Ga, La, Ce, Nd и Pb, а также ряд разновидностей с необычно высоким содержанием Zn и Cu.

Галлиевый аналог эпидота был обнаружен в виде отдельных участков включений минералов надгруппы эпидота в сфалерите рудных прожилков Тыктотловского золото-сульфидного рудопроявления (г. Народная, Приполярный Урал) (Майорова и др., 2017). В этом минерале содержится до 17.2 мас.% Ga_2O_3 , что позволяет галлию практически полностью занимать октаэдрическую позицию M^3 . При этом участки с максимальным содержанием галлия являются высококальциевыми и практически не содержат редкоземельных элементов.

Рамановский спектр галлиевого аналога эпидота имеет хорошо выраженные колебания как в области связей M–O, так и в области валентных колебаний Si–O–Si. Колебание S–O–Si в галлиевом аналоге эпидота выражается полосой 1076 см^{-1} (рис. 27), что характерно для минералов этой группы, не содержащих редкоземельные элементы (Варламов и др., 2019). Изучение галлиевого аналога эпидота принципиально важно для понимания геохимии галлия, так как это на сегодняшний день его единственный силикат.

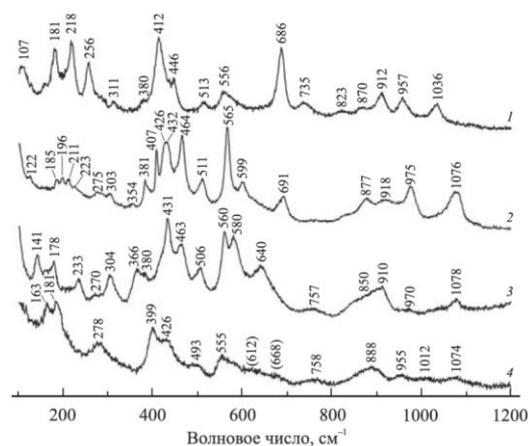


Рис. 27. Рамановский спектр галлиевого аналога эпидота (2) в сравнении со спектрами других минералов надгруппы эпидота: хром-доминантного минерала группы алланиита (1), пьёмонтита (3) и пьёмонтита-(Pb) (4) (Варламов и др., 2019).

Группа мелилита

Минералы изоморфных серий геленит–акерманит и акерманит–алюмоакерманит исследованы с помощью рентгеноспектрального анализа, инфракрасной и рамановской спектроскопии, рентгеновской дифракции (Ogorodova et al., 2018). Для исследований были использованы образцы из коллекции Минмузея РАН (FMM_1_90274, FMM_1_41299, FMM_1_51045, FMM_FN97, FMM_FN282, FMM_FN283, FMM_FN284, FMM_FN285). Проведено термохимическое изучение с помощью высокотемпературного микрокалориметра Тянь-Кальве с тепловым потоком. Энтальпии образования минералов группы мелилита из элементов впервые были найдены методом калориметрии в расплавленном растворе.

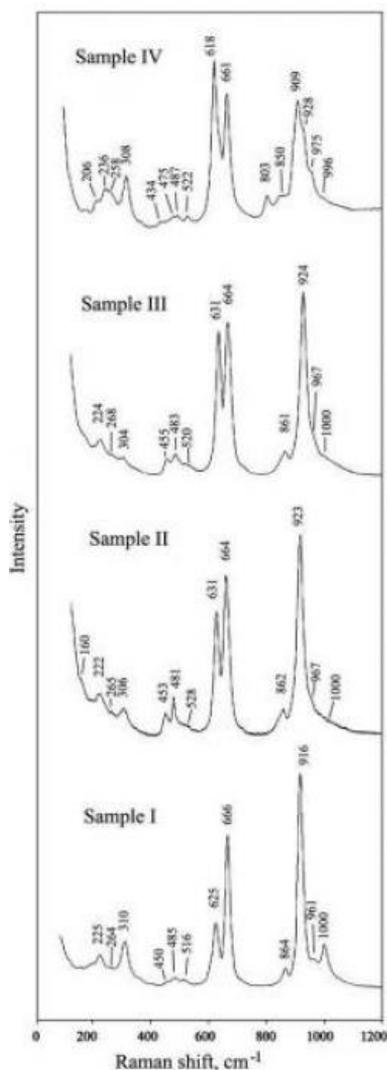


Рис. 28. Рамановские спектры минералов группы мелилита. использованные для детальных исследований. I – FMM_FN285 $(Ca_{1.8}Na_{0.2})(Mg_{0.7}Al_{0.2}Fe^{2+}_{0.1})Si_2O_7$, акерманит Ковдорского массива,

II - FMM_FN282 $(Ca_{1.6}Na_{0.4})(Mg_{0.5}Al_{0.4}Fe^{2+}_{0.1})Si_2O_7$; акерманит массива Турий мис, соответствует обр. FMM_1_90274 III - FMM_FN284 $(Ca_{1.6}Na_{0.4})(Mg_{0.4}Al_{0.4}Fe^{2+}_{0.2})Si_2O_7$, IV - FMM_FN283 $Ca_{20}(Mg_{0.4}Al_{0.6})[Si_{1.4}Al_{0.6}O_7]$.

Высокочастотная область (1000–600 cm^{-1}) раман-спектров мелилита отражает валентные колебания связей в Si_2O_7 (обр. I–III), $(Si,Al)_2O_7$ (обр. IV) и тетраэдрических анионов AlO_4 , MgO_4 . Наибольшая интенсивность в этом диапазоне соответствует колебаниям: 1) – с максимумами около 916, 923, 924 и 909 cm^{-1} , приписываемым валентным симметричным колебаниям групп SiO_3 из кремнекислородных димеров Si_2O_7 , 2) – у линий с максимумами около 666, 664, 664 и 618 cm^{-1} , соответствующим валентным симметричным колебаниям мостиков $(Si,Al)-O-Si$, и 3) – у линий с максимумами около 625, 631, 631 и 618 cm^{-1} , которые приписываются симметричным валентным колебаниям тетраэдров MgO_4 (обр. I–III) и AlO_4 (обр. IV). В низкочастотной области (600–200 cm^{-1}) группируются колебания, отвечающие деформационным колебаниям различного типа и трансляционным колебаниям крупных структурных единиц и катионов (рис. 28).

ИК-спектры изученных образцов и их рентгенограммы сходны с данными, полученными ранее для геленита и акерманита. Параметр a элементарной ячейки минералов в ряду акерманит–алюмоакерманит закономерно уменьшается, с остается практически без изменений. Геленит характеризуется наименьшим значением параметра a и наибольшим c (Ogorodova et al., 2018).

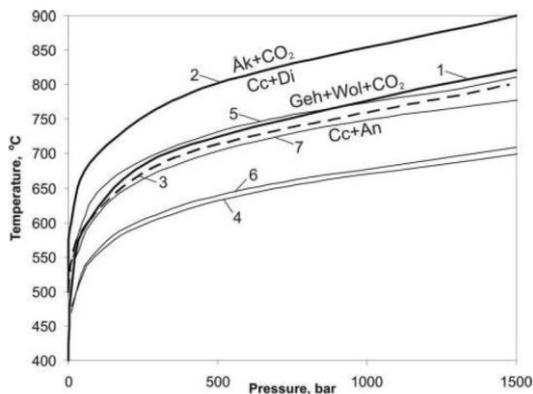


Рис. 29. Поля устойчивости мелилита при контактно-метаморфическом взаимодействии кальцита с силикатами. Жирные линии – нижняя граница устойчивости геленита (1) и акерманита (2). Пунктирная линия 3 – нижняя граница устойчивости для идеального твердого раствора из них. Тонкие линии – нижние границы стабильности исследуемых образцов в равновесии с кальцитом, диопсидом, альбитом, анортитом, фаялитом, волластонитом и диоксидом углерода: образец I – линия 7, образец II – линия 4, образец III – линия 6, образец IV – линия 5.

Собранные литературные термодинамические данные наряду с оценкой стандартной энтальпии образования для четырех образцов, которая была

рассчитана из экспериментов по растворению мелилита в борате свинца, позволили рассчитать диаграмму устойчивости минералов твердого раствора акерманит–геленит при формировании контактово-метасоматических пород (система $(Mg,Ca)O-Al_2O_3-SiO_2-CO_2$).

Хорошо видно (рис. 29), что присутствие алюмоакерманита в природном мелилите существенно расширяет его поле устойчивости в область более низкой температуры.

МОНТИЧЕЛЛИТ

Проведено термохимическое изучение природного ортосиликата кальция и магния монтичеллита $Ca_{1.00}Mg_{0.95}[SiO_4]$ (Хабаровский край, Россия) на микрокалориметре Тиана-Кальве (Огородова и др., 2019). Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения определена энтальпия образования из элементов: $\Delta H^{\circ}_{el}(298.15 K) = -2238.4 \pm 4.5$ кДж/моль. Рассчитаны энтальпия и энергия Гиббса образования монтичеллита теоретического состава $CaMg[SiO_4]$: $\Delta H^{\circ}_{el}(298.15 K) = -2248.4 \pm 4.5$ кДж/моль и $\Delta G^{\circ}_{el}(298.15 K) = -2130.5 \pm 4.5$ кДж/моль.

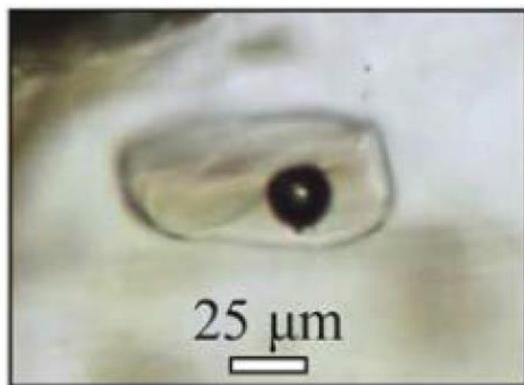
РАСПЛАВНЫЕ И ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В МИНЕРАЛАХ

Были продолжены систематические работы по изучению включений минералообразующих расплывов и расплавов в породообразующих минералах с целью выявления условий их формирования.

Вулканический массив Карадаг

Вулканический массив Карадаг расположен в юго-восточной части Крымского полуострова и представляет собой мощную вулканогенную толщу, подвергшуюся значительным изменениям при низкотемпературном метаморфизме. Методами изучения расплавных включений, локальной геохимии стекол и минералов и Ag–Ag изотопии нам удалось (Porov et al., 2019) выявить влияние вторичных изменений, оценить первичные химические составы пород и состав расплава (включая геохимическую характеристику). Расплавные включения были изучены в плагиоклазе, клино- и ортопироксене (рис. 30).

Полученные результаты свидетельствуют о двух различных магматических сериях в пределах Карадагского вулканического массива. Первая является типично островодужной и относится к умереннокальциевым известково-щелочным сериями с обогащением мобильных LILE, U, Th и LREE относительно HREE, Y, Zr, Hf, Nb и Ta. Большинство пород Карадага относится к этой серии. Ag–Ag изотопные данные по вкрапленникам плагиоклаза и стекловатой основной массе позволили определить возраст этих пород как среднеюрский – 172.8 ± 4.5 Ма. Другая серия представлена единичными потоками и относится к обогащенным Nb надсубдукционным вулканитам.



(a)



(б)

Рис. 30. Представительные стекловатые расплавные включения в плагиоклазе (а) и ортопироксене (б) из андезитов вулкана Карадаг (Крым) до проведения термометрического эксперимента.

Камчатка

Были получены результаты по природно- и экспериментально-закаленным расплавным включениям в магнезиальном оливине (F_{077-89}) из образца базальта Карымского вулканического центра, расположенного в центральном сегменте Восточного вулканического фронта Камчатки (Тобелко и др., 2019). Условия образования родоначальных магм оценены с помощью современных методов микроэлементной термометрии. Используя данные прямого измерения H_2O во включениях и данные термометрии сосущестующих оливина и шпинели, показано, что родоначальные расплавы содержат не менее 4.5 мас.% H_2O , кристаллизовались при 1114 ± 27 °C, летучести кислорода $\Delta QFM = 1.5 \pm 0.4$. Полученные оценки содержания H_2O и температур кристаллизации являются одними из первых и в настоящий момент самыми надежными данными для Восточного вулканического фронта Камчатки. Первичный расплав Карымского вулканического центра имеет перидотитовый источник и мог быть получен в результате ~ 12–17% плавления обогащенного источника MORB (E-DMM) при ~ 1230–1250 °C

и ~ 1.5 ГПа. Установленные нами оценки температур плавления мантии под Камчаткой несколько ниже, чем полученные ранее, и свидетельствуют о температурах плавления мантии под Камчаткой до 50 °C ниже солидуса «сухого» перидотита под воздействием водосодержащего расплава из субдущей плиты. Комплексный подход к оценке исходного содержания H_2O в расплавах, применяемый в настоящей работе, позволит получить более надежные результаты в будущих исследованиях и, возможно, понизит значения температур в мантийном клине над зонами субдукции.

Другие объекты

Впервые были детально изучены расплавные включения в кварце из экструзии риолитов вулкана Базман (Иран) (Прокофьев и др., 2019). Определение воды в расплавных включениях проводилось с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния, и ее содержание варьирует в пределах 4.0–5.3 мас.%. При термометрических экспериментах гомогенизация достигалась при температуре ниже 700 °C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разнообразие минералов формирует огромный и сложный мир, изучением которого занимаются уже несколько сотен лет. Несмотря на это, количество новых минералов, а также новых данных об уже известных минералах не только не иссякает, но скорее растет год от года. Сотрудники Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН проводят самостоятельные минералогические исследования и кооперируются с ведущими минералогами нашей и других стран мира. Результаты 2019 года, уже опубликованные в 50 статьях, отражают основные направления научной деятельности Минмузея РАН.

К наиболее значимым результатам работы относятся открытие 20 новых минералов, а также новые данные по минералогии ряда объектов Урала, Камчатки, Кавказа, Крыма, Средней Азии и Ближнего Востока. Изучены вариации состава в минералах надгруппы эпидота и выявлены потенциально новые минералы. Для минералов группы меллита исследованы термодинамические свойства промежуточных составов, что позволило уточнить диапазон стабильности этих минералов и объяснить распространенность меллита в контактово-метасоматических породах. Для возможности моделирования полей устойчивости парагенезисов таких пород были изучены термодинамические свойства монтичеллита.

За счет проведенной научной работы пополняется и изучается уникальная коллекция Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН и расширяются наши представления о разнообразии минерального мира.

Список литературы

- Белаковский Д.И., Новиков В.П., Паутов Л.А., Супрычев В.В. Первая находка летовицита на территории СССР (Центральный Таджикистан) // Доклады Академии наук Таджикской ССР. 1988. Т. 31. № 9. С. 603–606.
- Белаковский Д.И., Москалев И.В. Аммониевая селитра из продуктов угольного пожара в урочище Кухи-Малик (Центральный Таджикистан) // Новые данные о минералах. 1988. Вып. 35. С. 191–194.
- Белова Л.Н., Горшков А.И., Дойникова О.А., Мохов А.В., Трубкин Н.В., Сивцов А.В. Новые данные о кокониноите // Докл. АН СССР. 1993. Т. 329. № 6. С. 772–775.
- Брусницын А.И. Родонитовые месторождения Среднего Урала (минералогия и генезис). СПб.: СПбГУ, 2000. 201 с.
- Варламов Д.А., Ермолаева В.Н., Чуканов Н.В., Янчев С., Вигасина М.Ф., Плечов П.Ю. Новое в минералогии надгруппы эпидота: необычные химические составы, типохимизм, КР-спектроскопия // ЗРМО. 2019. Т. 148. Вып. 1. С. 79–99.
- Гаранин В.К., Бовкун А.В., Гаранин К.В., Ротман А.Я., Серов И.В. Микрокристаллические оксиды из кимберлитов России. М.: ГЕОС, 2009. 498 с.
- Герасимов В.Ю., Снежко В.А., Мозар Д., Письменный А.Н., Энна Н.А., Ульянов А.А. Цирконометрия и термохронология мигматизированных гнейсов гондарайского метаморфического комплекса Большого Кавказа // Вестник Московского университета. 2020. Серия 4: Геология. № 4. С. 30–44.
- Главатских С.Ф., Трубкин Н.В. Самородный теллур и никель из высокотемпературных газовых возгонов Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // Доклады Академии наук. 2003. Т. 389. № 2. С. 231–234.
- Ермаков Н.П. Пасруд-Ягнобское месторождение углей и горящие копи г. Кан-Таг // К геологии каменноугольных месторождений Таджикистана / Под ред. А.Р. Бурачека и П.П. Чуенко. Материалы Таджикско-Памирской экспедиции 1933 г. 1935. Вып. XIII. Л.: Химгосрет. С. 47–66.
- Зильберминц В.А. Редкоземельные минералы Кыштымской дачи // Тр. ИПМ. 1930. Вып. 44. С. 82.
- Карпенко В.Ю., Паутов Л.А., Шодибеков М., Махмадишариф С., Мираков М.А. Кокониноит: находка на рудопроявлении Зор-Ярчи-Чак, Восточный Памир // Новые данные о минералах. 2020. Т. 54. Вып. 1. С. 19–25.
- Короваев Ф.Н. Кыштым-паризит, новый минерал // Горный журнал. 1861. Т. 4. Кн. 12. С. 445–454.
- Криулина Г.Ю., Васильев Е.А., Гаранин В.К. Структурно-минералогические особенности алмаза месторождения М.В. Ломоносова (Архангельская провинция): новые данные и их интерпретация // Доклады Академии наук. 2019. Т. 486. № 6. С. 695–698.
- Криулина Г.Ю., Гаранин В.К., Самосоров Г.Г. Прогнозирование качества алмазного сырья в месторождениях различных петрохимических типов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2013. № 6. С. 25–32.
- Майорова Т.П., Варламов Д.А., Соболева А.А. Минералогия и геохимия Тыктотловского золоторудного проявления с галлиевой минерализацией (Приполярный Урал) // Мат. Всеросс. конф., посв. 120-летию А.Г. Бетехтина. Москва, 20–22 ноября 2017 г. М.: ИГЕМ РАН. 2017. С. 99–103.
- Мираков М.А., Файзиев А.Р., Паутов Л.А. Самородный селен в продуктах подземного пожара Фан-Ягнобского угольного месторождения (Центральный Таджикистан) // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2017. Т. 60. № 9. С. 456–459.
- Мираков М.А., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р., Махмадишариф С. Пауфлерит β -VO(SO₄) в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик (Рават) на Фан-Ягнобском угольном месторождении, Таджикистан // Новые данные о минералах. 2019. Т. 53 (4). С. 114–121.
- Мираков М.А., Паутов Л.А., Файзиев А.Р., Шодибеков М.А. Циркон Намангутского пегматитового поля (Юго-Западный Памир) // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2020. Т. 63. № 1/2. С. 108–112.
- Новиков В.П., Супрычев В.В. Условия современного минералообразования в процессе подземного горения углей на Фан-Ягнобском месторождении // Минералогия Таджикистана. 1986. № 7. С. 91–104.
- Огородова Л.П., Гриценко Ю.Д., Вигасина М.Ф. и др. Термодинамические свойства монтичеллита // Геохимия. 2019. Т. 64. № 12. С. 1274–1280.
- Охунов Р.В., Ёров З.Ё., Незматов И.И. Атлас-справочник угольного месторождения Фон-Ягноб. Душанбе. 2017. 170 с.
- Паутов Л.А., Мираков М.А., Махмадишариф С., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р. Находка самородного теллура в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2019. Т. 53. Вып. 4. С. 95–99.
- Плечов П.Ю., Пеков И.В., Белаковский Д.И., Паутов Л.А., Касаткин А.В., Агаханов А.А., Моисеев М.М., Карпенко В.Ю., Некрылов Н.А., Гриценко Ю.Д., Гаранин В.К. Разнообразие минералов и их парагенезисов: научные результаты Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН в 2018 году // Новые данные о минералах. 2019. Т. 53. Вып. 2. С. 36–57.
- Прокофьев В.Ю., Наумов В.Б., Романько А.Е., Балашова А.А., Плечов П.Ю., Ималвердиев Н.А. Низкотемпературные расплавы вулкана Базман, Иран // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485. № 5. С. 614–618.

- Свяжин Н.В. Коренные месторождения редкоземельных и редкоземельных минералов Мочалина лога // Тр. Свердловского горн. ин-та. 1956. Вып. 28.
- Стифеева М.В., Сальникова Е.Б., Самсонов А.В., Котов А.Б., Грищенко Ю.Д. U-Pb-возраст граната из скарнов Дашкесанского месторождения (Малый Кавказ) // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487. № 5. С. 554–557.
- Тобелко Д.П., Портнягин М.В., Крашенинников С.П., Гриб Е.Н., Плечов П.Ю. Состав и условия образования примитивных магм Карымского вулканического центра (Камчатка) по данным изучения расплавных включений и микроэлементной термобарометрии // Петрология. 2019. Т. 27 (3). С. 258–281.
- Щербакова Е.П., Баженова Л.Ф. Ефремовит $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$ – аммониевый аналог лангбейнита – новый минерал // Зап. ВМО. 1989. Ч. 118. Вып. 3. С. 84–87.
- Africano F., Bernard A. Acid alteration in the fumarolic environment of Usu volcano, Hokkaido, Japan // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2000. Vol. 97 (1/4). P. 475–495.
- Atencio D., Andrade M.B., Christy A.G., Gieré R., and Kartashov P.M. The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature // The Canadian Mineralogist. 2010. V. 48. P. 673–698.
- Bindi L., Pratesi G., Muniz-Miranda M., Zoppi M., Chelazzi L., Lepore G.O., & Menchetti S. From ancient pigments to modern optoelectronic applications of arsenic sulfides: bonazziite, the natural analogue of $\beta\text{-As}_4\text{S}_4$ from Khaidarkan deposit, Kyrgyzstan // Mineralogical Magazine. 2015. V. 79. № 1. P. 121–131.
- Ding X., Bai G., Yuan Z., Liu J. Hinganite $[(\text{Y,Ce})\text{BeSiO}_5(\text{OH})]$: new data. Acta Petrologica Mineralogica et Analytica. 1984. V. 3. P. 46–48.
- Fulginiti P., Sbrana A. Presence of native gold and tellurium in the active high-sulfidation hydrothermal system of the La Fossa volcano (Vulcano, Italy) // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1998. V. 86 (1/4). P. 187–198.
- Kampf A.R., Nash B.P., & Donoso A.A.M. Mauriziodiniite, $\text{NH}_4(\text{As}_2\text{O}_3)_2\text{I}$, the ammonium and iodine analogue of lucabindiite from the Torrecillas mine, Iquique Province, Chile // Mineralogical Magazine. 2020. V. 84 (2). P. 267–273.
- Karwowski L., Kusz J., Muszyński A., Kryza R., Si-tarz M., Galuskin E.V. Moraskoite, $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{PO}_4)\text{F}$, a new mineral from the Morasko IAB-MG iron meteorite (Poland) // Mineralogical Magazine. 2015. V. 79. P. 387–398.
- Kasatkin A.V., Cámara F., Chukanov N.V., Škoda R., Nestola F., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Lednyov V.S. Patynite, $\text{NaKCa}_4[\text{Si}_9\text{O}_{23}]$, a new mineral from the Patynskiy Massif, Southern Siberia, Russia // Minerals. 2019. V. 9 (10). P. 611.
- Kasatkin A.V., Zubkova N.V., Pekov I.V., Chukanov N.V., Škoda R., Polekhovskiy Y.S., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Kuznetsov A.M., Britvin S.N., Pushcharovskiy D.Y. The mineralogy of the historical Mochalin Log REE deposit, South Urals, Russia. Part I. New gatelite-group minerals ferriperbœite- $(\text{La})_3(\text{CaLa}_3)(\text{Fe}^{3+}\text{Al}_2\text{Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_3\text{O}(\text{OH})_2$ and perbœite- $(\text{La})_3(\text{CaLa}_3)(\text{Al}_3\text{Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_3\text{O}(\text{OH})_2$ // Mineralogical Magazine. 2020. V. 84 (4). P. 593–607.
- Kasatkin A.V., Britvin S.N., Peretyazhko I.S., Chukanov N.V., Škoda R., & Agakhanov A.A. Oxybismutomicrotolite, a new pyrochlore-supergroup mineral from the Malkhan pegmatite field, Central Transbaikalia, Russia // Mineralogical Magazine. 2020a. V. 84. P. 444–454.
- Konev A., Pasero M., Pushcharovskiy D., Merlino S., Kashaev A., Sworova L., Ushchapovskaya Z., Nartova N., Lebedeva Y., Chukanov N. Biraite-(Ce), $\text{Ce}_2\text{Fe}^{2+}(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)$, a new mineral from Siberia with a novel structure type // European Journal of Mineralogy. 2005. V. 17 (5). P. 715–721.
- Krivovichev S.V., Vergasova L.P., Britvin S.N., Filatov S.K., Kahlenberg V., & Ananiev V.V. Pauflerite, $\beta\text{-VO}(\text{SO}_4)$, a new mineral species from the Tolbachik Volcano, Kamchatka Peninsula, Russia // The Canadian Mineralogist. 2007. V. 45 (4). P. 921–927.
- Holtstam D., Norrestam R., and Andersson U.B. Percleveite-(Ce) – a new lanthanide disilicate mineral from Bastnäs, Skinnskatteberg, Sweden // European Journal of Mineralogy. 2003. V. 15. P. 725–731.
- MacDonald R., Baginski B., Kartashov P.M., Zozulya D., & Dzierzanowski P. Interaction of Rare-Metal Minerals with Hydrothermal Fluids: Evidence From Quartz-Epidote Metasomatites of The Haldzan Buragtag Massif, Mongolian Altai // Canadian Mineralogist. 2015. V. 53 (6). P. 1015–1034.
- Nadeau O., Cayer A., Pelletier M., Stevenson R., & Jébrak M. The Paleoproterozoic Montviel carbonatite-hosted REE-Nb deposit, Abitibi, Canada: Geology, mineralogy, geochemistry and genesis // Ore Geology Reviews. 2015. V. 67. P. 314–335.
- Nasdala L., Pekov I.V. Ravatite, $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$, a new organic mineral species from Ravat, Tadzhikistan // Europ. Journ. Mineral. 1993. Vol. 5. P. 699–705.
- Ogorodova L.P., Gritsenko Y.D., Viginina M.F., Bychkov A.Y., Ksenofontov D.A., & Melchakova L.V. Thermodynamic properties of natural melilites // American Mineralogist. 2018. V. 103 (12). P. 1945–1952.
- Ostrooumov M., Taran Y. Discovery of native vanadium, a new mineral from the Colima Volcano, state of Colima (Mexico) // Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. 2015. V. 20. P. 109–115.
- Pautov L.A., Mirakov M.A., Südra O.I., Faiziev A.R., Nazarchuk E.V., Karpenko V.Y., & Makhmadsharif S. Falgarite, $\text{K}_4(\text{VO})_3(\text{SO}_4)_5$, a new mineral from sublimate of a natural underground coal fire at the tract of Kukhi-Malik, Fan-Yagnob coal deposit, Tajikistan // Mineralogical Magazine. 2020. V. 84 (3). P. 455–462.
- Pautov L.A., Mirakov M.A., Cámara F., Sokolova E., Hawthorne F.C., Schodibekov M.A., & Karpenko V.Y.

Badakhshanite-(Y), $Y_2Mn_4Al(Si_2B_7BeO_{24})$, a New Mineral Species of the Perettiite Group from a Granite Mi-
 arolic Pegmatite in Eastern Pamir, the Gorno Badakh-
 shan Autonomous Oblast, Tajikistan // *The Canadian
 Mineralogist*. 2020a. Vol. 58. № 3. P. 381–394.

Pekov I.V. Minerals of the nickeline–breithauptite
 series from the Belorechenskoye deposit (Northern
 Caucasus) // *Zapiski VMO*. 1993. T. 122. C. 44–49.

*Pekov I., Agakhanov A.A., Zubkova N., Koshlyakova
 N.N., Shchipalkina N., Sandalov F.D., Yapaskurt V.O.,
 Turchkova A.G., Sidorov E.G.* Oxidizing-Type Fuma-
 roles of the Tolbachik Volcano, a Mineralogical and Geo-
 chemical Unique // *Russian Geology and Geophys-
 ics*. 2020. V. 61 (5/6). P. 675–688.

*Pekov I.V., Yapaskurt V.O., Britvin S.N., Zubkova
 N.V., Vigasina M.F., Sidorov E.G.* New arsenate miner-
 als from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano,
 Kamchatka, Russia. V. Katiarsite, $KTiO(AsO_4)$ // *Min-
 eralogical Magazine*. 2016. V. 80. P. 639–646.

*Popov D.V., Brovchenko V.D., Nekrylov N.A., Plechov
 P.Y., Spikings R.A., Tyutyunnik O.A., Krigman L.V., Ano-
 sova M.O., Kostitsyn Y.A., Soloviev A.V.* Removing a
 mask of alteration: Geochemistry and age of the Kar-
 adag volcanic sequence in SE Crimea // *Lithos*. 2019.
 V. 324. P. 371–384.

*Pršek J., Ondrejka M., Bačík P., Budzyń B., & Uher
 P.* Metamorphic-hydrothermal REE minerals in the
 Bacúch magnetite deposit, Western Carpathians, Slo-
 vakia: (Sr, S)-rich monazite-(Ce) and Nd-dominant
 hingganite // *Canadian Mineralogist*. 2010. T. 48. №.
 1. P. 81–94.

*Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Chukanov N.V.,
 Biagioni C., & Pasero M.* Crystal chemistry and nomen-
 clature of rhodonite-group minerals // *Mineralogical
 Magazine*. 2019. V. 83 (6). P. 829–835.

*Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Britvin S.N., Koshlya-
 kova N.N., Vigasina M.F., & Sidorov E.G.* A New Mineral
 Ferrisanidine, $K[Fe^{3+}Si_3O_8]$, the First Natural Feldspar
 with Species-Defining Iron // *Minerals*. 2019. V. 9 (12).
 P. 770.

*Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Chukanov N.V., Bela-
 kovskiy D.I., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Britvin
 S.N., Sidorov E.G.* Alkali sulfates with apthitalite-like
 structures from fumaroles of the Tolbachik volcano,
 Kamchatka, Russia. II. A new mineral, natroapthita-
 lite, and new data on belomarinaite // *The Canadian
 Mineralogist*. 2020. V. 58(2). P. 167–181.

*Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Koshlyakova N.N.,
 Britvin S.N., Zubkova N.V., Varlamov D.A., & Sidorov
 E.G.* Unusual silicate mineralization in fumarolic sub-
 limates of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia –
 Part 1: Neso-, cyclo-, ino- and phyllosilicates // *Euro-
 pean Journal of Mineralogy*. 2020. V. 32 (1). P. 101–
 119.

*Tolstykh N.D., Tuhý M., Vymazalová A., Plášil J.,
 Laufek F., Kasatkin A.V., Nestola F., Bobrova O.V.* Male-
 toyvayamite, $Au_3Se_4Te_6$, a new mineral from Male-
 toyvayam deposit, Kamchatka peninsula, Russia //
Mineralogical Magazine. 2020. V. 84 (1). P. 117–123.

*Zhitova E.S., Pekov I.V., Chaikovskiy I.I., Chirkova
 E.P., Yapaskurt V.O., Bychkova Y.V., Belakovskiy D.I.,
 Chukanov N.V., Zubkova N.V., Krivovichev S.V., Bo-
 charov V.N.* Dritsite, $Li_2Al_4(OH)_{12}Cl_2 \cdot 3H_2O$, a New
 Gibbsite-Based Hydrotalcite Supergroup Mineral //
Minerals. 2019. V. 9 (8). P. 492.