



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

Новые данные о минералах, том 55, вып. 3 (2021), 57–80

НДМ

Важнейшие научные результаты Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана в 2020 году

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

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва

Статья представляет собой обзор основных научных результатов сотрудников Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (Минмузея РАН) за 2020 год. Приведены краткие описания 24 новых минеральных видов: это люборжакит, походяшинит, гунгерит, ауэрбахит, бираит-(La), алекскузнецовит-(Ce), рабдоборит-(Mo), манганобадаловит, дуткевичит-(Ce), чукоткаит, сарановскит, боярит, куфарит, хасановит, шахдараит-(Y), ботубинскит, мирныйит, зайковит, селенолаурит, одихинчаит, ермаковит, шуйскит-(Cr), попугаеваит, аммонитинслейит.

В статье суммированы текущие результаты изучения минералогических объектов, связанных с фумарольными полями и угольными пожарами, щелочными массивами, рудными месторождениями и редкометальными гранитными пегматитами. Также приведены результаты изучения минералогии метеоритного вещества, новые данные по исследованию морфологии алмазов Архангельской алмазодобывающей провинции и включений в них, данные по детальному изучению оливина скарнов и метаморфических карбонатно-силикатных пород, результаты изучения сульфидных расплавных включений в высокомагнезиальных базальтах Камчатского мыса.

Ключевые слова: Минмузей РАН, отчет о научной работе за 2020 год, новый минеральный вид, оливин, алмаз, мелилит, вариации состава породообразующих минералов, научная тема FMGM–2019–0003.

ВВЕДЕНИЕ

Минералогическому музею имени А.Е. Ферсмана исполняется 306 лет. Сотрудники Минералогического музея (далее Минмузей РАН) на протяжении всей истории его существования работали на острие науки: открывали новые минералы и новые месторождения, участвовали в экспедициях, разрабатывали новые методы исследований. Последние три года мы поддерживаем традицию Музея, начатую В.И. Вернадским в 1907 году: резюмируем основные научные результаты работы сотрудников за предыдущий год в отдельной отчетной статье (Плечов и др., 2019; Плечов и

др., 2020). В данной статье описываются основные научные результаты за 2020 год, выполненные по теме НИР «Разнообразии минералов и их парагенезисов: новые данные, развитие аналитической минералогии» (FMGM–2019–0003), часть из которых уже опубликована сотрудниками Минмузея в 2020 году в 66 статьях и тезисах докладов.

Целью текущей научно-исследовательской работы (НИР) явилось получение новых данных о свойствах и генезисе минералов и особенностях их парагенезисов в различных месторождениях и рудопрооявлениях как России, так и других реги-

онов мира, изучение минерального разнообразия, открытие и детальная характеристика новых минералов, определение условий образования минерального вещества и закономерностей размещения минералогических объектов, месторождений и проявлений полезных ископаемых, прогнозы по их поиску и рекомендации по возможному практическому использованию новых и редких минералов, созданию новых материалов, в ряде случаев – по извлечению полезных компонентов. Объектами НИР были образцы из уникальных фондов Минмузея РАН из различных месторождений мира, а также материал собственных полевых сборов в основном прошлых лет и в меньшей степени 2020 года сотрудников Минмузея РАН.

Основные научные результаты сгруппированы в два крупных раздела. Первый раздел содержит краткое описание открытых с участием сотрудников Минмузея РАН новых минералов. Второй раздел описывает научные результаты детального изучения различных природных объектов: фумарольных полей, щелочных массивов, гранитных пегматитов, месторождений алмаза, рудных месторождений и метеоритного вещества.

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

Описание нового минерального вида является открытием, которое расширяет наши знания о природе, дает нам в руки индикаторы природных процессов, инструменты для поиска полезных ископаемых и создания новейших материалов.

С участием сотрудников Минмузея РАН открыты и изучены 24 новых минеральных вида: люборжацит, походяшинит, гунгерит, ауэрбахит, бираит-(La), алекскузнецовит-(Ce), рабдоборит-(Mo), манганобадаловит, дуткевичит-(Ce), чукоткаит, сарановскит, боярит, куфарит, хасановит, шахдараит-(Y), ботубинскит, мирныйит, зайковит, селенолаурит, одихинчаит, ермаковит, шуйскит-(Sr), попугаеваит, аммонитинслейит. Утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации (IMA CNMNC) в 2020 году либо в конце 2019-го и не вошли в предыдущую обзорную статью (Плечов и др., 2020).

Название минерала приводится в английском и русском написании. После названия минерала дан официальный номер, присваиваемый Комиссией. Также приводятся регистрационные номера для авторских образцов, переданных в коллекцию Музея. В списке авторов курсивом выделены сотрудники Минмузея РАН.

Силикаты:

Бираит-(La). Birait-(La). IMA 2020-020. $\text{La}_2\text{Fe}^{2+}(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)$.

Мочалин Лог, Челябинская обл., Южный Урал, Россия. Моноклинный, пр.гр. $P2_1/c$, $a = 6.5660(10)$ Å, $b = 6.7666(11)$ Å, $c = 18.698(3)$ Å, $\beta = 108.952(16)^\circ$, $V = 785.7(2)$ Å³, $Z = 4$. Назван как лантановый аналог ранее открытого бираита-(Ce). Вместе с недавно открытыми алекскузнецовитом-(Ce) и алекскузнецовитом-(La) входит в группу бираита (Kasatkin et al., 2021b). Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97023, рег. № 5557/1 (рис. 1).

Авторы: Касаткин А.В., Зубкова Н.В., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Škoda R., Агаханов А.А., Белаковский Д.И., Кузнецов А.М., Пушаровский Д.Ю.

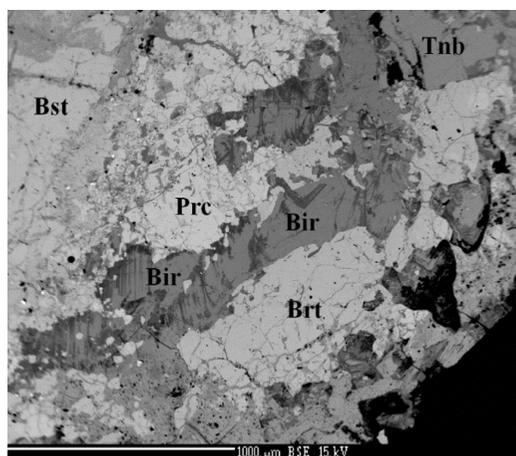


Рис. 1. Бираит-(La) (Bir) в ассоциации с бастнезитом-(Ce) (Bst), тёрнебомитом-(La) (Tnb), фторбритолитом-(Ce) (Brt) и перклевитом-(Ce)/(La) (Prc). Черные зерна – кварц. Линейка 1000 мкм. Фотография в отраженных электронах (BSE).

Алекскузнецовит-(Ce). Alexkuznetsovite-(Ce). IMA 2019-118. $\text{Ce}_2\text{Mn}(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)$.

Мочалин Лог, Челябинская обл., Южный Урал, Россия. Моноклинный, пр.гр. $P2_1/c$, $a = 6.57642(4)$ Å, $b = 6.7685(4)$ Å, $c = 18.7493(15)$ Å, $\beta = 108.672(8)^\circ$, $V = 790.66(10)$ Å³, $Z = 4$. Назван как Ce-аналог алекскузнецовита-(La) (Kasatkin et al., 2021a). Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97008 представляет собой прозрачно-полированный шлиф, а FMM_1_97026 – шашку (рег. № 5416/3) (рис. 2).

Авторы: Касаткин А.В., Зубкова Н.В., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Škoda R., Агаханов А.А., Белаковский Д.И.

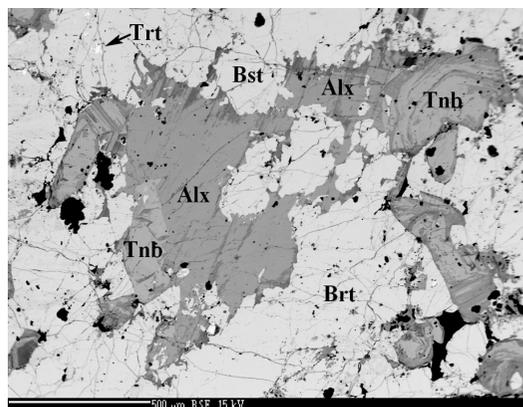


Рис. 2. Алекскузнецовит-(La) (Alx) в ассоциации с фторбритолитом-(La) (Brt), тёрнебомитом-(La) (Tnb), бастнезитом-(La) (Bst) и торитом (Trt). Черные зерна – кварц. Линейка 500 мкм. Фотография в отраженных электронах (BSE).

Шуйскит-(Cr). Shuiskite-(Cr). IMA 2019-117. $\text{Ca}_2\text{CrCr}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_6(\text{OH})](\text{OH})_2\text{KNa}_3(\text{SO}_4)_2$.

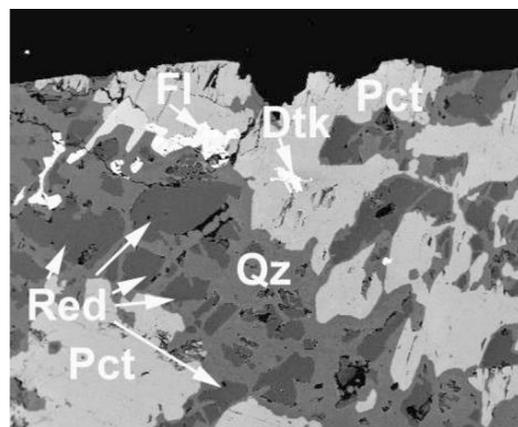
Минерал найден на Главном Сарановском месторождении, входящем в Сарановскую группу хромитовых месторождений, Горнозаводский район, Пермский край, Средний Урал, в кальцитовых прожилках в хромите с Cr-содержащим клинхлором и уваровитом (Lykova et al., 2020). Моноклинный, пр.гр. $C2/m$, $a = 19.2436(6)$, $b = 5.9999(2)$, $c = 8.8316(3)$ Å, $\beta = 97.833(3)^\circ$. Относится к группе пумпеллиита. Обнаружение минерала открыло новую серию в группе пумпеллиита с изоморфным замещением Mg–Cr³⁺. В связи с этим магниезильный член ряда – шуйскит переименован в шуйскит-(Mg). Cr-аналог шуйскита-(Mg) назван также в честь Вадима Прокопьевича Шуйского (1935–2000), литолога, исследователя осадочных толщ Урала (Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург). Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97012 (рег. № 5481/1), а также в Канадском музее природы (Оттава), каталожный № CMNMC 87302.

Авторы: Лыкова И.С., Варламов Д.А., Чуканов Н.В., Пеков И.В., Белаковский Д.И., Иванов О.К., Зубкова Н.В., Бритвин С.Н.

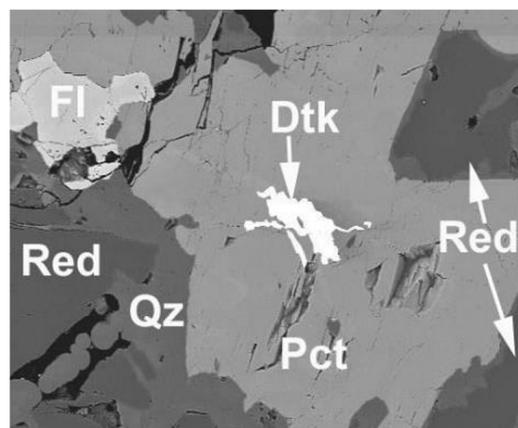
Дуткевичит-(Ce). Dutkevichite-(Ce). IMA 2019-102. $\text{NaZnBa}_2\text{Ce}_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{F}\cdot\text{H}_2\text{O}$. Минерал встречается в щелочном массиве Дарай-Пиёз (Таджикистан) в кварц-ридмерджерит-пектолитовых агрегатах (рис. 3). Ромбический, пр.гр. $Ama2$, $a = 22.260(6)$ Å,

$b = 10.504(2)$ Å, $c = 9.660(2)$ Å, $V = 2259(2)$ Å³, $Z = 4$. Назван в честь русского геолога Георгия Александровича Дуткевича (1907–1937), участника Памиро-Таджикской экспедиции с 1932 по 1935 год, проделавшего значительные исследования в труднодоступных районах Средней Азии, в том числе и в районе щелочного массива Дарай-Пиёз (Agakhanov et al., 2020). Минерал является цинковым аналогом белоруссита-(Ce) $\text{NaMnBa}_2\text{Ce}_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{F}\cdot\text{H}_2\text{O}$ и ортоджоакинита-(Ce) $\text{NaFe}^{2+}\text{Ba}_2\text{Ce}_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}(\text{OH},\text{F})\cdot\text{H}_2\text{O}$. Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97502 (рег. № 5281/1).

Авторы: Агаханов А.А., Паутов Л.А., Касаткин А.В., Карпенко В.Ю., Пеков И.В., Агаханова В.А., Муфтахов В.А., Škoda R., Бритвин С.Н.



(a)



(б)

Рис. 3. Выделения дуткевичита-(Ce) (Dtk), флюорита (Fl) и ридмерджерита (Red) в кварц (Qz)-пектолитовом (Pct) агрегате: общий вид (a) и увеличенный фрагмент (б). Изображения в отраженных электронах (BSE).

Одихинчаит. Odikhinchaite. IMA 2020-064. $\text{Na}_{10}\text{Sr}_3\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{73}(\text{OH})_3(\text{CO}_3)\cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Новый минерал из группы эвдиалита встречается в щелочно-ультраосновном массиве Одихинча, Красноярский край, в пегматоидном прожилке в ассоциации с ортоклазом, альбитом, нефелином, вадеитом, анкилитом-(Ce), где он образует крупные (до 11 мм) сферолитовые агрегаты насыщенного малинового цвета (рис. 4). Одихинчаит тригональный, пр.гр. $R\bar{3}m$, параметры элементарной ячейки: $a = 14.2837(2) \text{ \AA}$, $c = 30.0697(3) \text{ \AA}$, $V = 5313.04(12) \text{ \AA}^3$ (Gritsenko et al., 2020). Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образцы FMM_1_97130 (рег. № 5587/1) и FMM_1_97131 (рег. № 5588/1).

Авторы: Гриценко Ю.Д., Чуканов Н.В., Аксенов С.М., Пеков И.В., Паутов Л.А., Варламов Д.А., Возчикова С.А., Бритвин С.Н.



Рис. 4. Образец FMM_1_97131 с розеткой одихинчаита малинового цвета в агрегате канкринита, микроклина и альбита. Масштабный кубик имеет ребро 1 см.

Оксиды и гидроксиды:

Сарановскит. Saranovskite. IMA 2020-017. $\text{SrCaFe}^{2+}_2(\text{Cr}_4\text{Ti}_2)\text{Ti}_{12}\text{O}_{38}$.

Минерал обнаружен на Главном Сарановском месторождении, входящем в Сарановскую группу хромитовых месторождений, Горнозаводский район, Пермский край, Средний Урал. Новый минерал из группы кричтонита, назван по месту находки (Chukanov et al., 2020c). Тригональный, пр.гр. $R\bar{3}$, $a = 10.3553(2) \text{ \AA}$, $c = 20.7301(4) \text{ \AA}$, $V = 1925.12(8) \text{ \AA}^3$, $Z = 3$. Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97030 (рег. № 5558/1) (рис. 5).

Авторы: Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Иванов О.К., Кажева О.Н., Пеков И.В., Агаханов А.А., Ван К.В., Бритвин С.Н.

Мирныйит. Mirnyite. IMA 2018-144a. $\text{SrZr}^{4+}(\text{Ti}^{4+}_{12}\text{Cr}^{3+}_6)\text{Mg}_2\text{O}_{38}$.

Минерал найден в виде включений в пиропе из кимберлитовой трубки Интернациональная, Мирнинское кимберлитовое поле, Западная Якутия. Минерал принадлежит к группе кричтонита. Мир-

ныйит тригональный, пр.гр. $R\bar{3}$. Параметры элементарной ячейки: $a = 10.3734(8)$, $c = 20.691(1) \text{ \AA}$, $V = 1928.21 \text{ \AA}^3$, $Z = 3$. Назван в честь города Мирного в Якутии. Голотип (рис. 6) передан в коллекцию Центрального Сибирского геологического музея (ЦСГМ) Института ГМ СО РАН им В.С. Соболева, Новосибирск, рег. № VII-100/1.

Авторы: Резвухин Д.И., Ращенко С.В., Шарыгин И.С., Мальковец В.Г., Алифирова Т.А., Паутов Л.А., Нигматулина Е.Н., Сереткин Ю.В.



Рис. 5. Кристалл сарановскита-(Y), размеры $1.5 \times 2 \times 2 \text{ мм}$.

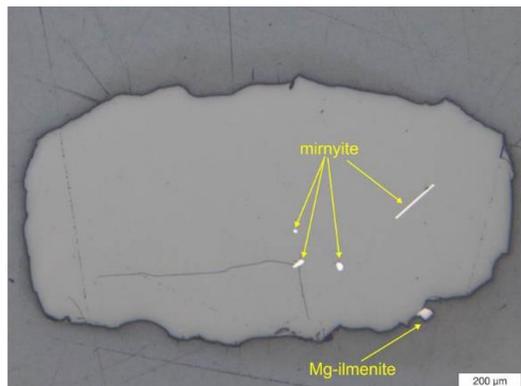


Рис. 6. Включения мирныйита в ксенокристе Sr-содержащего пироба из кимберлитовой трубки Интернациональная, Сибирская платформа. Линейка 200 мкм. Фотография в отраженном свете.

Ботуобинскит. Botuobinskite. IMA 2018-143. $\text{SrFe}^{2+}(\text{Ti}^{4+}_{12}\text{Cr}^{3+}_6)\text{Mg}_2[\text{O}_{36}(\text{OH})_2]$.

Минерал найден в виде включений в пиропе (рис. 7) из кимберлитовой трубки Интернациональная, Мирнинское кимберлитовое поле, Западная Якутия. Минерал принадлежит к

группе кричтонита. Ботуобинскит тригональный, пр.гр. $R\bar{3}$. Параметры элементарной ячейки: $a = 10.3644(8)$, $c = 20.659(1)$ Å, $V=1921.89$ Å³, $Z=3$. Назван в честь специалистов Ботуобинской геологоразведочной экспедиции, первооткрывателей трубки Интернациональная. Голотип передан в коллекцию Центрального Сибирского геологического музея, Новосибирск, рег. № VII-99/1.

Авторы: Резвухин Д.И., Ращенко С.В., Шарыгин И.С., Мальковец В.Г., Алифирова Т.А., Паутов Л.А., Нигматулина Е.Н., Сереткин Ю.В.



Рис. 7. Включения ботуобинскита (белое) в ксенокристе Si-содержащего пиропса из кимберлитовой трубки Интернациональная, Сибирская платформа. Линейка 200 мкм. Фотография в отраженном свете.

Шахдараит-(Y). Shakhdaraite-(Y). IMA 2020-024. ScYNb₂O₈.

Минерал встречен в миароловом гранитном пегматите Лесхозовский, правый борт реки Шахдары (приток реки Гунт) в среднем течении, Юго-Западный Памир, Ротквалинский р-н Горно-Бадахшанской АО, Таджикистан. Он образует небольшие черные кристаллы в агрегатах с берtrandитом (рис. 8). Шахдараит-(Y) относится к структурному архетипу брукита. Моноклинный, пр.гр. $P2_1/c$. Параметры элементарной ячейки: $a = 9.930(2)$, $b = 5.662(1)$, $c = 5.211(1)$ Å, $\beta = 92.38(3)^\circ$, $V = 292.7(5)$ Å³, $Z = 2$ (рис. 9). Авторский материал хранится в коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97040 (рег. № 5569/1).

Авторы: Паутов Л.А., Мираков М.А., Соколова Е.В., Day M., Hawthorne F.C., Шодибеков М.А., Карпенко В.Ю., Махмадшариф С., Файзиев А.Р.

Сульфосоли:

Люборжакит. Luboržákite. IMA No. 2019-125. Mn₂AsSbS₅.

Минерал найден на Воронцовском золоторудном месторождении, Краснотурьинский

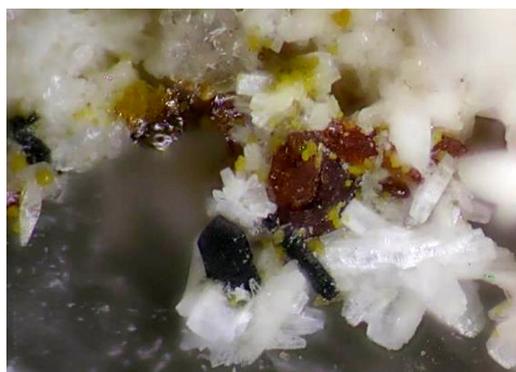


Рис. 8. Черный кристалл шахдараита-(Y) на табличатых кристаллах берtrandита (белое). Красные зерна – пирохлор, желтые – ярозит. Ширина поля зрения 2.5 мм.

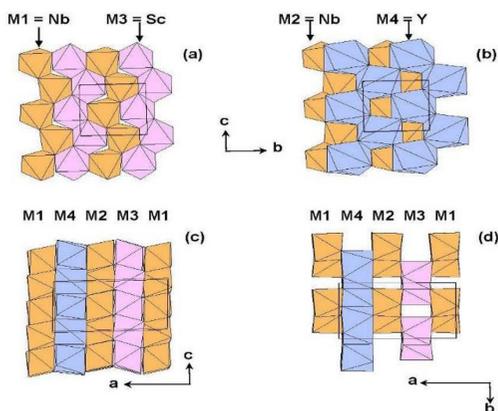


Рис. 9. Кристаллическая структура шахдараита-(Y). Показаны брукитовые цепочки, образованные октаэдрами M(1), M(2) и M(3), и слой Y-доминантных M(4)-полиэдров с 8-й координацией. Октаэдры M(1), M(2) – Nb-доминантные, M(3) – Sc-доминантные.

гор. округ, Свердловская обл., Северный Урал (Kasatkin et al., 2020). Люборжакит имеет черный цвет, металлический блеск (рис. 10). Моноклинный, пр.гр. $C2/m$, $a = 12.5077(6)$ Å, $b = 3.8034(2)$ Å, $c = 16.0517(8)$ Å, $\beta = 94.190(4)^\circ$, $V = 761.57(6)$ Å³, $Z = 4$. Назван в честь известного чешского кристаллографа и минералога XX века, специалиста по сульфосолям, профессора Карлова университета в Праге Любора Жака (1925–2008). Люборжакит является новым членом гомологического ряда павонита с $N = 5$. Кристаллическая структура люборжакита (рис. 11) содержит 10 кристаллографически неэквивалентных позиций: одна позиция полностью заселена атомами Sb, одна позиция – атомами Mn, пять позиций – атомами S, а также три позиции имеют смешанную заселенность (две As/Mn и одна Mn/Sb). Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферс-

мана РАН, образец FMM_1_97015 (рег. № 5557/1).

Авторы: Касаткин А.В., Plášil J., Makovicky E., Škoda R., Агаханов А.А., Степанов С.Ю.

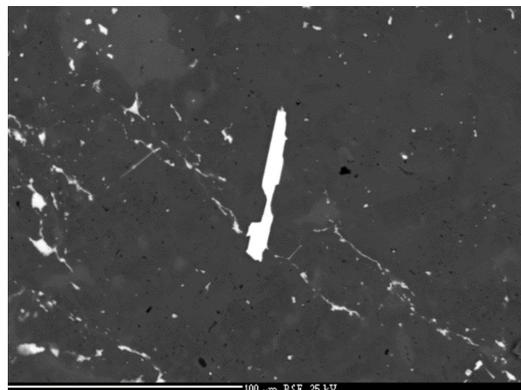


Рис. 10. Длиннопризматический кристалл люборжакита (белый) в агрегате карбонатов; этот кристалл был извлечен для рентгеноструктурного исследования минерала. Линейка 100 мкм. Фотография в отраженных электронах (BSE).

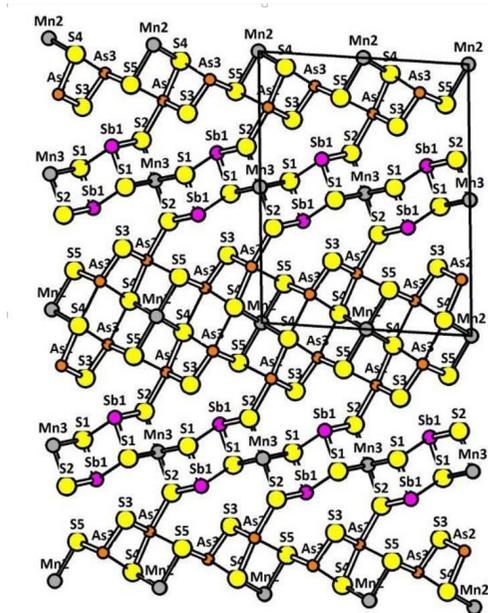


Рис. 11. Кристаллическая структура люборжакита в проекции вдоль оси b . Показаны только короткие, сильные межатомные связи.

Гунгерит. Gungerite. IMA 2020-009. $\text{TlAs}_5\text{Sb}_4\text{S}_{13}$.

Еще один новый таллиевый минерал, найденный на Воронцовском золоторудном месторождении, Краснотурьинский горный округ, Свердловская обл., Северный Урал (Касаткин и др., 2020). Минерал ярко-оранжевого цвета с жирным блеском (рис. 12). Гунгерит ромбический, пр.гр. $Pbcn$,



Рис. 12. Оранжевые мелкозернистые агрегаты гунгерита в известняковой брекчии с черным порошкообразным грейгитом. Размеры образца 5 x 4 см.

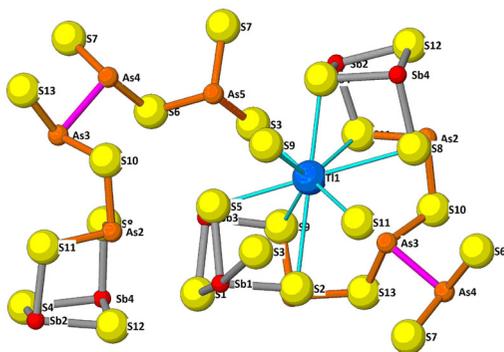


Рис. 13. Фрагмент структуры гунгерита с хелатной As-Sb-группой, в центре которой располагается атом таллия, связанный с пирамидой As5 соседней группы. Атомы S – желтые сферы, Tl – синяя сфера, Sb – красные сферы с серыми связями, As – коричневые сферы с коричневыми связями. Ковалентные As-As-связи показаны лиловым цветом.

$a = 20.1958(3) \text{ \AA}$, $b = 11.5258(2) \text{ \AA}$, $c = 20.1430(2) \text{ \AA}$, $V = 4688.74(12) \text{ \AA}^3$, $Z = 8$. Назван в честь горного инженера, краеведа и историка Северного Урала, бывшего директора Геологического музея им. Е.С. Федорова в г. Краснотурьинске Ю.В. Гунгера (1961 г.р.). Не имеет аналогов как по химическому составу, так и по кристаллической структуре. Гунгерит относится к весьма редкому классу субхалькогенидов, т.е. соединений, имеющих дефицит S по сравнению с «нормальными» сульфосолями и вызванный этим избыток общего положительного заряда. Кристаллическая структура гунгерита (рис. 13) является уникальной по сложности среди всех открытых нами на месторождении сульфосолей. Она содержит 23 кристаллографически неэквивалентных позиции: одна позиция полностью заселена атомами Tl, одна позиция – атомами Sb, три позиции – атомами As, и еще три позиции Sb и две As имеют смешанную

заселенность; оставшиеся 13 позиций заселены атомами S. Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97018 (рег. № 5518/1).

Авторы: Касаткин А.В., Plášil J., Makovicky E., Чуканов Н.В., Škoda R., Агаханов А.А., Цыганко М.В.

Ауэрбахит. Auerbakhite. IMA 2020-047. $MnTl_2As_2S_5$.

Также новый таллиевый минерал, открытый на Воронцовском золоторудном месторождении, Краснотурьинский гор. округ, Свердловская обл., Северный Урал. Ауэрбахит прозрачный, имеет ярко-красный цвет и алмазный блеск (рис. 14). Ромбический, пр.гр. *Sms*, $a = 15.3280(15) \text{ \AA}$, $b = 7.662(7) \text{ \AA}$, $c = 16.6330(14) \text{ \AA}$, $V = 1953.40(18) \text{ \AA}^3$, $Z = 8$. Назван в честь русского горного инженера, промышленника и минералога А.А. Ауэрбаха (1844–1916). В конце XIX века его деятельность была тесно связана с Северным Уралом. В частности, в 1884 году он основал Турьинское горное училище при Турьинских рудниках, а в 1881–1896 годах управлял Богословским горным округом, где развил и усовершенствовал медеплавильное производство. А.А. Ауэрбах выполнил несколько монографических описаний минералов, напечатанных в «Горном журнале», а также одним из первых в России применил микроскопический метод, тогда еще новый в том числе за границей, к исследованию минералов. Кристаллическая структура ауэрбахита (рис. 15) идентична структуре синтетической фазы $Tl_2MnAs_2S_5$. Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97127 (рег. № 5579/1).

Следует отметить, что ауэрбахитом также называется морфологическая разновидность циркона (тетрагональные бипирамиды), описанная Р. Германном в 1858 году в щелочных пегматитах Мариупольского массива (Украина). Ауэрбахит Германна был назван в честь Ивана Богдановича Ауэрбаха (1815–1867), профессора минералогии и хранителя минералогических коллекций Московского университета. Это историческое название, не являющееся видовым, присутствует в научной литературе, во многих словарях и учебниках, а также в каталогах минералогических музеев.

Авторы: Касаткин А.В., Plášil J., Makovicky E., Чуканов Н.В., Škoda R., Агаханов А.А., Степанов С.Ю.

Чукоткаит. Chukotkaite. IMA 2019-124. $AgPb_7Sb_5S_{15}$.

Чукоткаит был найден в долине реки Левый Вульвывеем, бассейн реки Амгуемы, Иульгинский

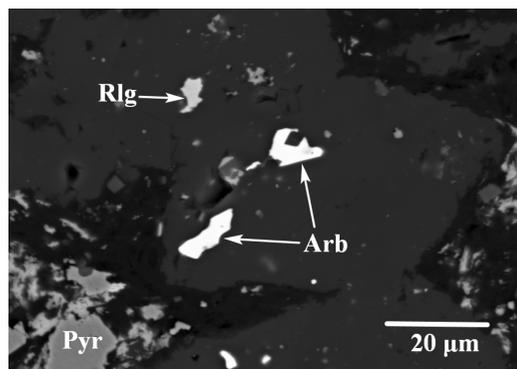


Рис. 14. Включения ауэрбахита (Arb) в кальците с реальгаром (Rlg) и пиритом (Pyr). Фотография в отраженных электронах (BSE).

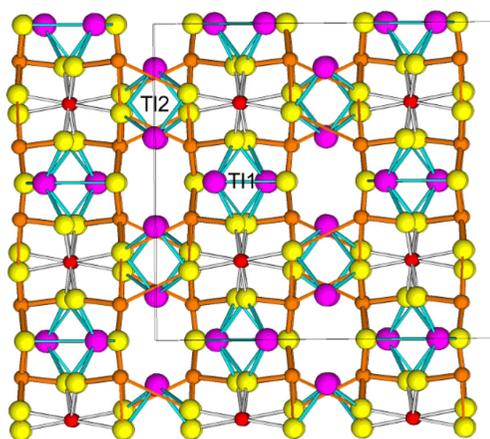


Рис. 15. Кристаллическая структура ауэрбахита в проекции вдоль [010]; ось *a* ориентирована вертикально, ось *c* – горизонтально. Колонки Mn-центрированных октаэдров (направлены перпендикулярно плоскости проекции, красные сферы) чередуются с координационными полиэдрами T1 (лиловые сферы) в слоях, параллельных плоскости (001). Катионы T2 (лиловые сферы) расположены в межслоевом пространстве. Атомы As и S пирамид As_3 показаны как оранжевые и желтые сферы соответственно.

район, Чукотский автономный округ, Северо-Восточный регион, Россия. Чукоткаит прозрачный минерал темно-серого цвета с металлическим блеском (рис. 16). Моноклинный, пр.гр. $P2_1/c$, $a = 4.0575(3) \text{ \AA}$, $b = 35.9502(11) \text{ \AA}$, $c = 19.2215(19) \text{ \AA}$, $\beta = 90.525(8)^\circ$, $V = 2803.7(4) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$ (Kasatkin et al., 2020a). Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97011 (рег. № 5467/1).

Авторы: Касаткин А.В., Plášil J., Makovicky E., Škoda R., Агаханов А.А., Чуканов Н.В., Власов Е.А., Пеков И.В.

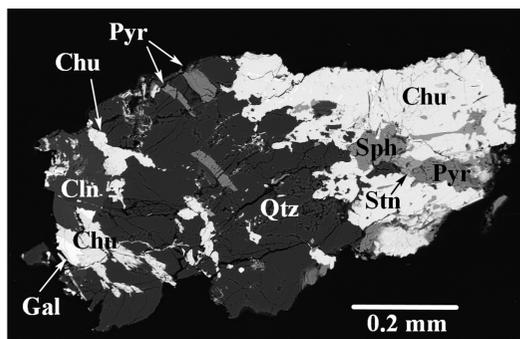


Рис. 16. Выделение чукоткаита (Chu) в сростании со сфалеритом (Sph), станнином (Stn), пирротинном (Pyr), галенитом (Gal), клинохлором (Cln) и кварцем (Qtz). Фотография в отраженных электронах (BSE).

Селениды:

Зайковит. Zaykovite. IMA 2019-084. Rh_3Se_4 .

Встречен в Казанской золотоносной россыпи, Гогинская россыпная зона, 100–150 км к ЮВ от Магнитогорска, Челябинская обл., Южный Урал. Селеновый аналог кингстонита. Образует вроски до 30 мкм в изоферроплатине (рис. 17). Моноклинный, пр.гр. $C2/m$, $a = 10.877(1)$, $b = 11.192(1)$, $c = 6.4796(6)$ Å, $\beta = 108.887(2)^\circ$, $V = 746.33$ Å³. Авторский материал хранится в коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97003 (рег. № 5395/1).

Авторы: Е.В. Белогуб, С.Н. Бритвин, В.В. Шиловских, Л.А. Паутов, В.А. Котляров, Е.В. Зайкова.

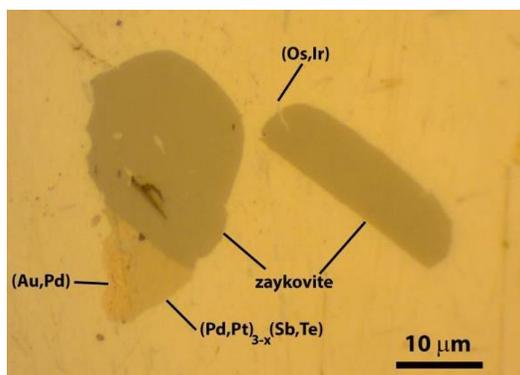


Рис. 17. Включения зайковита в изоферроплатине. Отраженный свет, в иммерсии.

Селенолаурит. Selenolaurite. IMA 2020-027. $RuSe_2$.

Найден в Ингульской золотоносной россыпи, Непряхинская россыпная зона, 25 км на СВ от Миасса, Челябинская обл., Южный Урал. Селеновый аналог лаурита. Образует сростания с само-

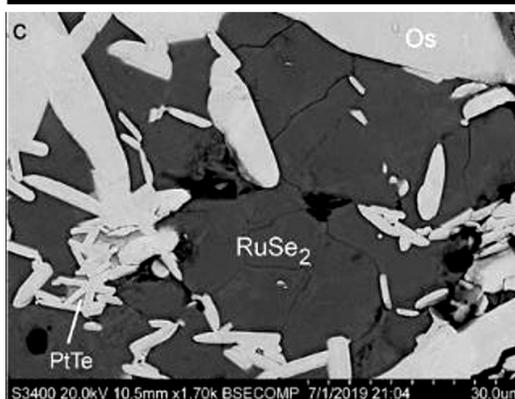
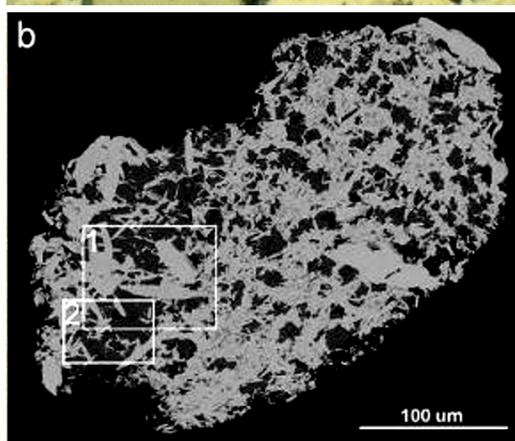
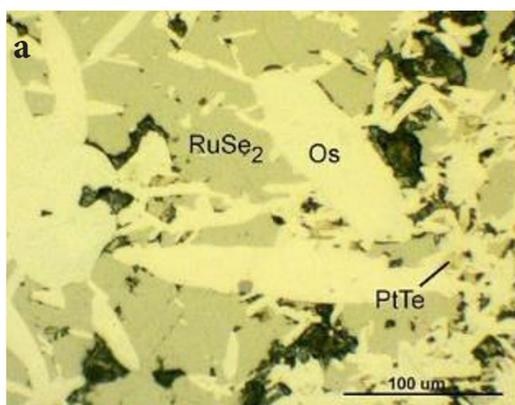


Рис. 18. Голотип селенолаурита ($RuSe_2$) и потенциально новый минерал Pt и Te (PtTe), цементирующие агрегат кристаллов осмия (Os): а – увеличенное изображение участка 1, отмеченного в рамке на рис. б, отраженный свет (в иммерсии); б – BSE-изображение зерна селенолаурита, содержащего пластинчатые кристаллы осмия; с – увеличенное BSE-изображение участка 2, отмеченного на рис. б, видны ксеноморфные выделения селенолаурита в интерстициях осмия; а, б – линейка 100 мкм, с – 30.0 мкм.

родным осмием (рис. 18). Кубический, пр.гр. $Ra\bar{3}$, $a = 5.9424(2)$ Å, $V = 209.84$ Å³. Авторский материал передан в коллекцию Естественно-научного музея

Ильменского заповедника, Миасс, регистрационный № 17503.

Авторы: Е.В. Белогуб, С.Н. Бритвин, В.В. Шиловских, Л.А. Паутов, В.А. Котляров, М.Г. Кржижановская, К.А. Новоселов, Е.В. Зайкова, И.А. Блинов.

Минералы других классов:

Попугаевит. Popugaevite. IMA 2019-115. $\text{Ca}_3[\text{B}_3\text{O}_6(\text{OH})_6]\text{FCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Минерал найден в кимберлитовой трубке Интернациональная, Мирнинское кимберлитовое поле, Западная Якутия. Это низкотемпературный гидротермальный минерал, сформировавшийся на контакте кимберлита и боросодержащей эвапоритовой породы, состоящей главным образом из галита. F-аналог брианрулстонита. Моноклинный, пр.гр. Pn, $a = 8.705(1)$, $b = 8.102(1)$, $c = 14.812(2)$ Å, $\beta = 91.367(7)^\circ$, $V = 1044.5(2)$ Å³, $Z = 2$. Назван в честь знаменитой советской исследовательницы, геолога Ларисы Анатольевны Попугаевой (1923–1977), одной из первооткрывателей кимберлитовых трубок и коренных месторождений алмаза в Якутии.

Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97010 (рег. № 5465/1).

Авторы: Пеков И.В., Зубкова Н.В., Чайковский И.И., Чуканов Н.В., Белаковский Д.И., Япаскурт О.В., Бычкова Ю.В., Ксенофонтов Д.А., Чиркова Е.П., Бритвин С.Н., Пушаровский Д.Ю.

Рабдоборит-(Мо). Rhabdobarite-(Mo). IMA 2019-012. $\text{Mg}_{12}\text{Mo}^{6+}_{1.3}\text{O}_6[\text{BO}_3]_2\text{F}_2$.

Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения, Толбачинский дол, Камчатка. Образует светло-желтые игольчатые кристаллы (рис. 19). Рабдоборит-(Мо) является молибденовым аналогом рабдоборита-(V) и рабдоборита-(W). Гексагональный, пр. гр. P6₃, $a = 10.6304(3)$ Å, $c = 4.5637(2)$ Å, $V = 446.63(3)$ Å³, $Z = 1$ (Rekov et al., 2020a). Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97009 (рег. № 5464/1).

Авторы: Пеков И.В., Зубкова Н.В., Кошлякова Н.Н., Белаковский Д.И., Азаханов А.А., Бритвин С.Н., Пушаровский Д.Ю.

Манганобадаловит. Manganobadalovite. IMA 2020-035. $\text{NaNaMn}(\text{MgFe}^{3+})(\text{AsO}_4)_3$.

Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения, Толбачинский дол, Камчатка. Манганобадаловит образует агрегаты призматических кристаллов на гематите (рис. 20). Минерал принадлежит к группе аллюодита в



Рис. 19. Многочисленные светло-желтые игольчатые кристаллы рабдоборита-(Мо), частично покрытые голубыми агрегатами кальцийохиллерита и мелкими черными кристаллами гематита, а также бежевые почки берцелиита на белом ангидрите. Ширина поля зрения 15 мм.

надгруппе аллюодита, является марганцевым аналогом бадаловита $\text{NaNaMg}(\text{MgFe}^{3+})(\text{AsO}_4)_3$ и магниогатертита $\text{NaNaCa}(\text{MgFe}^{3+})(\text{AsO}_4)_3$. Моноклинный, пр.гр. C2/c, $a = 15.1848(5)$ Å, $b = 12.8924(4)$ Å, $c = 6.6970(3)$ Å, $\beta = 113.113(5)^\circ$, $V = 967.60(7)$ Å³, $Z = 4$. Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97014 (рег. № 5787/1).

Авторы: Кошлякова Н.Н., Пеков И.В., Белаковский Д.И., Вигасина М.Ф., Зубкова Н.В., Азаханов А.А., Бритвин С.Н., Сидоров Е.П., Пушаровский Д.Ю.



Рис. 20. Скопления призматических оранжево-желтых до коричневатого-красных агрегатов кристаллов манганобадаловита с белым метатенардитом на темном стальном-сером гематите. Ширина поля зрения 2.8 мм.

Хасановит. Hasanovite. IMA 2020-033. $\text{KNa}(\text{MoO}_2)(\text{SO}_4)_2$.

Минерал найден в псевдофумароле на выходах горячих газов природного подземного угольного пожара в верховьях сая Кухи-Малик, вблизи

кишлака Рават, в пределах Фан-Ягнобского месторождения коксующегося каменного угля, Согдийская обл., Таджикистан. Минерал моноклинный, пр.гр. $P2_1/c$, $a = 9.6225(2)$, $b = 11.4049(3)$, $c = 8.1421(2)$ Å, $\beta = 99.179(1)^\circ$, $V = 882.10(4)$ Å³, $Z = 4$. Назван в честь Абдурахима Хасановича Хасанова (1933 г.р.), таджикского петрографа, минералога, профессора Таджикского университета, автора более 300 работ по минералогии, петрографии, металлогении Таджикистана. Структура хасановита представляет новый структурный тип (рис. 21). Она образована связанными между собой MoO_6 -октаэдрами и SO_4 -тетраэдрами, формирующими гофрированные слои. Эти слои пронизаны каналами вдоль оси a , которые заселены крупными катионами K , Na и примесного Tl . Типовой материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97124 (рег. № 5568/1).

Авторы: Мираков М.А., Паутов Л.А., Сийдра О.И., Махмадшариф С., Карпенко В.Ю., Плечов П.Ю.

Ермаковит. Ermakovite. IMA 2020-054. $(NH_4)(As_2O_3)_2Br$.

Новый оксидбромид аммония и мышьяка встречается, как и хасановит, в составе псевдофумарольных отложений, возникших при разгрузке газовых продуктов горения природного угольного пожара в верховьях сая Кухи-Малик, вблизи кишлака Рават, в пределах Фан-Ягнобского месторождения угля, Согдийская обл., Таджикистан. Ассоциирующие минералы – реальгар, бонацциит, нашатырь, аморфные сульфиды As (рис. 22). Гексагональный,

пр.гр. $R\bar{6}/mmm$, $a = 5.271(3)$, $c = 9.157(6)$ Å, $V = 220.3(3)$ Å³, $Z = 1$. Назван в честь Николая Порфирьевича Ермакова (1913–1993), профессора МГУ им. М.В. Ломоносова, основателя Музея земледелия МГУ. Н.П. Ермаков внес огромный вклад в становление и развитие отечественной школы по изучению газово-жидких включений. В 1930-е годы он работал в составе Таджикско-Памирской экспедиции и в рамках этих работ занимался изучением геологии Фан-Ягнобского месторождения, на котором и был найден новый минерал. В структурном отношении (рис. 23) ермаковит является бромовым аналогом недавно открытых маурициодинита $(NH_4)(As_2O_3)_2I$ и аммонийным и бромовым аналогом люкабиндита $(K,NH_4)(As_2O_3)_2(Cl,Br)$. Ермаковит дополнил ряд минералов с гексагональными слоями $[As_2O_3]_n$, которые можно объединить в одну группу. Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97019 (рег. 5525/1).

Авторы: Карпенко В.Ю., Паутов Л.А., Сийдра О.И., Мираков М.А., Махмадшариф С.

Куфарит. Kufahrite. IMA 2020-045. $PtPb$.

Минерал найден в россыпи ручья Ледяной, Гальмознанский массив, Корякское нагорье, Камчатка. Образует выделения в краевой части зерен изоферроплатины (рис. 24). Гексагональный, пр.гр. $P6_3/mmc$, $a = 4.2492(6)$ Å, $c = 5.486(6)$ Å, $V = 85.78$ Å³, $Z = 2$. Новый интерметаллид относится к группе никелина. Минерал назван в честь Фариды Шакировича Кутыева (1943–1993), геолога из Института вулканологии АН

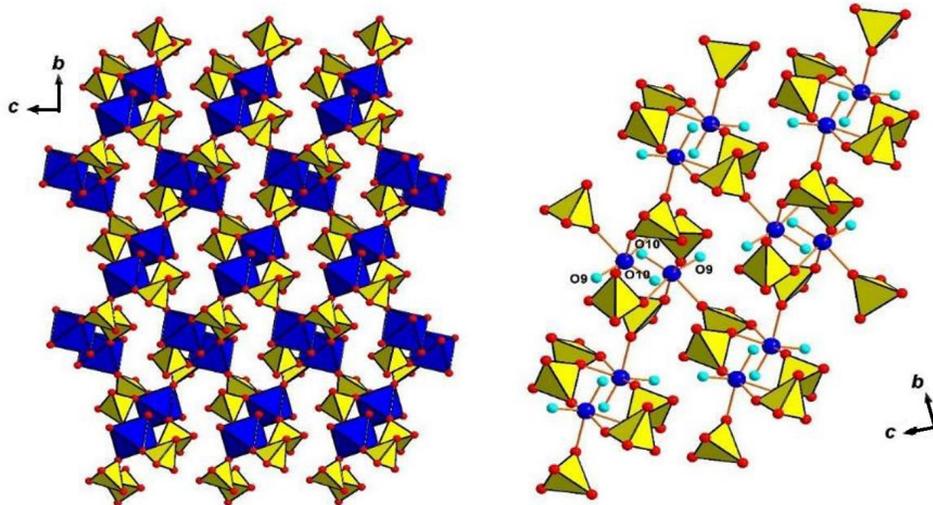


Рис. 21. Слева – полиэдрический $[MoO_2(SO_4)_2]^{2-}$ - слой в структуре хасановита (MoO_6 -октаэдры синие, SO_4 -тетраэдры желтые). Справа – увеличенный фрагмент слоя, образованный SO_4 -тетраэдрами и атомами кислорода O9 и O10 (показаны голубым цветом).

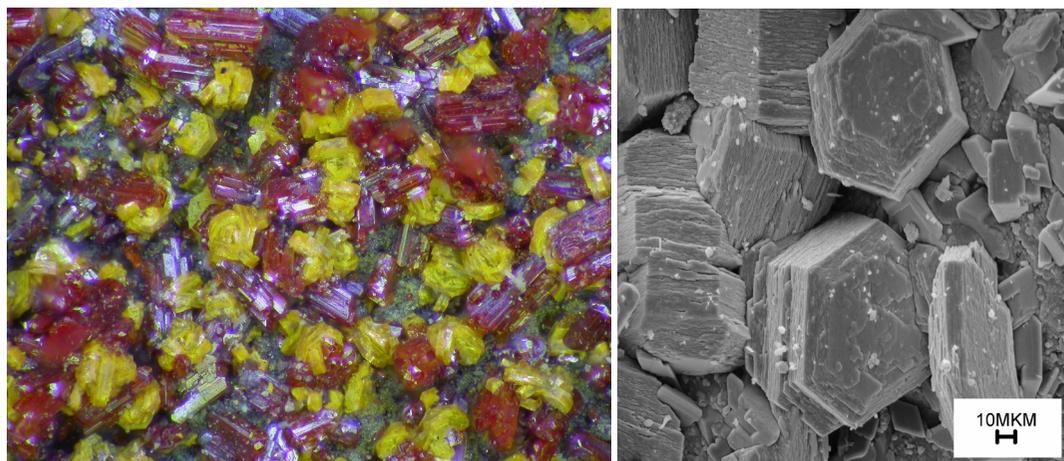


Рис. 22. Сферокристаллы ермаковита (желтые) в сростании с реальгаром, ширина поля зрения 2.5 мм (слева); сростки толстотаблитчатых гексагонально-призматических кристаллов ермаковита, фото в режиме вторичных электронов (SEI) (справа).

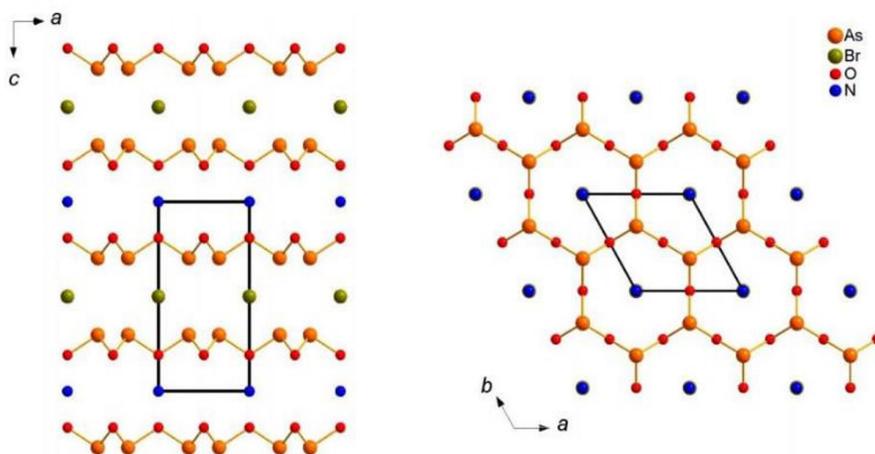


Рис. 23. Проекция структуры ермаковита на плоскости (010) и (001).

СССР, сыгравшего ключевую роль в открытии Корьякско-Камчатского платиноносного пояса, в том числе и россыпного месторождения платины Ледяной ручей. Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97126 (рег. № 5576/1).

Авторы: Сидоров Е.Г., Кутырев А.В., Житова Е.С. Агаханов А.А., Сандиминова А.В., Чубаров В.М.

Боярит. Bojarite. IMA 2020-037.
 $Cu_3(N_3C_2H_2)_3(OH)Cl_2 \cdot 6H_2O$.

Минерал найден на месторождении гуано, на северном склоне горы Пабельон де Пика (Pabellón de Pica) в 1.5 км к югу от деревни Чанабая (Chanabaya), провинция Икике, регион Тарапака, Чили (Chukanov et al., 2020b). Боярит образует ярко-синие корочки на нашатырь-галитовом

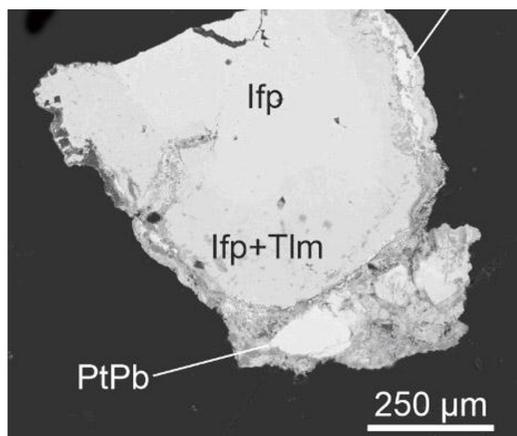


Рис. 24. Выделения куфарита (PtPb) в краевой части зерна изоферроплатины (Ifp) с туламинитом (Tlm). Фотография в отраженных электронах (BSE).

агрегате (рис. 25). Кубический, пр.гр. $Fd\bar{3}c$, $a = 24.8047(5) \text{ \AA}$, $V = 15261.6(5) \text{ \AA}^3$, $Z = 32$. Назван в честь известного австрийского минералога доктора Ханса-Петера Бояра (1967 г.р.). Авторский материал хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97040 (рег. № 5574/1).

Авторы: Чуканов Н.В., Möhn G., Зубкова Н.В., Ксенофонтов Д.А., Пеков И.В., Агаханов А.А., Бритвин С.Н., Desor J.



Рис. 25. Ярко-синие корочки боярита на нашатырь-галитовом агрегате. Темные выделения – очень тонкие пленки неидентифицированного оксида Mn. Ширина поля зрения 7 см.

Аммонитинслейит. Ammoniotinsleyite. IMA 2019-115. $\text{NH}_4\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Найден на месторождении гуано, на южном склоне горы Пабельон де Пика (Pabellón de Pica) в 1.5 км от деревни Чанабауа (Chanabaua), провинция Икике, регион Тарапака, Чили (Chukanov et al., 2020a). Это гипергенный минерал, ассоциирующий с галитом, гипсом, нашатырем и глинистыми минералами. Он образует мелкосферолитовые агрегаты размером до 3 мм в полостях в ассоциирующих минералах (рис. 26). Размер отдельных кристаллов не превышает 15 микрон. Аммонитинслейит имеет цвет от розового до бледно-фиолетового. Минерал моноклинный, пр.гр. $P2_1/n$, $a = 9.5871(1)$, $b = 9.6089(1)$, $c = 9.6467(2) \text{ \AA}$, $\beta = 103.446(1)^\circ$, $V = 864.31(2) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. Принадлежит к группе лейкофосфита. Кристаллическая структура аммонитинслейита уточнена на основе порошковых рентгеновских данных методом Ритвельда. В структуре аммонитинслейита атомы Al занимают две кристаллографически неэквивалентные позиции в октаэдрической координации. Кластеры из четырех AlO_6 -октаэдров (где два октаэдра соединены по ребрам, а два других присоединены вершинами к общему ребру первых двух) соединены через PO_4 -тетраэдры с формированием гетерополиэдрического псевдокаркаса с каналами вдоль оси b , в которых расположены крупные

ионы NH_4^+ и молекулы воды. Голотип хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, образец FMM_1_97016 (рег. № 5510/1).

Авторы: Чуканов Н.В., Möhn G., Пеков И.В., Зубкова Н.В., Ксенофонтов Д.А., Белаковский Д.И., Возчикова С.А., Бритвин С.Н., Desor J.



Рис. 26. Розовый аммонитинслейит с бесцветным гипсом. Ширина поля зрения 0.7 мм.

МИНЕРАЛОГИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Минералогия фумарол

При исследовании минерального разнообразия сотрудниками Минмузея большое внимание уделяется минералогии фумарол, в которых специфика минералообразования обусловлена уникальным для природных объектов сочетанием нескольких факторов: высокая температура при атмосферном давлении, газовый транспорт большинства компонентов, существенные температурный и геохимические градиенты. Это обуславливает появление ассоциаций очень редких минералов, иногда являющихся эндемичными для конкретных фумарольных полей.

Исследование минерального разнообразия фумарольных полей Толбачинского дола на Камчатке уже привело к открытию более 130 новых минералов (Pekov et al., 2020). Эта работа активно продолжается и приносит новые открытия. В 2018 году было открыто 10 новых минеральных видов (Плечов и др., 2019), в 2019-м – пять (Плечов и др., 2020). В 2020 году из фумарольных образований Толбачика изучены и утверждены IMA CNMNC два новых минеральных вида – рабдоборит- $(\text{Mo}) \text{Mg}_{12}\text{Mo}^{6+}_{1.3}\text{O}_6[\text{BO}_3]_6\text{F}_2$ (Pekov et al., 2020a) и манганобаддаловит $\text{NaNaMn}(\text{MgFe}^{3+})(\text{AsO}_4)_3$ (описания приведены выше). Такое минеральное разнообразие и своеобразие позволяет включить фумарольные поля Толбачинского дола в число ключевых минералогических объектов мирового уровня.

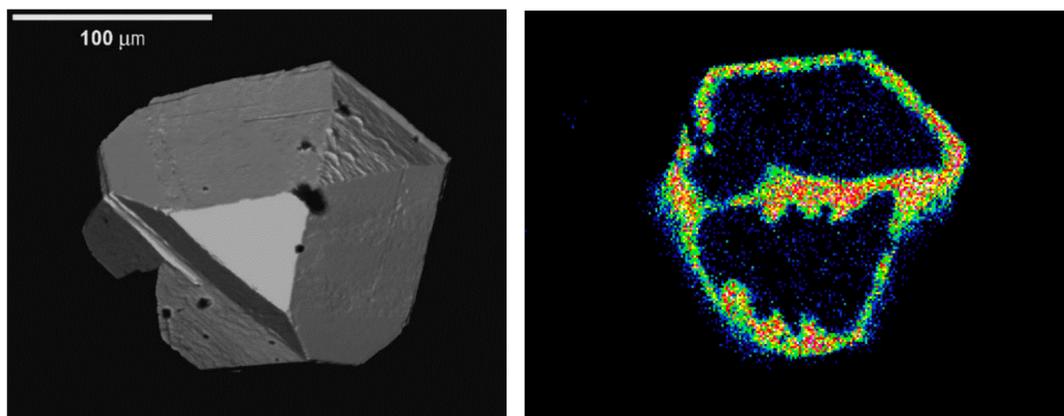


Рис. 27. Кристаллы киновари-тиманнита из вознонов Фан-Ягнобского месторождения (Мираков и др., 2020). Слева – изображение в режиме BSE, справа – карта распределения селена в сростке двух кристаллов. Синие окраски соответствуют низкому содержанию селена (киноварь), красные и желтые окраски соответствуют высокому содержанию селена (тиманнит).

В 2020 году продолжены исследования отложений псевдофумарол природного угольного пожара Фан-Ягнобского месторождения коксующегося каменного угля в правом борту долины р. Ягноб близ бывшего кишлака Рават, в верховьях урочища Кухи-Малик. Изучено и утверждено MMA CNMNC два новых минерала (хасановит и ермаковит). Впервые для месторождения описаны **киноварь** и **тиманнит**.

Киноварь (HgS) и тиманнит (HgSe) не были ранее описаны среди минералов угольных пожаров и крайне редко наблюдаются в фумаролах. На Фан-Ягнобском месторождении они встречаются в виде мелких кристаллов и их сростков на поверхности обожженных аргиллитов (Мираков и др., 2020). Внутренние части кристаллов сложены киноварью и не содержат селена, а внешние части кристаллов обогащены селеном и обеднены серой и по составу отвечают тиманниту (рис. 27).

Уточнены и дополнены результаты изучения **бонанциита** $\beta\text{-As}_4\text{S}_4$ – редкого полиморфа реальгара. На Фан-Ягнобском месторождении он образует сростки кристаллов в ассоциации с ермаковитом и другими минералами мышьяка (рис. 28).

Минералогия щелочных массивов

В группе эвдиалита в настоящее время насчитывается 30 минеральных видов, два из которых были открыты в 2019–2020 годах на российских минералогических объектах с участием сотрудников Минмузея. В Ловозерском щелочном массиве (Мурманская область, Россия) в высокоагпаитовых фойяитах был открыт и изучен новый член группы эвдиалита сергеванит $\text{Na}_{15}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})3\cdot\text{H}_2\text{O}$ (Chukanov et al., 2020), а в пегматитовой жилке в щелочно-ультраосновном



Рис. 28. Клиновидные кристаллы бонанциита с элементами скелетного роста, выросшие в местах разгрузки газовых струй, поле зрения 1 мм.

массиве Одихинча (Красноярский край, Россия) – одихинчаит $\text{Na}_{10}\text{Sr}_3\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{73}(\text{OH})_3(\text{CO}_3)\cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Редкоземельная минерализация Мочалина Лога (Вишневогорский щелочной массив, Южный Урал, Россия) насчитывает 51 минеральный вид, восемь из которых открыты в этом объекте в последние годы сотрудниками Минмузея. Это редкоземельное проявление возникло в результате фенитизации гранито-гнейсового и пегматитового субстрата в экзоконтакте щелочной интрузии Потаниных гор в северной части Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса. Редкоземельная минерализация описана в полиминеральных овоидах. Минералы здесь очень часто образуют тонкие сростания и во многих случаях характеризуются значительной внутрифазовой неоднородностью.

На территории других стран СНГ сотрудниками Музея изучаются щелочные массивы Кир-

гизии (Джелисуьйский, Ходжаачканский, Матчинский) и Таджикистана (Дарай-Пиёзский). В 2020 году на Дарай-Пиёзском массиве обнаружен и изучен новый редкоземельный минерал дуткевичит-(Ce) $\text{NaZnBa}_2\text{Ce}_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\cdot\text{F}\cdot\text{H}_2\text{O}$, цинковый аналог кольцевого силиката белоруссита-(Ce) (Agakhanov et al., 2020).

Проведено физико-химическое изучение природных водных ортофосфатов магния – **бобьерита** $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и **ковдорскита** $\text{Mg}_2(\text{PO}_4)\text{OH}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ из Ковдорского щелочно-ультраосновного массива (Кольский полуостров, Россия) методами порошковой рентгенографии, инфракрасной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния и термического анализа.

На дифференциальном сканирующем калориметре NETZSCH DSC 204 F1 измерены энтальпии дегидратации, на высокотемпературном теплопроводящем микрокалориметре Тиана-Кальве «Сетарам» методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения определены энтальпии образования из элементов Δ_f (298.15 K) бобьерита (-6167 ± 16 кДж/моль) и ковдорскита (-3251 ± 10 кДж/моль). Оценены величины их стандартных энтропий и энергии Гиббса образования.

Для уточнения последовательности удаления воды из ковдорскита и бобьерита было проведено ИК-спектроскопическое исследование продуктов их поэтапного нагревания (рис. 29). Показано, что при нагревании ковдорскита до $T = 550$ K удаляется кристаллизационная вода и частично гидроксильные группы, при нагревании до 730 K происходит полная дегидроксилизация минерала и дальнейшая его дегидратация с образованием фосфатного стекла.

Минералогия рудных месторождений

Систематически изучено и детально охарактеризовано минеральное разнообразие руд Воронцовского золоторудного месторождения (Свердловская область, Россия), включающая уникальную таллиевую минерализацию (Касаткин и др., 2020). Воронцовское месторождение локализовано среди порфиритов и туфов андезитового состава, туффитов и известняков раннедевонского возраста, местами скарнированных под воздействием Ауэрбаховского массива. По разнообразию и своеобразию Tl–Hg–Mn–As–Sb–S-минерализации Воронцовское золоторудное месторождение является уникальным не только в России, но и в мире. Всего на месторождении установлено 209 минералов, включая восемь новых минеральных видов, открытых нашими сотрудниками: воронцовит, ферроворонцовит, цыганкоит, гладковскиит, люборжакит, походяшинит, гунгерит и ауэрбахит. Четыре сульфосоли, три из

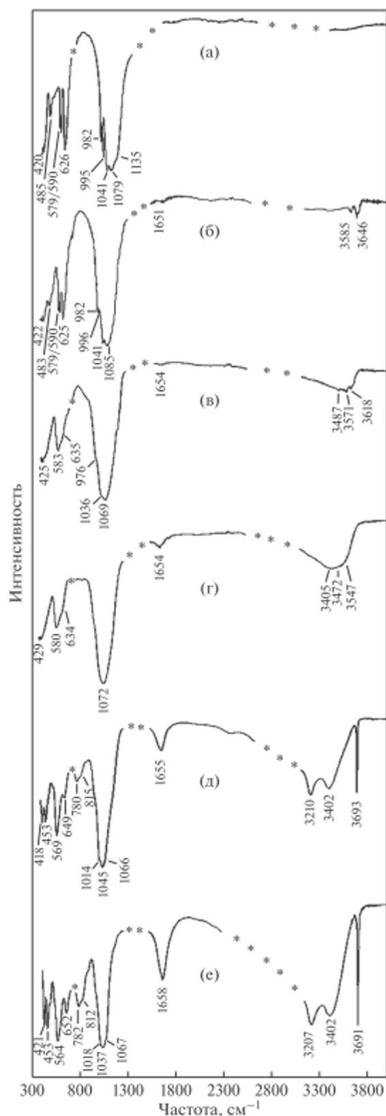


Рис. 29. Спектры ИК-поглощения ковдорскита (е) и продуктов его нагревания до $T = 550$ (д), 730 (r), 810 (в), 980 (б) и 1140 K (а).

которых являются минералами таллия – люборжакит $\text{Mn}_2\text{AsSbS}_5$ (Kasatkin et al., 2020), походяшинит $\text{Cu}_2\text{Tl}_3\text{Sb}_5\text{As}_2\text{S}_{13}$ (Касаткин и др., 2020), гунгерит $\text{TlAs}_5\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ (Касаткин и др., 2020) и ауэрбахит $\text{MnTl}_2\text{As}_2\text{S}_5$ (Kasatkin et al., 2021), были открыты в 2020 году.

Помимо этого, 89 минералов впервые описаны для Воронцовского месторождения, из них 40 – впервые найдены на территории Российской Федерации. Систематическое исследование руд этого объекта позволило установить в них девять наиболее устойчивых минеральных ассоциаций, семь из которых приурочены к карбонатным рудным брекчиям. В них диагностировано более 70

редких сульфидов, теллуридов и сульфосолей, 30 из которых содержат Tl, 12 – Hg и девять – Mn в качестве видообразующих элементов.

При изучении минералогии Сарановского месторождения хромитов (Горнозаводский район, Пермский край, Средний Урал), известного с 30-х годов XIX века, были открыты и исследованы два минерала – член группы кричтонита сарановскит $\text{SrCaFe}^{2+}_2(\text{Cr}_4\text{Ti}_2)\text{Ti}_{12}\text{O}_{38}$ (Chukanov et al., 2020c) и пополнивший группу пумпеллиита шуйскит-(Cr) $\text{Ca}_2\text{CrCr}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_6(\text{OH})](\text{OH})_2\text{KNa}_3(\text{SO}_4)_2$ (Lykova et al., 2020). Минеральный вид, ранее называвшийся шуйскитом, теперь переименован в шуйскит-(Mg).

В россыпных золотоносных и платиноносных месторождениях Южного Урала (Челябинская обл.) были обнаружены и изучены два новых минерала – селениды металлов платиновой группы. В Казанской золотоносной россыпи Гогинской россыпной зоны открыт новый минерал, селеновый аналог кингстонита зайковит Rh_3Se_4 . Другой новый селенид, селенолаурит RuSe_2 , аналог лаурита, был найден в Ингульской золотоносной россыпи Непряхинской россыпной зоны. Эти открытия дополнили минералогию селена и платиноидов. В Гальмознанском массиве (Коряжское нагорье, Камчатка), в россыпи ручья Ледяной, был обнаружен новый минерал платины – интерметаллид платины и свинца куфарит PtPb (Sidorov et al., 2021). Все минералы утверждены Комиссией ММА и описаны выше.

Два новых минерала открыты на месторождениях гуано горы Пабельон де Пика в Северном Чили. Этот объект уникален тем, что скопления гуано здесь залегают непосредственно на рудоносном (обогащенном халькопиритом) габбро. Боярит $\text{Cu}_3(\text{N}_3\text{C}_2\text{H}_2)_3(\text{OH})\text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ пополняет список природных металлоорганических соединений (Chukanov et al., 2020b), а аммонитинслейит $\text{NH}_4\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Chukanov et al., 2020a) – фосфат, принадлежащий к группе лейкофосфита.

Минералогия кимберлитовых месторождений

В кимберлитовой трубке Интернациональная, Мирнинское кимберлитовое поле, Западная Якутия, на контакте кимберлита и борсодержащей эвапоритовой породы, состоящей главным образом из галита, открыт новый минерал попугаеваит $\text{Ca}_3[\text{B}_3\text{O}_6(\text{OH})_6]\text{FCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Он находится в виде прожилков мощностью до 0.7 мм в массивном агрегате екатеринита или корочек на нем.

Было проведено изучение граната кимберлитовой породы из той же трубы Интернациональная – прецизионные исследования включений в ксенокристаллах Cr-содержащего пирропа. В результате найдены и описаны два новых мине-

рала, принадлежащих к группе кричтонита, мирныйит $\text{SrZr}^{4+}(\text{Ti}^{4+}_{12}\text{Cr}^{3+}_6)\text{Mg}_2\text{O}_{38}$ и ботубинскит $\text{SrFe}^{2+}(\text{Ti}^{4+}_{12}\text{Cr}^{3+}_6)\text{Mg}_2[\text{O}_{36}(\text{OH})_2]$, рассмотренные в разделе 1.

Внутреннее строение кубических кристаллов алмаза месторождения им. М.В. Ломоносова

В 2020 году проводилось описание кристаллов алмаза кубического габитуса, типоморфных для месторождения им. М.В. Ломоносова (Архангельская обл., Россия) (Кудрявцева и др., 2005). Для исследования из всего разнообразия кубических кристаллов трубки Архангельская и трубки им. Карпинского-1 были отобраны прозрачные визуально однородные желтые, оранжево-коричневые различной интенсивности окраски кубы с ровными или седловидными гранями, комбинационные кристаллы с гранями куба и тетрагексаэдроида (рис. 30). Масса кристаллов 0.04–0.40 карата. Алмазы шлифовались параллельно плоскости (100) на 1/2 объема кристалла с целью раскрытия их внутреннего строения. По принятой в России минералогической классификации Ю.Л. Орлова (1984), эти кубы относятся к разновидности II, однако, по внутреннему строению и дефектно-примесному составу визуально однородные желтоокрашенные кристаллы кубического габитуса из месторождения им. М.В. Ломоносова могут быть разделены на три морфогенетические группы (табл. 1).

В 1-ю группу алмазов выделены кубы с ровными поверхностями граней или с комбинацией граней тетрагексаэдроида и куба. Окраска от желтой до оранжево-коричневой. В этих кристаллах высокое содержание азота в форме C-центра (до 275 at. ppm), A- и B-центры отсутствуют (либо C-центр с незначительным проявлением центров A). Группа представлена 10 образцами (кристаллы № 1785-2-5, 1785-2-6, A186, A199, A94 и др.). Люминесценция в катодных лучах голубая слабая, фотолюминесценция – интенсивная желтая, желто-зеленая, оранжевая. Спектр содержит полосы 350, 396, 570 нм. По преобладанию C-дефекта эти алмазы относятся к разновидности II по классификации Ю.Л. Орлова.

Для алмаза 1-й группы характерны параллельные полосы, ориентированные параллельно {111}, и красное свечение CCL, связанное с наличием следов пластической деформации, регистрируемых в спектрах ЭПР (рис. 31) по центрам N2, M2. Кристаллы имеют однородное волокнистое строение или являются оболочкой большей толщины для первичного зародыша кубической или октаэдрической формы. Изотопный состав углерода –4,9‰, т.е. в этих кубах значительна доля глубинного мантийного углерода.

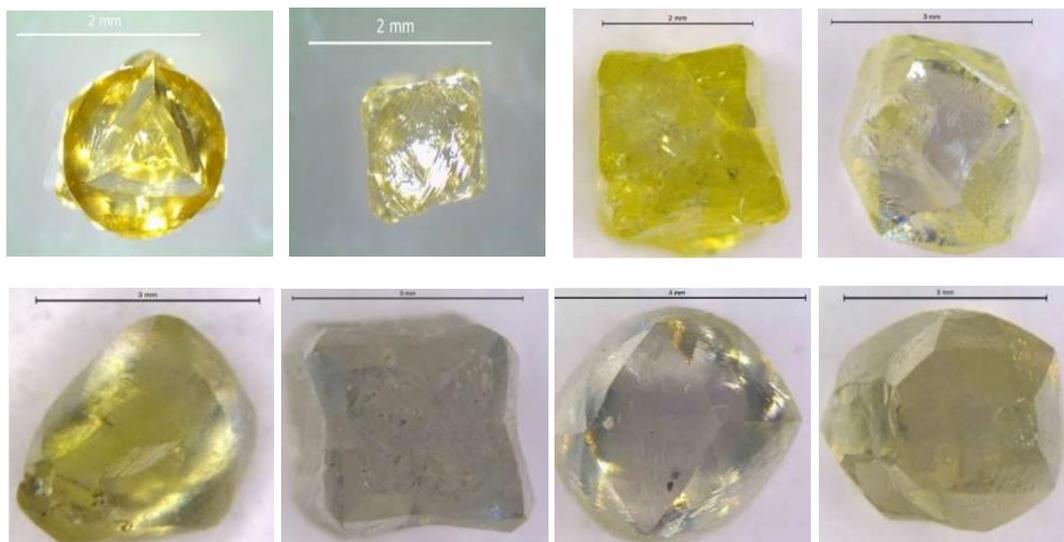


Рис. 30. Фотографии кристаллов, типоморфных для трубок южной группы тел месторождения им. М.В. Ломоносова.

Таблица 1. Данные цветной катодолюминесценции, ИК-спектроскопии и изотопного состава углерода алмаза кубического габитуса из трубки Архангельская

Группа кристалла	№ кристалла	Фото кристалла	Фото ЦКЛ	Внутреннее строение	Зона кристалла	Данные ИКС, ат. ppm						Флуоресцентная классификация	δ ¹³ C, ‰	Данные ФЛС		
						N _c	N _A	N _B	P	RzP, см ⁻¹	H			N3	Другие пики	
I	A94; A1791; 1785-2-0			Однородное строение с плоскостной деформацией	Зона кристалла	центр	178	0	0	0	-	0	Ib	-4,9	N3	350, 396, 570
	Оболочка; A186; A1786															
	край	275	0	0	0	-	1	-4,9	N3, S3							
II	1786-2-26-2; 1787-3-4; A19			Однородное	Зона кристалла	центр	80	360	0	-	-	1,6	Ia+Ib	-4,1	N3, H3	512, 503-570
	край	87	726													
III	A26; 1791-5-2; 1787-26-2			Зональность по кубу	Зона кристалла	центр	0	1100	497	5	1378	4/27	IAB	-9,8	N3, H3, S3	313, 319, 347*, 396-400, 420, 500, 649, 471*, 488*, 650*, 671*, 517, 536, 570 *только в кристалле с H3
	край	0	785													
	A2; 1786-27			Кубическое ядро	Зона кристалла	центр	0	754	212	4,7	1368	1,3	IAB	-5,4	N3	482, 517
	край	0	1000													
	A29			Октаэдрическое ядро	Зона кристалла	центр	0	950	130	0,6	1362	3	IAB	-7,1	N3	317, 400, 482, 515
край	0	1200	221													
Многогранная зональность					Зона кристалла	центр	0	784	265	4	1378	1		-8,4	N3	430, 517, 522

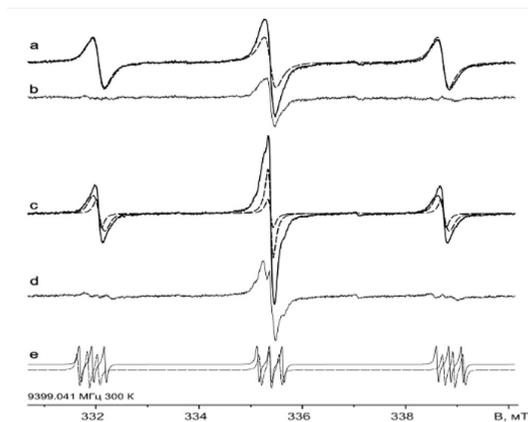


Рис. 31. Модельные компоненты (пунктирные линии спектров ЭПР на а и с) при $B \parallel [001]$ дефектных алмазов A199 и A94 (a, b), обр. A186 (c, d); с и d – остаточный спектры после удаления сигнала P1-центров, сплошные линии – экспериментальные спектры, пунктир – расчетные спектры P1-центров. Для сравнения даны рассчитанные для ориентации $B \parallel [001]$ спектры ЭПР M2- (сплошная линия) и M3-центров (пунктир) пластически деформированных алмазов по данным (Mineeva et al., 2009).

Ко 2-й группе относятся прозрачные желтые различной интенсивности окраски алмазы кубического габитуса с седловидными гранями (с крупными глубокими отрицательными тетрагональными ступенчатыми пирамидами), реже с дополнительными поверхностями тетрагексаэдра (кристаллы № A19, 1786-26-1, 1787-3-4). Кристаллы обладают синим свечением в лучах ССЛ, характеризуются фибриллярным однородным внутренним строением. Фотолуминесцентное свечение слабое белесое, обусловленное наличием N3-дефекта (415 нм), и слабым проявлением N3-дефекта в области 503–570 нм.

Для них характерно среднее содержание азотных дефектов в А- и С-форме ($300 < N_{tot} < 1000$ at.ppt), при этом значительно доминирует азот в форме А и отсутствуют центры В и Р. Это типичные алмазы разновидности II по классификации Ю.Л. Орлова. Кроме известных систем поглощения А, В, Р, 3107 см^{-1} , в спектрах поглощения кубических кристаллов без системы Р проявляются слабо исследованные полосы на частотах 1353, 1363, 1374 см^{-1} , причем полоса 1363 см^{-1} иногда встречается индивидуально (Васильев и др., 2011). Пример спектра с этими полосами приведен на рис. 32. Полоса 1363 см^{-1} не идентична полосе Р, так как имеет меньшую ширину, кроме того, система Р при низких коэффициентах поглощения располагается в диапазоне $1380\text{--}1370 \text{ см}^{-1}$. Природа этих полос поглощения требует дальнейшего

исследования. Также в спектрах некоторых кубических кристаллов желтого цвета регистрируется набор узких полос на частотах 3310 см^{-1} , 3188 см^{-1} , 3144 см^{-1} , 2945 см^{-1} .

Типовой спектр поглощения с указанными дополнительными пиками, а также спектр поглощения с распространенной системой 3107 см^{-1} приведен на рис. 33. Наличие этих полос поглощения делает уникальным спектр ИК-поглощения данных алмазов и позволяет идентифицировать кристаллы месторождения им. М.В. Ломоносова. Алмазы 2-й группы имеют самый тяжелый изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$ центр/край = 4.1/4.4‰).

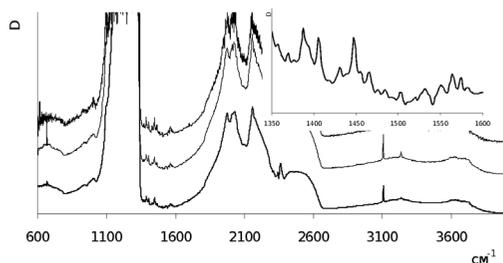


Рис. 32. ИК-спектры поглощения кристаллов с группой полос поглощения в диапазоне $1350\text{--}1600 \text{ см}^{-1}$ (на вставке). Алмазы из трубки им. Карпинского-1, обр. КЗ-5, 3-20, 3-10.

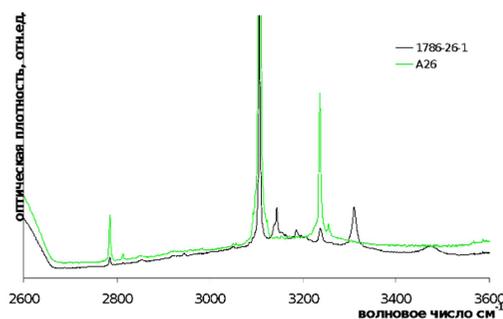


Рис. 33. Спектры оптической плотности алмаза 1786-26-1 с набором узких полос в диапазоне колебаний группы СН- и обычный спектр поглощения в этом диапазоне, кристалл А26.

3-я группа алмазов характеризуется желтой или желто-коричневой окраской, они прозрачны или полупрозрачны, наличие ядра определяется только с помощью ЦКЛ и выражается в разной интенсивности синего (от голубого до темно-синего) свечения. Они имеют сложное зональное строение и, по-видимому, имели наиболее длительную эволюцию на мантийном уровне.

На картинах ЦКЛ видно, что эти кристаллы сложены зонами различной геометрии и имеют

затравку (очень мелкое октаэдрическое ядро) с зонально-секториальным строением. В наиболее сложном случае мы видим многостадийное преобразование формы. Мелкое октаэдрическое ядро имеет послонную октаэдрическую зональность. Центральная кубическая зона образована при смешанном механизме роста (при одновременном развитии кубических и октаэдрических секторов и постепенном выклинивании последних). Далее идет однородное наращивание кристалла по нормальному механизму с постепенным падением концентрации азота. На четвертом этапе происходит резкое выклинивание кубических секторов роста и приобретение алмазом октаэдрической формы. После этого, видимо, наблюдался перерыв в алмазообразовании, и на заключительном этапе формирования алмаза образовалась плотная оболочка с нормальным механизмом роста, которая и придала конечный кубический облик алмазу.

В центральной зоне – ядро октаэдрической или кубической формы, в котором присутствуют азотные дефекты в форме А- и В-центров. Внешняя зона этих кристаллов (оболочка) сформирована при нормальном или смешанном механизме роста. По данным ИКС все кристаллы 3-й группы высокоазотные: $900 < N_{tot} < 1750 \text{ at.ppm}$ (кр.ст. № А26, А29, 1791-5-2, 1786-26-2, 1786-27, 1794-1, 1794-2, А141). Отмечается следующая закономерность. Кристаллы с кубическим зародышем в оболочке содержат только А-дефект, алмазы с многократной прямолинейной зональностью по кубу в оболочке и в ядре имеют дефекты в А- и В-форме, а образцы с октаэдрическим ядром в волокнистой оболочке имеют дефекты в форме А-, В-, С-центров. В ИК-спектре 30% кристаллов 3-й группы фиксируется полоса $1362\text{--}1378 \text{ см}^{-1}$. В некоторых кристаллах зоны с нормальным, тангенциальным и смешанным механизмом роста повторяются 2–3 раза.

Люминесценция очень яркая и разнообразная по цвету. Сложность строения отражена и в спектрах фотолюминесценции, содержащих, помимо основных (N3, S3, H3), полосы с максимумами 313, 347, 396, 411, 482, 500, 649, 671 нм. По спектрам ФЛ и ИК эти кристаллы можно отнести к разновидности III по классификации Ю.Л. Орлова, а по наличию ядра – к IV. Наиболее легкий состав углерода ($\delta^{13}\text{C} = -9.8\%$) наблюдается в кубах с нормальным механизмом роста и прямолинейной зональностью по кубу в лучах CCL. В зональных кристаллах отмечена закономерность незначительного утяжеления изотопного состава углерода по направлению к краю ($\delta^{13}\text{C}$ центр/край = $-7.1\text{--}5.4\%$ и $-9.8\text{--}8.4\%$).

Формирование внешне сходных кубических кристаллов в трубках Архангельская и им. Карпинского-1 свидетельствует о пересыщенных

условиях на последних этапах кристаллизации алмазного вещества. Однако они характеризуются различным внутренним строением, составом и распределением структурно-примесных дефектов, что обуславливает их подразделение на три морфогенетические группы: 1) кубы с однородным строением, содержат дефекты в виде одиночных атомов азота и деформационные центры; 2) кристаллы с однородным внутренним строением, азотными дефектами в А- и С-форме и дополнительными пиками в диапазонах $1374\text{--}1354$ и $3310\text{--}2945 \text{ см}^{-1}$; 3) кубы с центральной зоной, образованной по тангенциальному или нормальному механизму роста, с различным распределением азота в С-, А-, В-формах.

Широкое разнообразие форм внутреннего строения алмаза позволяет предположить сложную многоэтапную историю их кристаллизации в условиях многократно изменяющегося химизма среды. Для алмаза 1-й группы кубического габитуса с волокнистым строением и высокими концентрациями дефекта С характерны более низкие температуры роста и формирование на заключительной стадии алмазообразования. Кубы 2-й группы с доминированием А-центра над С-, видимо, формировались в более глубинных условиях с большим содержанием в среде тяжелого изотопа углерода (^{13}C) и азота, т.к. их концентрация значительно выше. Эти кристаллы подверглись кратковременному отжигу. Незначительное увеличение содержания изотопа ^{13}C в алмазах третьей группы с А- и В-формами азотных дефектов говорит об образовании на относительно более ранней стадии алмазообразования из источника углерода, близкого по составу. Это, возможно, обусловлено различием изотопного состава верхней мантии и последующим непродолжительным отжигом, что при сохранении С-центра способствовало образованию азотных дефектов в А- и В-формах и проявлению дефектов S3 в спектрах ФЛ. По наличию А- и В-центров и высоким концентрациям азота в форме А эти кристаллы по условиям роста можно поместить между октаэдрическими, додекаэдрическими алмазами разновидности I и кубическими, описанными в 1-й и 2-й группе.

Микровключения в алмазах из месторождения им. М.В. Ломоносова

Большое количество микровключений характерно для додекаэдрических, тетрагексаэдрических и переходных между ними по форме кристаллов алмаза пониженной прозрачности (рис. 34). Фотографии высокого разрешения получены для кристаллов с плоскими природными гранями, а также для кристаллов с полированными плоскостями. В алмазах наблюдались темные и светлые точечные включения, не видимые невооружен-

ным глазом, снижающие степень прозрачности кристаллов.

Из отобранных кристаллов были сделаны плоскопараллельные пластины и проведен рентгеноспектральный микроанализ 17–20 включений в каждой пластине. Для получения представительного состава включений, характеризующего кристалл, проведено усреднение значений (табл. 2). Оказалось, что кристаллы алмаза различной морфологии содержат различный набор микровключений.

В алмазах морфологического типа октаэдр-додекаэдроид встречаются микровключения, распределенные в объеме кристаллов и снижающие их прозрачность. По данным рентгеноспектрального анализа они характеризуются карбонатно-силикатным составом с повышенной K-Na-составляющей и железистостью (табл. 2).

Алмазы тетрагексаэдрического габитуса часто

замутнены из-за рассеянных в объеме микровключений. ИК-спектроскопия таких алмазов показала, что общая концентрация примесного азота в алмазах кубической формы варьирует в широких пределах: с 170 до 2100 at.ppm, со средней степенью агрегации азота ($B = 34\%$) и высокими коэффициентами поглощения водорода и карбонатных фаз. В микровключениях преобладают алюмосиликатные фазы с высоким содержанием оксида титана (до 8.8 мас.%).

Среди алмазов кубического габитуса месторождения им. М.В. Ломоносова встречаются непрозрачные желтые кристаллы с толстой оболочкой, которые называют «эмалевыми кубами». В спектрах ИК-поглощения регистрируются полосы силикатных фаз. Преобладание алюмосиликатных микровключений подтверждается рентгеноспектральным анализом (табл. 2), карбонатные фазы отмечаются в незначительных количествах.



Рис. 34. Фотографии кристалла алмаза кубического габитуса, плоскопараллельная пластина по (110): а – общий вид (линейка 500 мкм), б – фрагмент кристалла с рассеянными микровключениями (линейка 0.2 мм).

Таблица 2. Средние составы микровключений в кристаллах алмаза различного габитуса из трубок Архангельская и им. Карпинского-1

Форма кристалла алмаза	Средние составы микровключений											
	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	MgO	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	BaO
Тетрагексаэдроид	0.0	15.0	0.3	3.4	39.6	9.9	4.8	2.4	8.8	0.0	9.0	6.8
Октаэдр	0–4.2	25/ 10–40	1.2/ 0–2.5	3.0/ 0–6	8.8/ 7–12	1.7/ 0–4.7	17/ 10–30	17/ 2–28	2/ 2.4–3.3	0–0.2	22/ 5–40	0.7
Алмаз в оболочке. тонкая оболочка	4.0	8.6	0.2	6.2	36.5	3.4	12.0	16.2	2.4	0.0	0.0	10.5
Алмазы в оболочке. толстая оболочка	5.2/ 4–5	7.0/ 5–10.5	1.6/ 1.2–2.0	1.5/ 0.7–2.5	11/ 9.2–12	4.4/ 4–4.7	27/ 10–35	23/ 20–28	3.7/ 3.3–4.2	0.1	13.5/ 9–21	1.7/ 0.7–2.8
Плотный эмалевый куб	1.3/ 0.3–1.6	9/ 6.8–10	0.5/ 0–1	9.5/ 6.5–15	52/ 49–61	1.7/ 0.2–2.7	4.5/ 2.6–5.7	8/ 5–9.4	2.8/ 1.2–3.3	0	11/ 10–25	0

Примечание. SO₃, Br отсутствуют. Числитель – среднее значение, знаменатель – минимальное и максимальное значения.

Таким образом, алмазы различной морфологии из трубок Архангельская и им. Карпинского-1 существенно различаются набором микровключений. Для кубоидов и тетрагексаэдроидов характерны существенно карбонатные составы микровключений, а кубические кристаллы в оболочках преимущественно содержат алюмосиликатные и силикатно-карбонатные включения.

Минералогия редкометалльных гранитных пегматитов

Получены новые данные по минералогии *редкометалльных гранитных пегматитов Намангутского пегматитового поля* (крайний ЮЗ Памир, Ишкаимский р-н ГБАО, Таджикистан). В его геологическом строении принимает участие верхнетриасовая толща филлитовидных сланцев и кварцитов, прорванных массивами двуслюдяных гранитов, крупной дайкой микродиоритов и жильными дериватами гранитов – пегматитовыми и кварцевыми жилами. Характерным акцессорным минералом пегматитов является **циркон** в виде кристаллов и их сростков размером до 0.1 мм. Определен химический состав циркона (эл. микронзондовый анализатор JXA-733, Si(Li)-детектор и система анализа INCA Oxford), получены изображения в режиме BSE (Мираков и др., 2020). Для минерала характерно повышенное содержание гафния и урана. Если, как правило, для циркона отношение $\text{HfO}_2/\text{ZrO}_2$ равно 0.01, в намангутском оно больше на порядок, а UO_2 определяется в количестве от 1.3 до 2.7 (среднее 2.21) мас.%. Это связано, по-видимому, с изоморфным входением урана в циркон, хотя возможна и очень тонкая механическая примесь урановых фаз. В некоторых кристаллах встречаются относительно крупные собственно урановые фазы (уранинит?). Кроме того, в кристалле циркона найдены включения Th–Ca-фосфата, по составу близкого брукиту ($\text{Ca,Th,REE}(\text{PO}_4)_2\cdot\text{H}_2\text{O}$).

В *миароловом гранитном пегматите Лесхозовский, правый борт реки Шахдары* (приток реки Гунт) в среднем течении (ЮЗ Памир, Рошткалинский р-н ГБАО, Таджикистан) открыт и изучен новый минерал шахдараит-(Y) ScYNb_2O_8 (Pautov et al., 2020). Он относится к структурному архетипу брукита, описание, фотографии и чертежи структуры приведены в разделе 1.

Дополнены данные по минералогии *миароловых гранитных пегматитов Ранкульского пегматитового поля* на Восточном Памире, ГБАО, Таджикистан. Детально описаны находки **висмутоколумбита** VbNbO_4 , найденного в виде кристаллов до 2 см в миароловых полостях пегматитовых жил Мика и Малыш и в виде вростков размером 20–30 мкм в Sc-содержащем колумбите-Mn в сростании с эшинитом-(Y) в околомарольном

комплексе пегматита Дорожный (Паутов и др., 2020). По-видимому, наше описание висмутоколумбита является вторым после описания его в пегматите Данбуритовый в Ц. Забайкалье (Перетяжко и др., 1992). Кристаллы измерены на гониометре. Определены их физические свойства и химический состав, приведены рентгеновские порошковые граммы. Обсуждаются возможные причины большей редкости висмутоколумбита по сравнению со стибикоколумбитом и их Ta-аналогами.

Минералогия метеоритов

Изучение метеоритного вещества в Минмузее РАН было возобновлено в 2018 году после большого перерыва. К настоящему времени в метеоритном веществе описано 470 минералов, среди которых 79 минералов-эндемиков – характерных только для определенного класса метеоритов (Rubin, Ma, 2020). Основная метеоритная коллекция Музея, организованная еще В.М. Севергиным и накапливавшаяся более ста лет, в 1930-х годах была передана в Комитет по метеоритам АН СССР. В 1939 году в этот же комитет перешли все сотрудники Музея, занимавшиеся метеоритным веществом (Л.А. Кулик, Е.Л. Кринов и другие). Исследования метеоритного вещества в Музее прекратились на несколько десятилетий.

Собственная коллекция метеоритов, тектитов и импактитов была заново воссоздана в Музее в 2007 году, но ее минералогическая изученность пока остается недостаточной, поэтому была начата систематическая научная ревизия этой коллекции. В 2018 году Минмузей РАН получил официальный международный статус регистратора метеоритов, что дало возможность описания и изучения нового метеоритного вещества уже на новом уровне. В 2020 году сотрудник Музея А.А. Агаханов участвовал в экспедиции по сбору метеоритов на территории Чили и последующем изучении собранного материала.

На 2020 год в коллекции метеоритов, тектитов и импактитов о Музея было 188 образцов, среди которых 109 образцов метеоритов, 57 образцов импактитов и 22 образца тектитов. За 2018–2020 годы Минмузей РАН описал и зарегистрировал 18 новых метеоритов, регистрационные массы которых вошли в нашу коллекцию (табл. 3). Работа по регистрации новых метеоритов позволила добавить в основной фонд Музея 1737.4 г метеоритного вещества. Большинство новых метеоритов относится к обыкновенным хондритам, но также нами были описаны и зарегистрированы уреилит главной группы NWA 13135 и углистый хондрит редкой подгруппы CV3r NWA12590.

Ревизия имеющегося в коллекции материала показала, что 51 образец относится к обыкновенным хондритам (H – 24, L – 15, LL -12), 4 образца

– к углистым хондритам (СМ – 1, CV – 3), а энстатитовые хондриты в коллекции отсутствуют. Железные метеориты представлены 31 образцом различных групп, в том числе 5 образцов не отнесены к какой-либо группе. В коллекции есть 13 образцов палласитов (преимущественно это метеорит Сеймчан), 2 мезосидерита, 1 говардит, 1 эвкрит и 1 лунный метеорит.

В результате детального минералогического изучения метеоритов в основной фонд Музея были также добавлены образцы трех редких минеральных видов: это **добреелит** FeCr_2S_4 , **кушироит** $\text{CaAl}[\text{AlSiO}_6]$ и **гроссманиит** $\text{CaTi}^{2+}[\text{AlSiO}_6]$. При детальном изучении кальций-алюминиевых включений в углистом хондрите NWA12590 был выявлен ряд богатых молибденом интерме-

Таблица 3. Метеориты, зарегистрированные Минмузеем РАН в 2018–2020 годах

Метеорит	Тип	Общая масса (г)	Масса образца в Музее (г)	Год регистрации	Владелец основной массы
Ngare Sero	Обыкновенный хондрит L5	2230	106	2018	Власов К.А.
Chug Chug 003	Обыкновенный хондрит H4	8918	206	2018	Непомилуев М.Е.
Calama 022	Обыкновенный хондрит L6	32000	61	2018	Крячко Т.В.
NWA 12578	Обыкновенный хондрит LL6	415	166	2019	Васильев С.П.
Sierra Gorda 012	Обыкновенный хондрит H4	1100	98	2019	Чаплыгин И.В.
NWA 12590	Углистый хондрит CV3г	1805	44	2019	Васильев С.П.
Chug Chug 010	Обыкновенный хондрит H5	224.5	31.8	2019	Чаплыгин И.В.
Calama 032	Обыкновенный хондрит H5	28	5.6	2019	Непомилуев М.Е.
Calama 033	Обыкновенный хондрит H6	126.4	27	2019	Крячко Т.В.
Calate 017	Обыкновенный хондрит L5	1900	46	2019	Непомилуев М.Е.
Sierra Gorda 022	Обыкновенный хондрит L5	97.5	19	2019	Чаплыгин И.В.
Sierra Gorda 023	Обыкновенный хондрит L6	2090	289	2019	Чаплыгин И.В.
Chug Chug 013	Обыкновенный хондрит H5	37.3	7	2019	Чаплыгин И.В.
Chug Chug 014	Обыкновенный хондрит L4	780	50	2019	Чаплыгин И.В.
Chug Chug 015	Обыкновенный хондрит H5-6	3055	475	2019	Чаплыгин И.В.
NWA 13135	Уреилит	58.3	13	2020	Васильев С.П.
Chug Chug 044	Обыкновенный хондрит L4	62	62	2020	Чаплыгин И.В.
NWA 13529	Обыкновенный хондрит H4	1690	31	2020	Васильев С.П.

таллидов, среди которых зафиксированы гексагональные минералы: гексамолибден, богатый молибденом осмий, богатый молибденом рутений (Kopovalova et al., 2021). Кроме этого, в сростаниях с уже известными интерметаллидами методом EBSD удалось выявить два потенциально новых минерала (интерметаллид Mo, Ir, Ru и Os куб. сингонии и интерметаллид Ru, Ir, Mo и Os ромб. сингонии), богатую молибденом разновидность самородного железа (куб. сингония) и богатую молибденом разновидность самородного никеля (куб. сингония) (Kopovalova et al., 2021a).

В метеорите Dhofar 922 (обыкновенный хондрит L6), демонстрирующем высокую степень ударного метаморфизма (S6), была изучена минералогия ударно-расплавных жил (Бажан и др., 2020). В этих жилах встречены относительно крупные (до 100–200 мкм) фиолетовые в проходящем свете округлые выделения рингвудита состава Fo66. В некоторых выделениях оливина в ударных жилах краевые зоны также сложены рингвудитом. Мэйджорит образует микрокристаллические агрегаты в стекле ударных жил вместе с каплевидными вкраплениями Fe-Ni-металла и троилита. Маскелит в ударных жилах находится в сростках с жадеитом и образуется по плагиоклазу. Фазовый состав подтвержден микрозондовыми анализами и рамановской спектроскопией. Формирование ударных жил происходило при давлении более 19 ГПа и температуре более 2150–2300 °С (Бажан и др., 2020).

Типохимизм оливина в скарнах и кальцифирах

Несколько лет назад нами были систематизированы находки экстремально магнезиального оливина ($Fo_{>96}$) в магматических породах (Plechov et al., 2018). Было показано, что экстремально магнезиальный оливин формируется исключительно в результате низкотемпературных процессов (например, окисление или диффузионный обмен). Некоторые зерна экстремально магнезиального оливина в магматических породах могут являться ксенокристаллами, захваченными из вмещающих скарнированных пород (Plechov et al., 2017). При попытке сравнения состава оливина в магматических породах и карбонатно-силикатных метаморфических породах оказалось, что данные о составе оливина скарнов и силикатных мраморов (кальцифиров) в мировой литературе практически отсутствуют, поэтому в 2020 году нами было впервые проведено систематическое изучение состава оливина скарнов и силикатных мраморов. Для оливина из образцов коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН были выполнены высокоточные микрозондовые анализы и анализы LA-ICPMS (Nekrylov et al., 2021). Магне-

зиальность оливина скарнов и силикатных мраморов варьирует от 86 до 100. Впервые выявлены главные отличия этого оливина от оливина других генетических типов: аномально низкие содержания кобальта (< 51 г/т), хрома (> 5 г/т) и никеля (< 44 г/т) при высоком содержании бора (23–856 г/т). Впервые выявлены значимые корреляции содержания фосфора с суммарной концентрацией лития и натрия, а также корреляция содержаний РЗЭ и натрия. Это подтверждает механизм вхождения в структуру оливина примесных концентраций высокозарядных катионов с компенсацией заряда одновалентными катионами. Выявленные особенности состава оливина магнезиальных скарнов и силикатных мраморов могут помочь диагностировать генезис ксенокристов оливина в кимберлитах и других карбонатно-силикатных магматических породах.

Включения в минералах

В 2020 году были опубликованы результаты изучения сульфидных и силикатных включений в оливине примитивных высокомагнезиальных базальтов Камчатского мыса (Камчатка, Россия) (Korneeva et al., 2020). Сульфидные жидкости аккумулируют халькофильные металлы и могут участвовать в формировании рудных месторождений. Сульфидные жидкости фиксируются в расплавных включениях большинства примитивных базальтов, что подтверждает несмешимость сульфидных и силикатных расплавов в условиях земной коры. Документация сульфидных включений сопровождалась изучением сосуществующих включений силикатного расплава и хромшпинелида. Охарактеризован состав силикатных расплавов, от которых отделялись сульфидные жидкости, а также рассчитаны условия равновесия: фугитивность кислорода ($\Delta QFM = +0.1 \pm 0.16$ (1 σ) лог. ед.) и температура, менявшаяся в диапазоне (1200–1285 °С).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2020 году сотрудники Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН получили значимые научные результаты по всем основным направлениям минералогических исследований. За год было открыто 24 новых минеральных вида, что больше, чем в любой другой научной организации мира. В 2018 году нашими сотрудниками было открыто 29 минеральных видов, а в 2019–2021 годах Минмузей РАН упрочил свои лидирующие позиции. Фумаролы Толбачинского дола на Камчатке обеспечивали существенный вклад в открытия новых минералов последних лет. В этом году таких минералов только два, но общее количество компенсировано новыми минералами из других

минералогических объектов, как российских, так и зарубежных. Подавляющее большинство авторских образцов пополнило систематическую коллекцию Минмузея, и эта коллекция авторских образцов новых минеральных видов продолжает оставаться самой большой и наиболее полной в мире.

Были подведены промежуточные итоги многолетнего минералогического изучения фумарол Толбачинского дола (Pekov et al., 2020), в результате которого на этом уникальном минералогическом объекте было описано свыше 350 минеральных видов, в том числе 124 минеральных вида здесь открыты. Кроме этого, были описаны породообразующие минералы с аномальными высокими содержаниями необычных для них изоморфных примесей (мышьяк и фосфор в оливине, мышьяк в калиевом полевом шпате, мышьяк, медь и фосфор в лейците и другие), что является существенным вкладом не только в минералогию и кристаллохимию, но и в геохимию.

Систематически описана уникальная редко-

земельная минерализация Мочалина Лога на Южном Урале (Kasatkin et al., 2020b). В результате этой работы было охарактеризовано 37 редкоземельных минералов, восемь из которых утверждены CNMNC IMA как новые минеральные виды.

Было продолжено детальное минералогическое изучение алмазов Архангельской алмазоносной провинции, Воронцовского золоторудного месторождения на Северном Урале и многих других уникальных минералогических объектов, находящихся на территории Российской Федерации. Кроме этого, продолжено минералогическое изучение зарубежных минералогических объектов, материал которых поступил в Музей в предыдущие годы.

В Минмузее РАН возобновлена после долгого перерыва систематическая работа по изучению метеоритного вещества. Это позволило существенно расширить метеоритную коллекцию Музея, описать и добавить в систематическую коллекцию несколько редких минеральных видов и обнаружить два потенциально новых минерала.

Список литературы:

- Бажан И.С., Литасов К.Д., Бадюков Д.Д. Фазы высокого давления в L6 хондрите Dhofar 922: кристаллизация оливин-рингвудитовых агрегатов и жадеита из расплава // Геология и геофизика. 2020. Т. 61(3). С. 301–311.
- Касаткин А.В., Степанов С.Ю., Цыганко М.В., Шкода Р., Нестола Ф., Плашил Я., Маковицки Э., Агаханов А.А., Паламарчук Р.С. Минералогия Воронцовского золоторудного месторождения (Северный Урал). Часть 1: история изучения, минеральные ассоциации, кадастр минеральных видов // Минералогия. 2020. Т. 6(4). С. 3–34.
- Кудрявцева Г.П., Посухова Т.В., Вержак В.В., Веричев Е.М., Гаранин В.К., Головин Н.Н., Зуев В.М. Атлас: Морфогенез алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов и родственных им пород Архангельской алмазоносной провинции. 1-е изд. М.: Полярный круг. 2005. 624 с.
- Мираков М.А., Паутов Л.А., Махмадишириф С., Карпенко В.Ю., Шодибеков М.А. Первая находка ртутных минералов – тиманнита и киновари в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2020. Т. 54. Вып. 4. С. 96–106.
- Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Мираков М.А., Алиазаров У.С., Шодибеков М.А., Искандаров Ф.Ш. О висмуткоколумбите из миароловых гранитных пегматитов на Восточном Памире // Новые данные о минералах. 2020. Т. 54. Вып. 1. С. 26–37.
- Плечов П.Ю., Пеков И.В., Белаковский Д.И., Паутов Л.А., Касаткин А.В., Агаханов А.А., Моисеев М.М., Карпенко В.Ю., Нехрылов Н.А., Гриценко Ю.Д., земельная минерализация Мочалина Лога на Южном Урале (Kasatkin et al., 2020b). В результате этой работы было охарактеризовано 37 редкоземельных минералов, восемь из которых утверждены CNMNC IMA как новые минеральные виды.
- Было продолжено детальное минералогическое изучение алмазов Архангельской алмазоносной провинции, Воронцовского золоторудного месторождения на Северном Урале и многих других уникальных минералогических объектов, находящихся на территории Российской Федерации. Кроме этого, продолжено минералогическое изучение зарубежных минералогических объектов, материал которых поступил в Музей в предыдущие годы.
- В Минмузее РАН возобновлена после долгого перерыва систематическая работа по изучению метеоритного вещества. Это позволило существенно расширить метеоритную коллекцию Музея, описать и добавить в систематическую коллекцию несколько редких минеральных видов и обнаружить два потенциально новых минерала.
- 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.
- Плечов П.Ю., Белаковский Д.И., Паутов Л.А., Пеков И.В., Касаткин А.В., Агаханов А.А., Карпенко В.Ю., Нехрылов Н.А., Гриценко Ю.Д., Гаранин В.К., Карпов А.О., Герасимов В.Ю. Важнейшие научные результаты Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана в 2019 году // Новые данные о минералах. Т. 54. Вып. 3. С. 74–95.
- Chukanov N.V., Aksenov S.M., Pekov I.V., Belakovskiy D.I., Vozchikova S.A., Britvin S.N. Sergevanite, $\text{Na}_{15}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula // Canadian Mineralogist. 2020. V. 58(4). P. 421–436.
- Chukanov N.V., Möhn G., Pekov I.V., Zubkova N.V., Ksenofontov D.A., Belakovskiy D.I., Vozchikova S.A., Britvin S.N. & Desor J. Ammoniotinsleyite, $(\text{NH}_4)\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a new mineral species from the guano deposit at Pabellón de Pica, Iquique Province, Chile // Mineralogical Magazine. 2020a. V. 84(5). P. 705–711.
- Chukanov N.V., Möhn G., Zubkova N.V., Ksenofontov D.A., Pekov I.V., Agakhanov A.A., Britvin S.N., Desor J. Bojarite, $\text{Cu}_3(\text{N}_3\text{C}_2\text{H}_2)_3(\text{OH})\text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, a new mineral species with a microporous metal-organic framework from the guano deposit at Pabellón de Pica, Iquique Province, Chile // Mineralogical Magazine. 2020b. V. 84(6). P. 921–927.
- Chukanov N.V., Rastsvetaeva R.K., Kazheva O.N., Ivanov O.K., Pekov I.V., Agakhanov A.A., Van K.V., Shcherbakov V.D., Britvin S.N. Saranovskite, $\text{SrCaFe}^{2+}_2(\text{Cr}_4\text{Ti}_2)\text{Ti}_1\text{O}_{38}$, a new richtonite-group mineral // Physics and Chemistry of Minerals. 2020c. V. 47(11). P. 1–11.
- Gritsenko Y.D., Chukanov N.V., Aksenov S.M., Pekov I.V.,

- Varlamov D.A., Pautov L.A., Vozchikova S.A., Ksenofontov D.A., Britvin S.N. Odikhinchaite, $\text{Na}_9\text{Sr}_3[(\text{H}_2\text{O})_2\text{Na}] \text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{NbSi} (\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}(\text{OH})_3(\text{CO}_3)\cdot\text{H}_2\text{O}$, a New Eudialyte-Group Mineral from the Odikhincha Intrusion, Taimyr Peninsula, Russia // *Minerals*. 2020. V. 10. №1062.
- Kasatkin A.V., Makovicky E., Plášil J., Škoda R., Agakhanov A.A., Stepanov S.Y., Palamarchuk R.S. Luboržákité, $\text{Mn}_2\text{AsSbS}_3$, a new member of pavonite homologous series from Vorontsovskoe gold deposit, Northern Urals, Russia // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84(5). P. 738–745.
- Kasatkin A.V., Makovicky E., Plášil J., Škoda R., Agakhanov A.A., Chaikovskiy I.I., Vlasov E.V., Pekov I.V. Chukotkaite, AgPb7Sb5Si15 , a new sulfosalt mineral from Eastern Chukotka, Russia // *Canadian Mineralogist*. 2020a. V. 58(5). P. 587–596.
- 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 ferriperboeite-(La), $(\text{CaLa})_2(\text{Fe}^{3+}\text{Al}_2\text{Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_7]_2[\text{SiO}_4]_3\text{O}(\text{OH})_2$ and perboeite-(La), $(\text{CaLa}_3)(\text{Al}_3\text{Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_7]_2[\text{SiO}_4]_3\text{O}(\text{OH})_2$ // *Mineralogical Magazine*. 2020b. V. 84(4). P. 593–607.
- Kasatkin A.V., Plášil J., Makovicky E., Chukanov N.V., Škoda R., Agakhanov A.A., Stepanov S.Y., Palamarchuk R.S. Auerbakhite, $\text{MnTl}_2\text{As}_2\text{S}_5$, a new thallium sulfosalt from the Vorontsovskoe gold deposit, Northern Urals, Russia // *Journal of Geosciences*. 2021. V. 66(2). P. 89–96.
- Kasatkin A.V., Zubkova N.V., Pekov I.V., Chukanov N.V., Škoda R., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Britvin S.N., Pushcharovskiy D.Yu. The mineralogy of the historical Mochalin Log REE deposit, South Urals, Russia. Part IV. Alexkuznetsovite-(La), $\text{La}_2\text{Mn}(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)_2$, alexkuznetsovite-(Ce), $\text{Ce}_2\text{Mn}(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)_2$, and biraité-(La), $\text{La}_2\text{Fe}^{2+}(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)_2$, three new isostructural minerals and a definition of the biraité group // *Mineralogical Magazine*. 2021a. V. 85(5). P. 772–783.
- Kononova K.A., Plechov P.Y., Litasov K.D., Shcherbakov V.D., Vasiliev S.P. Mineralogy of the Complex Refractory Metal Nuggets in B1 Type CAI from CV3-Chondrite Northwest Africa 12590. In *Lunar and Planetary Science Conference*. 2021. No. 2548. P. 1961.
- Kononova K.A., Plechov P. Y., Litasov K.D., Shcherbakov V.D. Ruthenium-Dominated Phases in the Heterogeneous Refractory Metal Nuggets in Calcium-Aluminium Inclusions in the CV3R Chondrite Northwest Africa 12590 // *LPI Contributions*. 2021a. 2609. 6152.
- Korneeva A.A., Nekrylov N., Kamenetsky V.S., Portnyagin M.V., Savelyev D.P., Krashenninikov S.P., Abersteiner A., Kamenetsky M.B., Zelenski M.E., Shcherbakov V.D., Botcharnikov R.E. Composition, crystallization conditions and genesis of sulfide-saturated parental melts of olivine-phyric rocks from Kamchatsky Mys (Kamchatka, Russia) // *Lithos*. 2020. V. 370. 105657.
- Lykova I., Varlamov D., Chukanov N., Pekov I., Belakovskiy D., Ivanov O., Zubkova N., Britvin S. Chromium Members of the Pumpellyite Group: Shuiskite-(Cr), $\text{Ca}_2\text{CrCr}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_6(\text{OH})](\text{OH})_2\text{O}$, a New Mineral, and Shuiskite-(Mg), a New Species Name for Shuiskite // *Minerals*. 2020. V. 10(5). 390.
- Mineeva R.M., Titkov S.V., Speransky A.V. Structural defects in natural plastically deformed diamonds: evidence from EPR spectroscopy // *Geology of Ore Deposits*. 2009. V. 51(3). P. 233–242.
- Nekrylov N., Plechov P.Y., Gritsenko Y.D., Portnyagin M.V., Shcherbakov V.D., Aydov V.A., Garbe-Schönberg D. Major and trace element composition of olivine from magnesian skarns and silicate marbles // *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*. 2021. V. 106(2). P. 206–215.
- Pekov I.V., Agakhanov A.A., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Shchipalkina N.V., Sandalov E.D., Yapaskurt V.O., Turchkova A.G., Sidorov E.G. Oxidizing-Type Fumaroles of the Tolbachik Volcano, a Mineralogical and Geochemical Unique // *Russian Geology and Geophysics*. 2020. V. 61(5/6). P. 675–688.
- Pekov I.V., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Belakovskiy D.I., Agakhanov A.A., Viganina M.F., Britvin S.B., Sidorov E.G., Pushcharovskiy D.Y. Rhabdoborite-(V), rhabdoborite-(Mo) and rhabdoborite-(W): a new group of borate minerals with the general formula $\text{Mg}_{12}\text{M}_{1-33}\text{O}_6[(\text{BO}_3)_6-x(\text{PO}_4)_x\text{F}_{2-x}]$ ($\text{M} = \text{V}^{5+}, \text{Mo}^{6+}$ or W^{6+} and $x < 1$) // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2020a. Vol. 47. №10.
- Plechov P.Y., Nekrylov N. A., Shcherbakov V.D., Tikhonova M.S. Extreme-Mg olivines from venancite lavas of Pian di Celle volcano (Italy) // *Doklady Earth Sciences*. 2017. Vol. 474. No. 1. P. 507–510.
- Plechov P.Y., Shcherbakov V.D., Nekrylov N.A. Extremely magnesian olivine in igneous rocks. *Russian Geology and Geophysics*. 2018. Vol. 59(12). P. 1702–1717.
- Rubin A., & Ma C. Meteorite Mineralogy. *Oxford Research Encyclopedia of Planetary Science*. 2020. 49 p. doi:10.1093/acrefore/9780190647926.013.205
- Sidorov E.G., Kuttyrev A.V., Zhitova E.Z., Agakhanov A.A., Sandimirova E.I., Vymazalova A., Chubarov V.M., Zolotarev A.A. Kufahrhite, PtPb, a new mineral from Ledyanoy Creek placer, Galmoenan ultramafic complex, Koryak Highlands, Russia // *Mineralogical Magazine*. 2021. Vol. 85. P. 254–261.