

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ ИМ. А.Е.ФЕРСМАНА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 549.1, 549.2, 553.6, 553.8, 553.2
№ госрегистрации АААА-А18-118022890106-4
Инв. №



УТВЕРЖДАЮ

Директор Минмузея РАН

П.Ю. Плечов

«28» декабря 2020 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по программе ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 годы пункт 125:

Фундаментальные проблемы развития литогенетических, магматических,
метаморфических и минералообразующих систем, а также пункт 130:

Рудообразующие процессы, их эволюция в истории Земли, металлогенические эпохи
и провинции и их связь с развитием литосферы. Условия образования и
закономерности размещения полезных ископаемых

по теме:

РАЗНООБРАЗИЕ МИНЕРАЛОВ И ИХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ: НОВЫЕ ДАННЫЕ,
РАЗВИТИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

(промежуточный)

Руководитель темы
доктор геол.-мин. наук,
профессор РАН






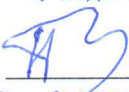
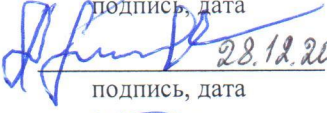


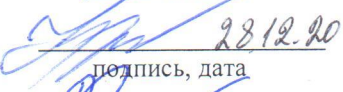



28.12.20

подпись, дата

П.Ю. Плечов

Москва 2020

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы д.г.-м.н., профессор РАН	 28.12.20 подпись, дата	П.Ю. Плечов (разделы 1, 3, 4)
Исполнители темы		
Зам. директора к.г.-м.н.	 28.12.20 подпись, дата	А.А. Агаханов (разделы 1, 2.4, 2.5, 2.9)
Зав. сектором ст. н.сотр.	 28.12.20 подпись, дата	Д.И. Белаковский (разделы 1; 2: 1, 5, 6, 9)
Зав. сектором ст. н.сотр.	 28.12.20 подпись, дата	Л.А. Паутов (разделы 1; 2: 2, 6, 7, 9)
Зам. директора к.г.-м.н.	 28.12.20 подпись, дата	В.Ю. Карпенко (разделы 1; 2: 2, 7, 9)
Вед. науч. сотр. д.г.-м.н., член-корр. РАН	 28.12.20 подпись, дата	И.В. Пеков (разделы 1, 2.1, 2.5, 2.6, 2.9)
Вед. специалист	 28.12.20 подпись, дата	А.В. Касаткин (разделы 1, 2.4, 2.5, 2.9)
Уч. секретарь к.г.-м.н.	 28.12.20 подпись, дата	Е.Н. Матвиенко (введение, заключение)
Научн. рук. музея д.г.-м.н., профессор	 28.12.20 подпись, дата	В.К. Гаранин (раздел 2.3)
Ст. науч. сотр. к.г.-м.н.	 28.12.20 подпись, дата	Ю.Д. Гриценко (разделы 1, 2.6)
Науч. сотр. к.г.-м.н.	 28.12.20 подпись, дата	В.Ю. Герасимов (раздел 2.8)
Науч. сотр. к.г.-м.н.	 28.12.20 подпись, дата	Н.А. Некрылов (разделы 3, 4)
Вед. специалист	 28.12.20 подпись, дата	В.А. Агаханова (разделы 1, 2.9)

РЕФЕРАТ

Отчет 81 с., 50 рисунков, 4 таблицы, 71 источник, 1 приложение

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ, НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ, МИНЕРАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ, ПАРАГЕНЕЗИСЫ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ, МИНЕРАЛЫ – ИНДИКАТОРЫ ПРОЦЕССОВ, ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЮ, БАЗЫ ДАННЫХ О МИНЕРАЛАХ, ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ В РАЦИОНАЛЬНОМ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ

Объектом исследования являются образцы различных месторождений из уникальных фондов Минмузея РАН, а также собранные в процессе проведения полевых работ исполнителями НИР.

Цель работы – получение новых данных о свойствах и генезисе минералов, их парагенезисах, полезных ископаемых, новых фундаментальных знаний о минералах, минерало- и рудообразовании, открытие новых минералов; данных о закономерностях размещения минералов и руд, новых видов сырья с выходом на практические рекомендации по их поиску и применению.

В процессе работы проводились комплексные исследования, начиная с полевых описаний минералов и пород, приготовления препаратов и заканчивая прецизионным анализом с применением индивидуальных наборов усовершенствованных методик.

В результате работ за **2020 год было открыто 27 новых минералов**, выявлены новые свойства уже известных минеральных видов. Получен значительный массив данных по составу, свойствам, структуре и ассоциациям изученных минералов, новым парагенезисам.

Итогом исследований было пополнение фундаментального научного знания различных областей науки, в первую очередь минералогии и кристаллографии, вклад в понимание минералообразования и других связанных с ним геологических процессов.

Прикладные результаты: определение критериев поиска минерального, в том числе рудного, вещества, степени значимости месторождений; рекомендации по использованию минерального вещества, извлечению полезных компонентов, созданию новых материалов; пополнение международных баз данных по минералам, электронной базы данных MINSPEC v.3.3 по минералам, их свойствам и их генезису, банка эталонов для микронзондового анализа и картотеки эталонных дебаеграмм, общедоступных картотек исследований, месторождений и местонахождений минералов, созданных в Минмузее РАН.

По результатам работ за год было опубликовано 60 статей. Полученные данные НИР в виде устных докладов и тезисов докладов были успешно представлены на в конференциях.

СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения	5
Введение	6
1 Новые минералы	9
2 Минералогия природных объектов	34
2.1 Новые данные по минералогии фумарол вулкана Толбачик (Камчатка, Россия)	34
2.2 Новые данные по минералогии фумарольных возгонов подземных пожаров Фан-Ягнобского угольного месторождения (Центральный Таджикистан)	35
2.3 Новые данные по минералогии месторождения алмаза им. М.В. Ломоносова	37
2.3.1 Алмаз кубического габитуса из месторождения им. М.В. Ломоносова	37
2.3.2 Микровключения в алмазах из месторождения им. М.В. Ломоносова	46
2.4 Новые данные по минералогии Воронцовского золоторудного месторождения (Северный Урал)	53
2.5 Новые данные по редкоземельной минерализации месторождения Мочалин Лог, Южный Урал, Россия	54
2.6 Новые данные по минералогии Ковдорского и Ловозерского массивов (Кольский полуостров)	55
2.7. Новые данные по минералогии редкометальных гранитных пегматитов Юго-Западного и Восточного Памира (Горно-Бадахшанская АО, Таджикистан)	56
2.8 Новые данные по цирконометрии пород кристаллического фундамента Большого Кавказа	57
2.9 Новые данные по минералогии других объектов	61
3 Изучение вариаций химического состава и генезиса породообразующих минералов	63
4 Расплавные и флюидные включения в минералах	64
Заключение	65
Список использованных источников	67
Приложение. Список публикаций по теме	75

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ААП – Архангельская алмазоносная провинция

Влк. – вулкан

М.з. – микронзондовый (анализ)

МСА – минералы – спутники алмаза

Н.д. – нет данных

Сл. – следы

Тр. – трубка (кимберлитовая)

BSE – Back Scattered Electrons (обратно рассеянные, или отраженные, электроны), режим съемки на сканирующем электронном микроскопе

CCL/ЦКЛ – цветная катодолюминесценция

SEI – Secondary Electrons Image (изображение во вторичных электронах), получаемое на сканирующем электронном микроскопе

SEM – Scanning Electron Microscope, растровый электронный микроскоп (РЭМ)

Наименования величин приведены в соответствии с Международной системой единиц СИ

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящей научно-исследовательской работы являлось получение новых данных о свойствах и генезисе минералов и особенностях их парагенезисов в различных месторождениях и рудопроявлениях России и других регионов мира, изучение минерального разнообразия, открытие новых минералов, определение условий образования и закономерностей размещения минерального вещества, в том числе полезных ископаемых, прогнозы по поиску минерального вещества и рекомендации по использованию новых и редких минералов, созданию инновационных материалов, в ряде случаев – по извлечению полезных компонентов. Объектами НИР были образцы из уникальных фондов Минмузея РАН из различных месторождений мира, а также полевые работы и сборы прошлых лет и в меньшей степени 2020 года сотрудников Минмузея РАН.

Исследования велись для получения фундаментальных научных знаний о минералах и их парагенезисах – расширения представлений о минеральном царстве. Также внимание уделялось изучению минералогии, генезиса уникальных месторождений, действующих или потенциальных, рудопроявлений, с прицелом на задачи поиска и разработки. Обязательной задачей сотрудников является также изучение минералов обширной коллекции музея.

Основная часть исследований проведена на базе лаборатории Минмузея РАН. Это макроскопические описания образцов, определение вещественного состава образцов, размеров зерен, их морфологии под микроскопом; определение морфологии кристаллов на оптических гониометрах, измерение кристаллооптических характеристик минералов в иммерсии и в шлифах; оптическая минералография рудных минералов, измерение микротвердости и ее анизотропии; определение плотности минералов в тяжелых жидкостях; съемка порошкограмм на рентгеновских дифрактометрах с их идентификацией; получение спектров минералов в ИК- УФ- и видимой области; микронзондовое определение состава минералов, исследования методами атомно-адсорбционной спектроскопии и масс-спектрометрии с ИСП, термобарометрии, катодо- и фотолюминесценции, электронного парамагнитного резонанса.

1 Изучение минерального разнообразия велось на материале широкого спектра объектов различного генетического типа, образцы из которых составляют огромные постоянно пополняемые фонды музея. По изучению ряда из них накоплен большой международно признанный научный опыт, в том числе методологический, что стимулирует активное сотрудничество с российскими и зарубежными учеными и расширяет географию новых минералов, открытых исследователями Минмузея РАН и с их участием. За период 2020 года **было открыто и изучено 27 новых**, ранее в природе не известных, **минеральных**

видов. Это составляет главное достижение научно-исследовательской работы года. Почти все образцы открытых минералов дополнили коллекцию музея.

2 Продолжено **систематическое изучение ряда уникальных минералогических объектов** России и зарубежья.

2.1 Дополнены и обобщены данные по объекту исследования мирового значения – региону **активных фумарольных полей вулкана Толбачик на Камчатке** – уникальному источнику новых данных о современном минералообразовании, а также новых и редких минералов.

2.2 Продолжались работы на **фумаролах подземных пожаров на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Ц. Таджикистан)**, классической и также уникальной природной лаборатории, где постоянно формируется минеральное вещество.

2.3 Продолжены работы по комплексному изучению минералогии алмаза из месторождений Архангельской и Якутской алмазоносных провинций с целью систематизации морфологических признаков алмаза и набора минералов-спутников для создания методики прогнозирования качества и минералогических характеристик алмазного сырья. Главным объектом изучения было **месторождение им. М.В. Ломоносова Архангельской алмазоносной провинции.**

2.4 Продвигались далее исследования, анализ и обобщение данных **по минералогии Воронцовского золоторудного месторождения (Северный Урал)**, выделяющейся уникальной таллиевой минерализацией.

2.5 Продолжена работа по изучению **редкоземельной минерализации на месторождении Мочалин Лог, Вишневые горы, Южный Урал**, с ее необычной лантановой специализацией.

2.6 Проведены исследования на постоянно находящихся в сфере научной деятельности сотрудников **Ковдорском и Ловозерском массивах (Кольский полуостров).**

2.7 Были продолжены систематические исследования **минералогии редкометаллических гранитных пегматитов Юго-Западного и Восточного Памира** (Горно-Бадахшанская АО, Таджикистан).

2.8 Проведены работы в регионе Большого Кавказа: **по цирконометрии пород кристаллического фундамента Большого Кавказа** для установления возраста основных геологических событий и совершенствования самой методики определения, а также по изучению жадеитоносности и сбору образцов для коллекции.

2.9 Продолжались систематические работы по **Джелисууйскому, Ходжаачканскому, Матчинскому массивам (Киргизия), Дарай-Пиёзскому массиву (Таджикистан).** Изучены минеральные образцы ряда уникальных объектов: кимберлитовой трубки

Интернациональная (Якутия), Главного Сарановского месторождения хромитов, золотоносных россыпей Южного Урала и платиноносной – Гальмознанского массива Корякского нагорья, месторождения гуано близ селения Чанабая, Чили.

3 В рамках систематических работ по изучению **вариаций состава породообразующих минералов** изучен **оливин из образцов магнезиальных скарнов музея** для установления его типоморфных особенностей и в перспективе важных выводов о процессах минерало- и породообразования.

4 Продолжены работы по актуальной постоянной теме изучения **расплавных и флюидных включений в породообразующих минералах** на материале оливина из образцов высокомагнезиальных базальтов Камчатского мыса (Камчатка) с целью установления условий формирования пород, в том числе рудоносных.

1 Новые минералы

Одним из важнейших направлений Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана является **изучение минералогического многообразия в земной коре**. За 2020 год с участием сотрудников Минералогического музея было открыто и утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Российского минералогического общества и Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации (КНМНК – CNMNC) Международного минералогического общества (ММА – IMA) **27 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.

В данном разделе приведены краткие сведения о минералах, открытых с участием сотрудников Музея и утвержденных комиссией по новым минералам Международной минералогической ассоциации (IMA CNMNC). С участием сотрудников Минмузея РАН открыты и изучены 27 новых минеральных видов: люборжакит, походяшинит, гунгерит, ауэрбахит, бираит-(La), алекскузнецовит-(Ce), рабдоборит-(Mo), манганобадаловит, дуткевичит-(Ce), чукоткаит, сарановскит, божарит, куфарит, хасановит, шахдараит-(Y), ботуобинскит, мирныйит, зайковит, селенолаурит, одихинчаит, оксивисмутомикролит, малетойваямит, ермаковит, сергеванит, шуйскит-(Cr), попугаеваит, аммонитинслейит. В 2020 году утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA 24 новых минеральных вида. Три минерала утверждены в конце 2019 г. и не вошли в предыдущий отчет [1].

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

Силикаты:

Бираит-(La). Biraite-(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. $P2_1/c$, $a = 6.5660(10) \text{ \AA}$, $b = 6.7666(11)$, $c = 18.698(3) \text{ \AA}$, $\beta = 108.952(16)^\circ$, $V = 785.7(2) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. Назван по аналогии с ранее открытым бираитом-(Ce) [2]. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5557/1 (рис. 1.1).

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

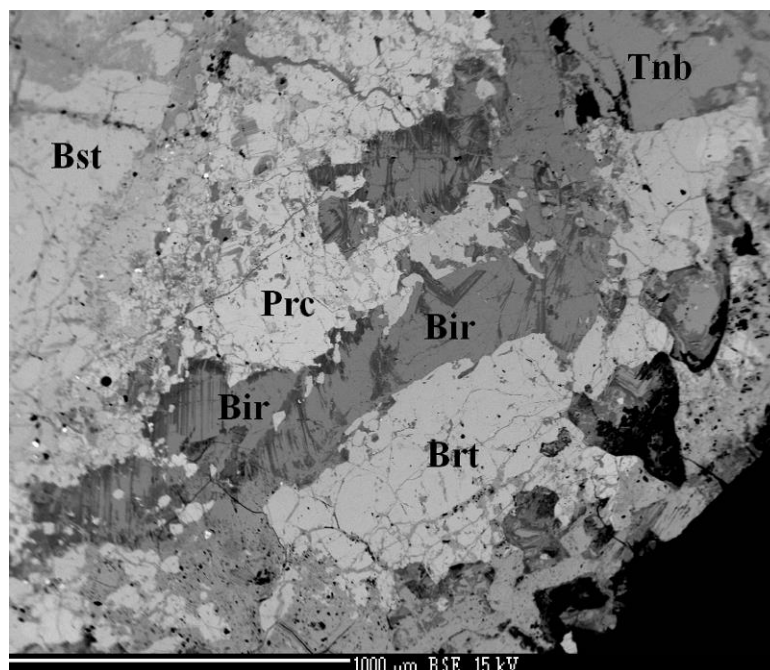


Рисунок 1.1 – Бираит-(La) (Bir) в ассоциации с бастнезитом-(Ce) (Bst), тёрнебомитом-(La) (Tnb) и фторбрилолитом-(Ce) (Brt) и перклевеитом-(Ce)/(La) (Prc). Черные зерна – кварц. РЭМ-фото

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

Мочалин Лог, Челябинская область, Южный Урал, Россия. Моноклинный, пр.гр. $P2_1/c$, $a = 6.57642(4) \text{ \AA}$, $b = 6.7685(4) \text{ \AA}$, $c = 18.7493(15) \text{ \AA}$, $\beta = 108.672(8)^\circ$, $V = 790.66(10) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. Алекскузнецовит-(Ce) – Mn-аналог бираита-(Ce) [2] и Ce-аналог алекскузнецовита-(La). Назван, как и алекскузнецовит-(La), в честь Алексея Михайловича Кузнецова (1962 г. р.), известного минералога и коллекционера, активно работающего по Южному Уралу, в частности по Мочалину Логу. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5416/3 (рис. 1.2).

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

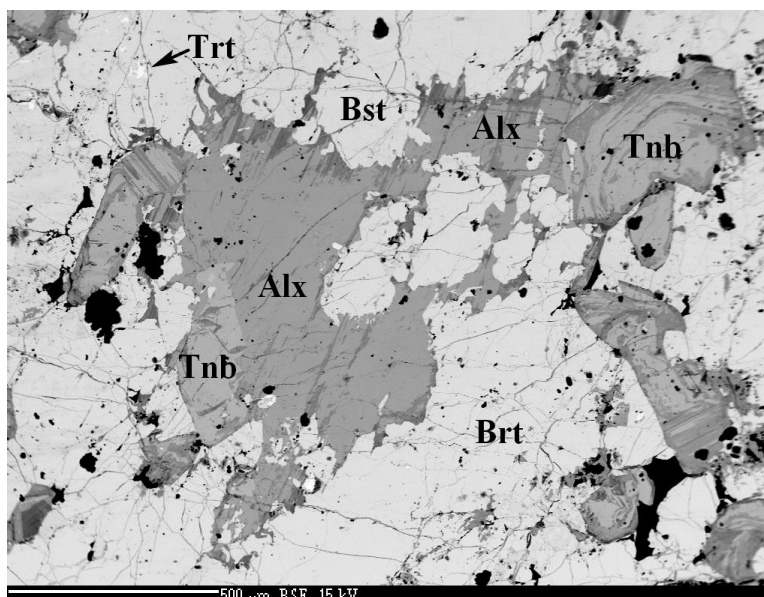
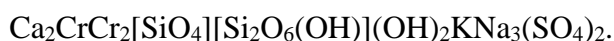


Рисунок 1.2 – Алексузнецовит-(La) (Alx) в ассоциации с фторбритолитом-(La) (Brt), тёрнебомитом-(La) (Tnb), бастнезитом-(La) (Bst) и торитом (Trt). Черные зерна – кварц. РЭМ-фото

Шуйскит-(Cr). Shuiskite-(Cr). IMA 2019-117.



Минерал найден на месторождении Главное Сарановское, входящем в Сарановскую группу хромитовых месторождений, Горнозаводский район, Пермский край, Средний Урал, в кальцитовых прожилках в хромите с Cr-клинохлором и уваровитом. Моноклинный, пр.гр. $C2/m$, $a = 19.2436(6)$, $b = 5.9999(2)$, $c = 8.8316(3)$ Å, $\beta = 97.833(3)^\circ$. Принадлежит к группе пумпеллиита. Обнаружение минерала открыло новую серию в группе пумпеллиита с изоморфным замещением Mg–Cr³⁺. В связи с этим новый минерал назван с учетом его химического состава, а магнизиальный 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 передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и каталогизирован в систематическую коллекцию под инвентарным номером 97012 (рег. № 5481/1), а также в Канадский музей 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. [3].

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 встречен на щелочном массиве Дарай-Пиёз, Таджикистан. Ромбической сингонии, 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. Минерал является цинковым аналогом белоруссита-(Ce) $\text{NaMnBa}_2\text{Ce}_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{F}\cdot\text{H}_2\text{O}$ [4] 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 передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5281/1 (рис. 1.3).

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.

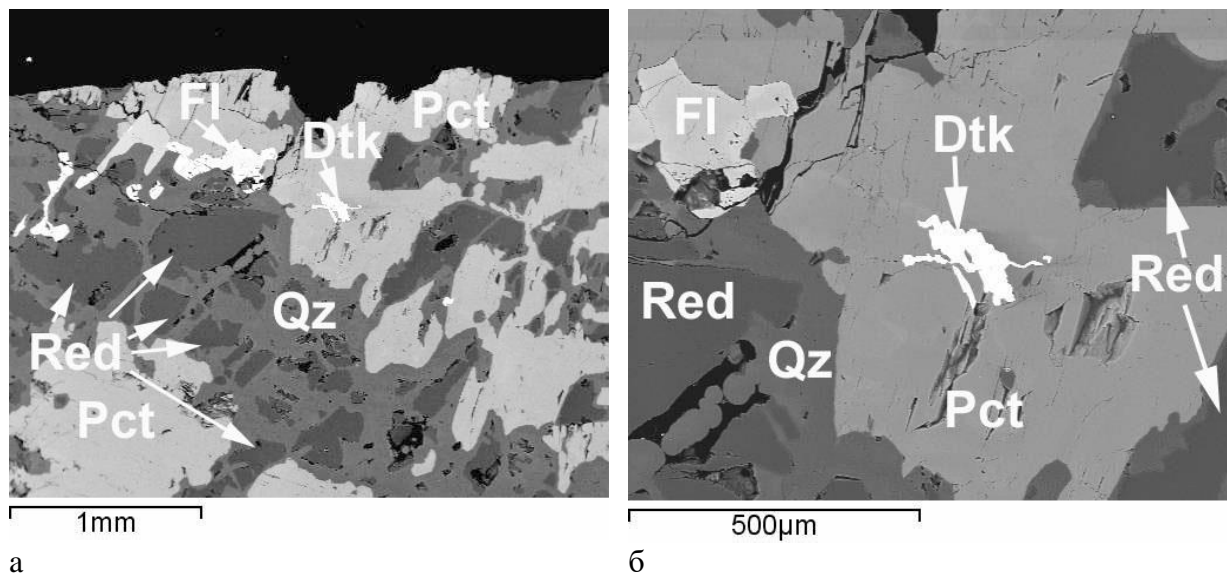


Рисунок 1.3. – Выделения дункевичита-(Ce) (Dtk), флюорита (Fl) и ридмерджнерита (Red) в кварц (Qz)-пектолитовом (Pct) агрегате: общий вид (а) и увеличенный фрагмент (б). Изображения в отраженных электронах (BSE)

Одихинчаит. Odikhinchaite. IMA 2020-064.



Новый минерал из группы эвдиалита встречен в щелочно-ультраосновном массиве Одихинча, Красноярский край, в пегматитовой прожилке нефелиновых сиенитов в ассоциации с ортоклазом, альбитом, нефелином, вадеитом, анкилитом-(Ce), где он образует крупные (до 11 мм) сферолитовые агрегаты насыщенного малинового цвета (рис. 1.4). Одихинчаит тригональный, пр.гр. $R\bar{3}m$, параметры элементарной ячейки: $a = 14.2837(2) \text{ \AA}$, $c = 30.0697(3) \text{ \AA}$, $V = 5313.04(12) \text{ \AA}^3$. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5587/1 и 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. [5].



Рисунок 1.4. – Сферолит одихинчаита малинового цвета в агрегате микроклина и альбита. Ширина поля зрения 5 см

Сергеванит *Sergevanite*. IMA 2019-057. $\text{Na}_{15}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Рудник Карнасурт, Ловозерский щелочной массив, Кольский полуостров, Россия. Тригональный, пр.гр. $R\bar{3}$, $a = 14.2179(1) \text{ \AA}$, $c = 30.3492(3) \text{ \AA}$, $V = 5,313.11 \text{ \AA}^3$. Новый минерал из группы эвдиалита из высокоагпаитовых фойяитов, ассоциирует с арфведсонитом, лампрофиллитом, фторапатитом, стенструпином-(Ce), ильменитом и сфалеритом. Образует желто-оранжевые зерна размером до 1.5 мм или внешние зоны в зернах эвдиалита (рис. 1.5). Назван по реке Сергевань, в бассейне которой находятся северные склоны горы Карнасурт. В отличие от структур других членов группы эвдиалита, в структуре сергеванита атомы Ca и Mn упорядочены в шестичленных кольцах октаэдров в позициях $M1$ и $M2$ и Na преобладает над Fe^{2+} в позиции $M2$ (рис. 1.6).

Голотип сергеванита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером 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. [6].



Рисунок 1.5. – Оранжево-желтый сергеванит с красным эвдиалитом, белым микроклином сероватым нефелином и черным арфведсонитом. Размер поля зрения 4 мм

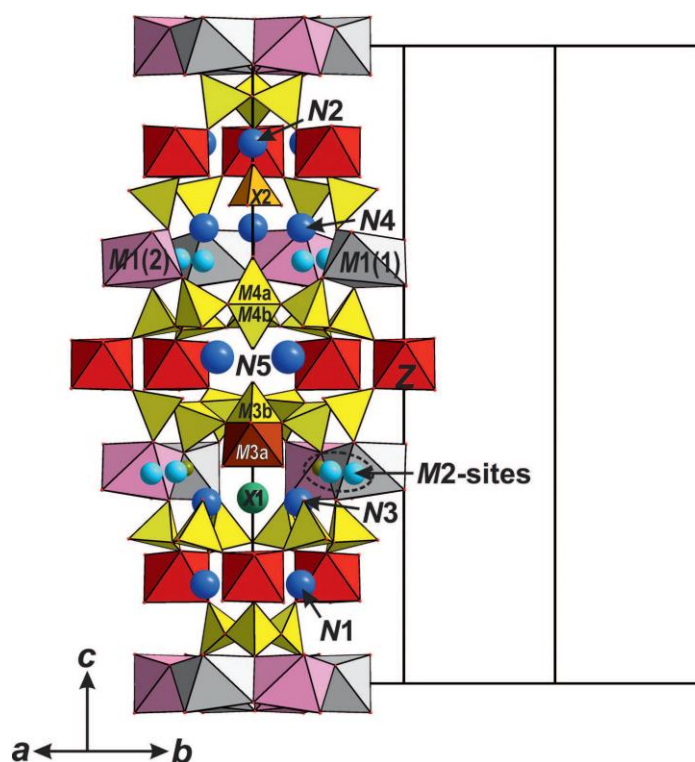


Рисунок 1.6. – Общий вид кристаллической структуры сергеванита

Оксиды и гидроксиды:

Сарановскит. Saranovskite. IMA 2020-017. $\text{SrYFe}^{2+}_2(\text{Cr}_5\text{Ti})\text{Ti}_{12}\text{O}_{38}$.

Минерал обнаружен на месторождении Главное Сарановское, входящем в Сарановскую группу хромитовых месторождений, Горнозаводский район, Пермский край, Средний Урал. Новый минерал из группы кричтонита, назван по месту находки. 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 передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5558/1 (рис. 1.7).

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.* [7].



Рисунок 1.7 – Кристалл сарановскита-(Y), размер 1.5 × 2 × 2 мм

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 группе кричтонита. Мирныйит тригональный, пр.гр. *R3*. Параметры элементарной ячейки: $a = 10.3734(8)$, $c = 20.691(1)$ Å. Назван в честь города Мирного (рис. 1.8). Типовой материал 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., Середкин Ю.В.*

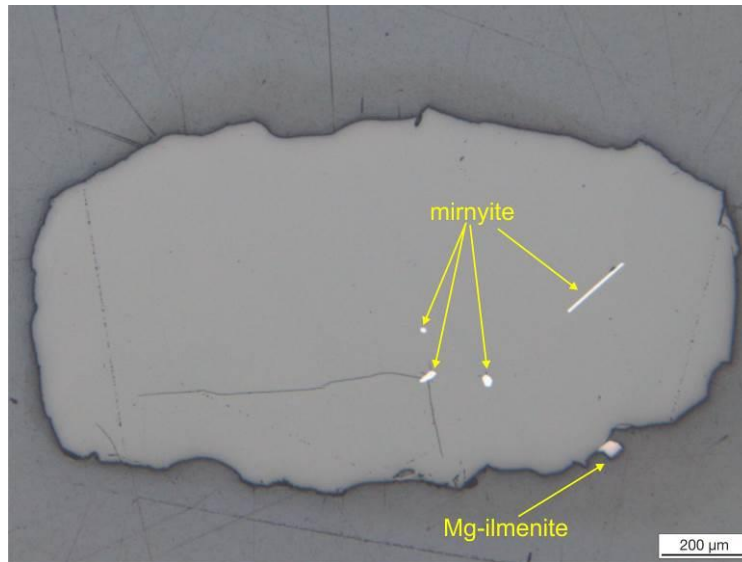


Рисунок 1.8. – Включения мирныйита в ксенокристаллах Sr-пиропы из кимберлитовой трубки Интернациональная, Сибирская платформа. Отраженный свет

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 из кимберлитовой трубки Интернациональная, Мирнинское кимберлитовое поле, Западная Якутия. Минерал принадлежит группе кричтонита. Ботуобинскит тригональный, пр.гр. R3. Параметры элементарной ячейки: $a = 10.3644(8)$, $c = 20.659(1)$ Å (рис. 1.9, 1.10). Назван в честь специалистов Ботуобинской геологоразведочной экспедиции, первооткрывателей трубки Интернациональная. Типовой материал 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., Середкин Ю.В.

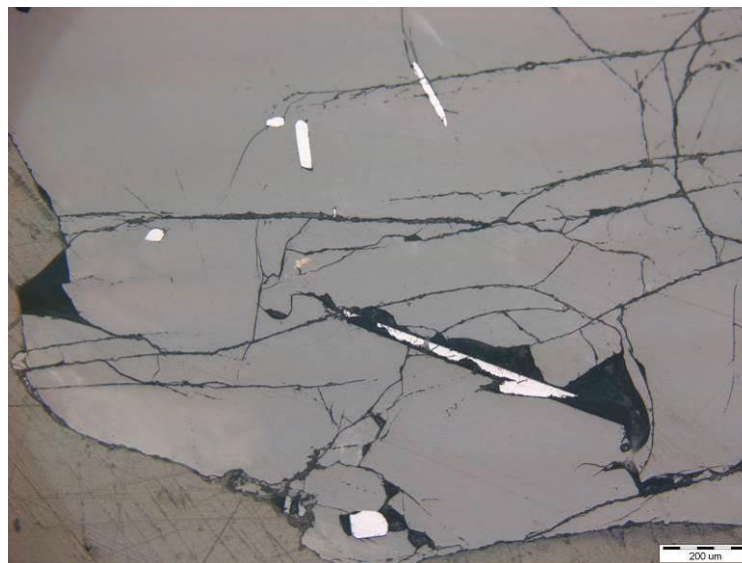


Рисунок 1.9. – Включения ботуобинскита в ксенокристаллах Sr-пиропы из кимберлитовой трубки Интернациональная, Сибирская платформа. Отраженный свет

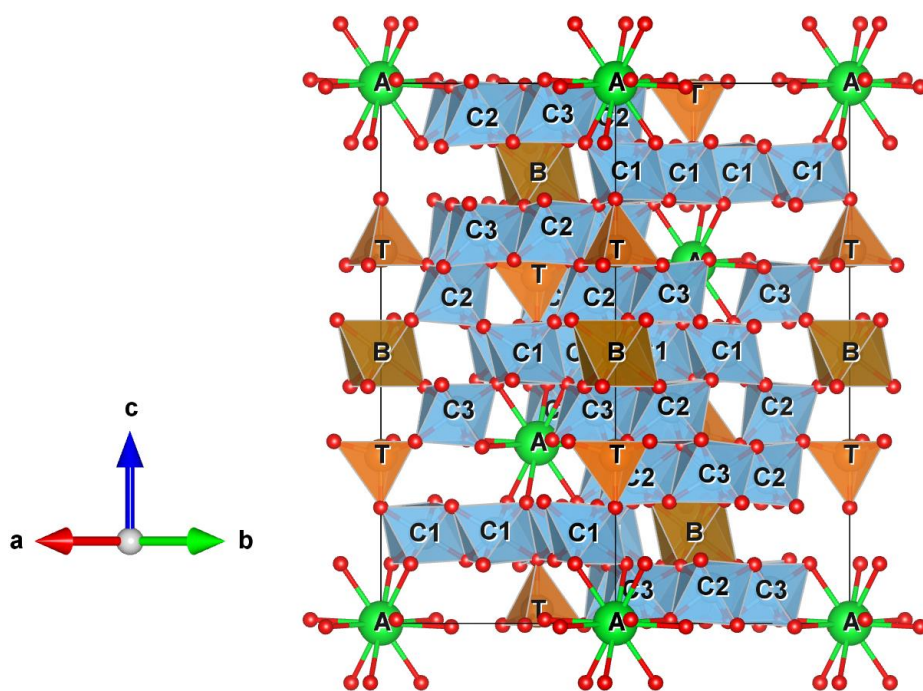


Рисунок 1.10. – Кристаллическая структура ботуобинскита

Оксивисмутомикролит. Oxybismutomicrolite. IMA 2019-047. $(\text{Bi}_{1.33}\square_{0.67})_{\Sigma 2}\text{Ta}_2\text{O}_6\text{O}$.

Пегматитовая жила Солнечная, Малханское пегматитовое поле, Красночикойский район, Забайкалье. Кубический, пр.гр. $Fd\bar{3}m$, $a = 10.475(1) \text{ \AA}$, $V = 1149.38 \text{ \AA}^3$, $Z = 8$. 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 пирохлора [8]. Голотип оксивисмутомикролита передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и записан в систематическую коллекцию под номером 96699 (рег. № 5409/1) (рис. 1.11).

Авторы: Касаткин А.В., Бритвин С.Н., Перетяжко И.С., Чуканов Н.В., Škoda R., Агаханов А.А. [9].

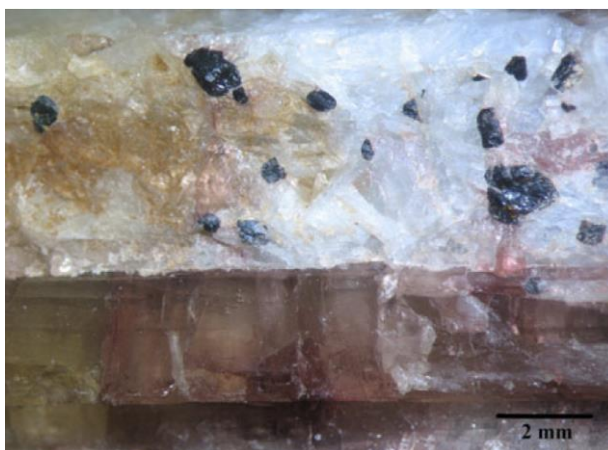


Рисунок 1.11. – Черные зерна оксивисмутомикролита в альбите рядом с эльбаитом [8]

Шахдараит-(Y). Shakhdarait-(Y). IMA 2020-024. ScYNb_2O_8 .

Минерал встречен в миарловом гранитном пегматите Лесхозовский, правый борт реки Шахдары (приток реки Гунт) в среднем течении, Юго-Западный Памир, Рошткалинский р-н Горно-Бадахшанской АО, Таджикистан. Шахдараит-(Y) относится к структурному типу брукиита. Моноклинный, пр.гр. $P2/c$. 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. 1.12, 1.13). Типовой материал передан в коллекцию Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, 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.

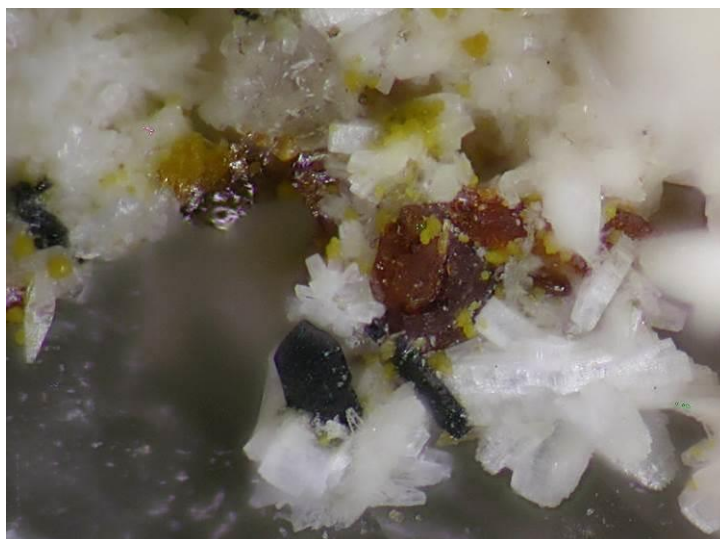


Рисунок 1.12. – Черный кристалл шахдараита-(Y) на таблитчатых кристаллах бертрандита (белое). Красные зерна – пирохлор, желтые – ярозит. Ширина поля зрения 2,5 мм

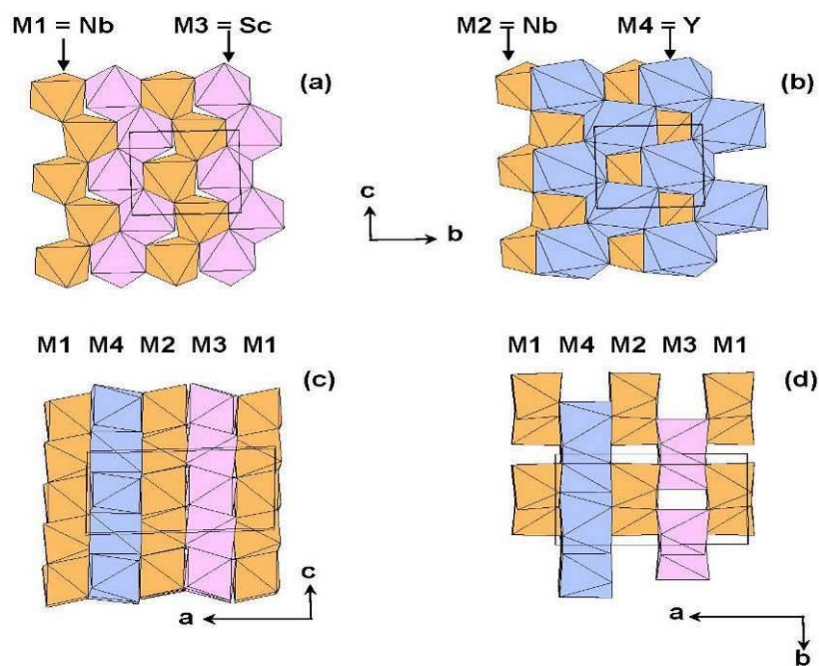


Рисунок 1.13. – Кристаллическая структура шахдараита-(Y). Показаны брукитовые цепочки, образованные октаэдрами M(1), M(2) и M(3), и слой Y-доминантных M(4) полиэдров с 8-й координацией. Октаэдры M(1), M(2) – Nb-доминантные, M(3) – Sc-доминантные

Сульфиды:

Люборжакит. *Luboržákit*. IMA No. 2019-125. Mn_2AsSbS_5 .

Минерал найден на Воронцовском золоторудном месторождении, Краснотурьинск, Северный Урал. Люборжакит имеет черный цвет, металлический блеск (рис. 1.14). Моноклинный, пр.гр. $C2/m$, $a = 12.5077(6) \text{ \AA}$, $b = 3.8034(2) \text{ \AA}$, $c = 16.0517(8) \text{ \AA}$, $\beta = 94.190(4)^\circ$, $V = 761.57(6) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. 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 $N = 5$. Эти структуры напоминают лиллианит со sdвойникованными ячейками. Кристаллическая структура люборжакита (рис. 1.15) 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 передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5557/1.

Авторы: *Касаткин А.В.*, *Plášil J.*, *Maikovický E.*, *Škoda R.*, *Агаханов А.А.*, *Степанов С.Ю.* [10].

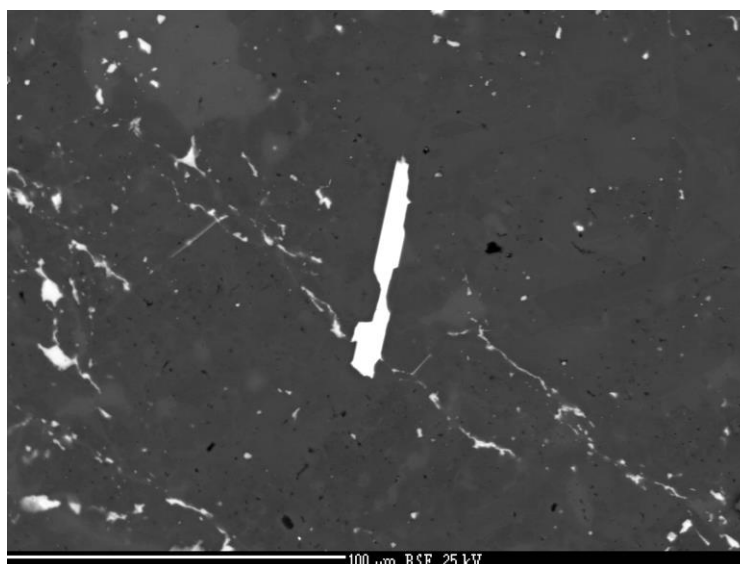


Рисунок 1.14 – Длиннопризматический кристалл люборжакита (белый) в агрегате карбонатов; этот кристалл был извлечен для рентгеноструктурного исследования минерала

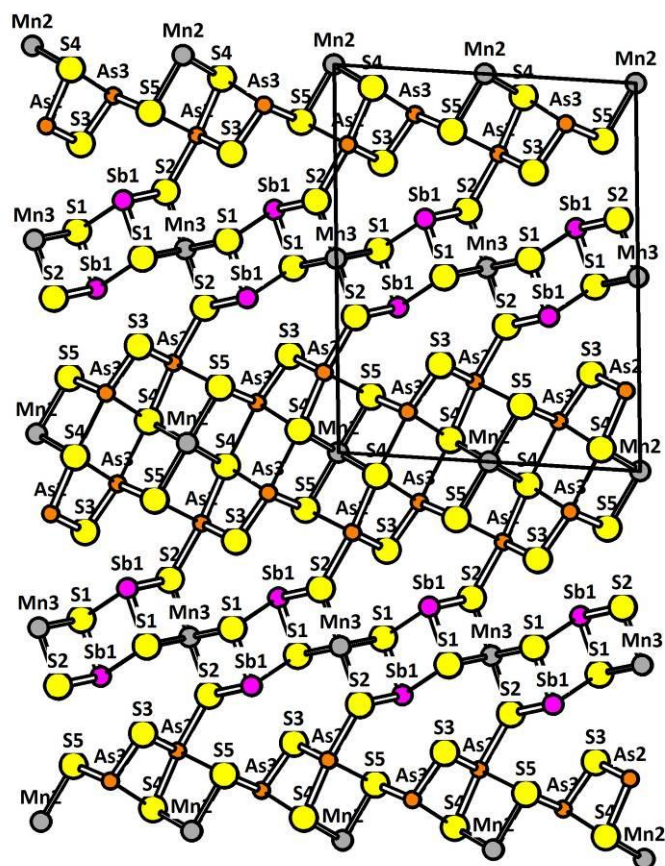


Рисунок 1.15 – Кристаллическая структура люборжакита в проекции вдоль оси *b*. Показаны только короткие, сильные межатомные связи

Походяшинит. Pokhodyashinite. IMA 2019-130. $\text{Cu}_2\text{Tl}_3\text{Sb}_5\text{As}_2\text{S}_{13}$.

Новый таллиевый минерал, найденный на Воронцовском золоторудном месторождении, Краснотурьинск, Северный Урал. Походяшинит непрозрачный, имеет

черный цвет и металлический блеск (рис. 1.16). Триклинный, пр.гр. $P\bar{1}$, $a = 7.9958(16) \text{ \AA}$, $b = 11.882(2) \text{ \AA}$, $c = 14.061(3) \text{ \AA}$, $\alpha = 109.805(19)^\circ$, $\beta = 94.190(4)^\circ$, $\gamma = 99.683(17)^\circ$, $V = 1236.5(4) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Минерал получил свое название в честь русского купца и горнозаводчика М.М. Походяшина (1708–1780), основателя знаменитых Турьинских рудников и Богословского горного округа, владельца нескольких медеплавильных заводов на Северном Урале. Минерал **не имеет аналогов как по химическому составу, так и по кристаллической структуре**. Уникальная кристаллическая структура походяшинита (рис. 1.17) содержит 25 кристаллографически неэквивалентных позиций: две позиции полностью заселены атомами Tl, четыре – атомами Sb, две – атомами As, тринадцать – атомами S, а четыре позиции имеют смешанную заселенность (две Sb/Tl позиции и две Cu/Ag). Структуру походяшинита можно описать как состоящую из волнистых пластин сложной архитектуры, основанных на двойных стержнях (преимущественно) Sb-центрированных пирамид и промежуточных пространств (мицелл), заполненных неподделенными электронными парами, и разделенных волнистыми прослойками, состоящими из колонок координационных полиэдров атомов Tl и парных колонок Cu-центрированных полиэдров. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5517/1.

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

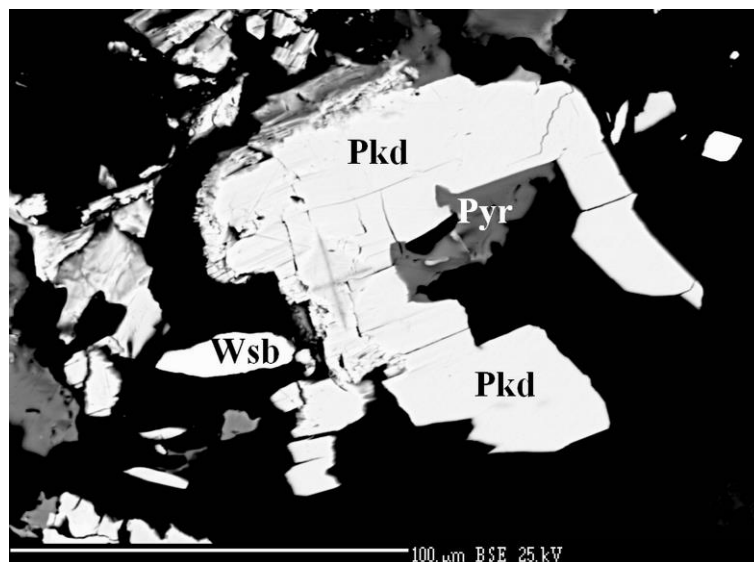


Рисунок 1.16 – Выделение походяшинита (Pkd) с пиритом (Pyr) и вейсбергитом (Wsb) в кальцитовой матрице. РЭМ-фото в отраженных электронах

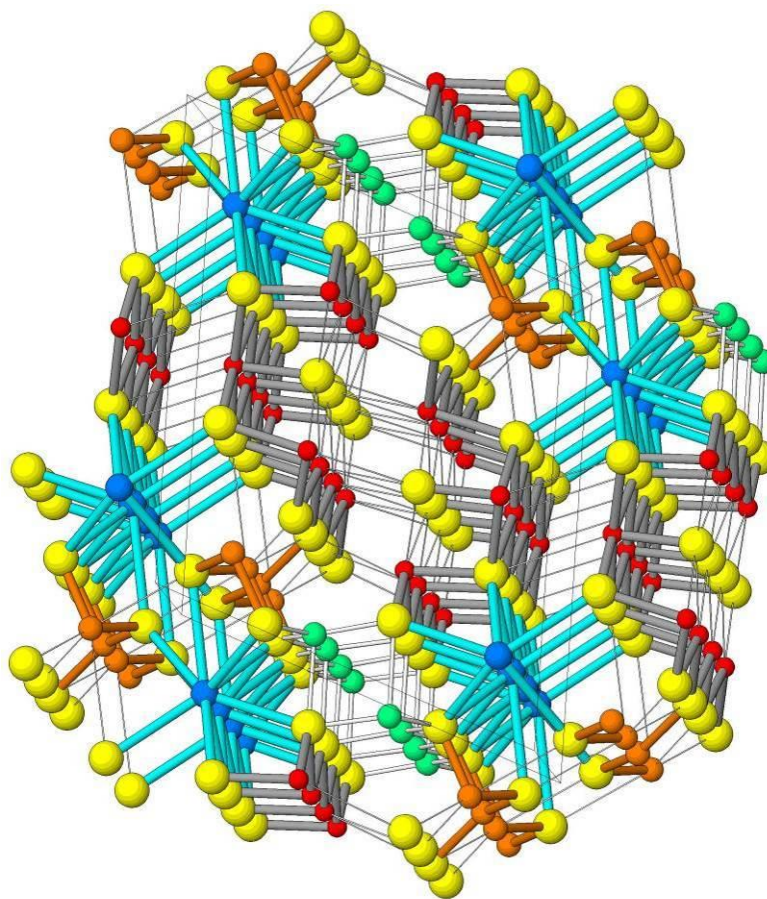


Рисунок 1.17 – Кристаллическая структура походяшинита в проекции приблизительно вдоль a , слегка наклонена. Атомы Tl показаны синим цветом, Cu – зеленым, Sb – коричневым, As – красным, S – желтым.

Гунгерит. Gungerite. IMA 2020-009. $TlAs_5Sb_4S_{13}$.

Еще один **новый таллиевый минерал**, открытый на Воронцовском золоторудном месторождении, Краснотурьинск, Северный Урал. Минерал ярко-оранжевого цвета с жирным блеском (рис. 1.18). Гунгерит ромбический, пр.гр. $Pbcn$, $a = 20.1958(3) \text{ \AA}$, $b = 11.5258(2) \text{ \AA}$, $c = 20.1430(2) \text{ \AA}$, $V = 4688.74(12) \text{ \AA}^3$, $Z = 8$. 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.). Как и походяшинит, **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 положительных зарядов. Кристаллическая структура гунгерита (рис. 1.19) 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 передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5518/1.

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



Рисунок 1.18. – Оранжевые мелкозернистые агрегаты гунгерита в известняковой брекчии с черным порошкообразным грейгитом. Размер образца: 5 x 4 см

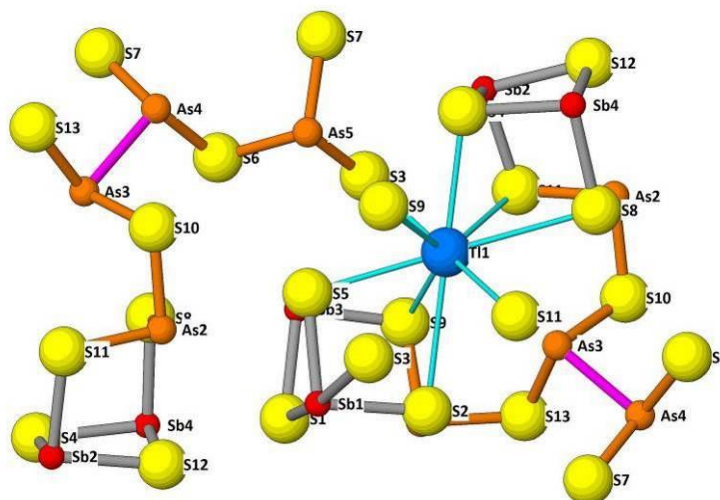


Рисунок 1.19. – Фрагмент структуры гунгерита с хелатной As–Sb-группой, в центре которой располагается атом таллия, связанный с пирамидой As5 соседней группы. Атомы S – желтые сферы, Tl – синий шар, Sb – красные сферы с серыми связями, As – коричневые сферы с коричневыми связями. Ковалентные As–As-связи показаны лиловым цветом

Ауэрбахит. Auerbakhite. IMA 2020-047. $\text{MnTl}_2\text{As}_2\text{S}_5$.

Также **новый таллиевый минерал**, открытый на Воронцовском золоторудном месторождении, Краснотурьинск, Северный Урал. Ауэрбахит прозрачный, имеет ярко-красный цвет и алмазный блеск (рис. 1.20). Ромбический, пр.гр. $Cmce$, $a = 15.3280(15) \text{ \AA}$, $b = 7.662(7) \text{ \AA}$, $c = 16.6330(14) \text{ \AA}$, $V = 1953.40(18) \text{ \AA}^3$, $Z = 8$. 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 Турбинское горное училище в Турбинских 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. 1.21) идентична структуре синтетической фазы $Tl_2MnAs_2S_5$ Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5579/1.

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

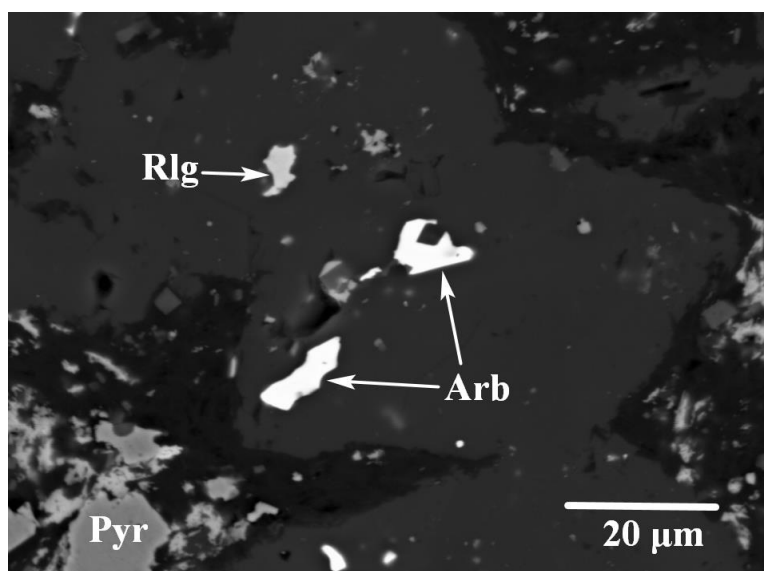


Рисунок 1.20. – Включения ауэрбахита (Arb) в кальците с реальгаром (Rlg) и пиритом (Pyr). РЭМ-фото в отраженных электронах

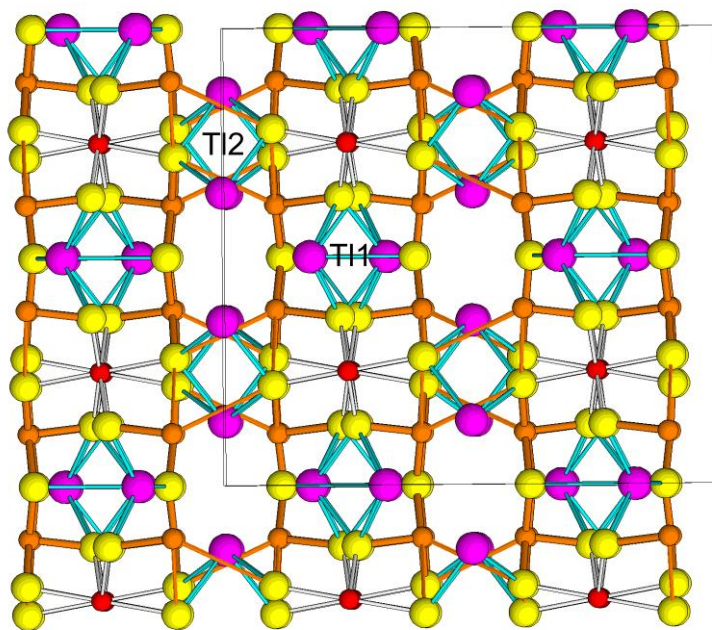


Рисунок 1.21. – Кристаллическая структура ауэрбахита в проекции вдоль [010]; ось a ориентирована вертикально, ось c – горизонтально. Колонки Mn-центрированных октаэдров (направлены перпендикулярно плоскости проекции, красные сферы) чередуются с координационными полиэдрами T11 (большие лиловые сферы) в слоях, параллельных плоскости (001). Катионы T12 (большие лиловые сферы) расположены в межслоевом пространстве. Атомы As и S пирамид AsS_3 показаны как оранжевые и желтые сферы соответственно

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

Чукоткаит был найден в долине реки Левый Вульвывеем, бассейн реки Амгуемы, Иультинский район, Чукотский автономный округ, Северо-Восточный регион, Россия. Чукоткаит прозрачный темно-серого цвета с металлическим блеском (рис. 1.22). Моноклинный, пр.гр. $P2_1/c$, $a = 4.0575(3) \text{ \AA}$, $b = 35.9502(11) \text{ \AA}$, $c = 19.2215(19) \text{ \AA}$, $\beta = 90.525(8)^\circ$, $V = 2803.7(4) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, 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. [11].

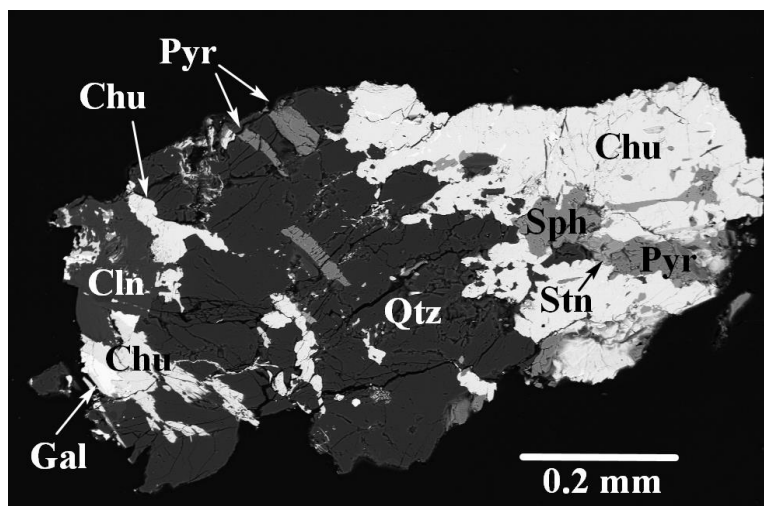


Рисунок 1.22 – Выделение чукоткаита (Chu) в отрастании со сфалеритом (Sph), станнитом (Stn), пирротитом (Pyr), галенитом (Gal), клинохлором (Cln) и кварцем (Qtz). РЭМ-фото в отраженных электронах

Селениды и теллуриды:

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. Моноклинный, пр.гр. $C2/m$, $a = 10.877(1)$, $b = 11.192(1)$, $c = 6.4796(6)$ Å, $\beta = 108.887(2)^\circ$. Типовой материал передан в коллекцию Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, регистрационный № 5395/1 (рис. 1.23).

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

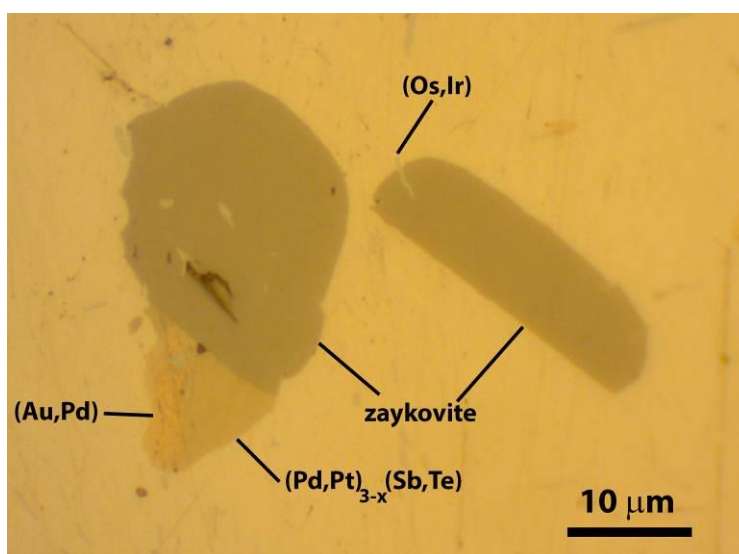


Рисунок 1.23 – Включения зайковита в изоферроплатине. Отраженный свет, в иммерсии

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 (рис 15). Кубический, пр.гр. $P\bar{a}3$, $a = 5.9424(2)$ Å. Типовой материал передан в коллекцию 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.

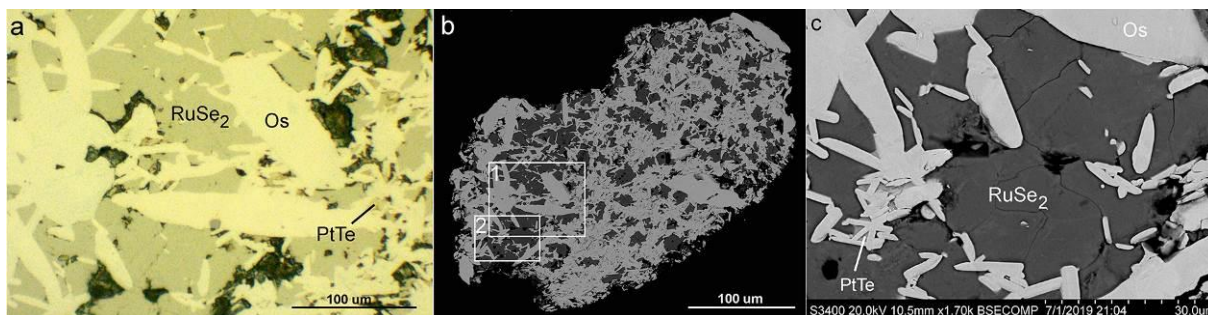


Рисунок 1.24 – Голотип селенолаурита (ReSe_2) и неназванный минерал Pt и Te (PtTe), цементирующие агрегат кристаллов осмия (Os). а) увеличенное изображение участка 1, отмеченного в рамке на рис. b, отраженный свет (в иммерсии); б) BSE-изображение зерна селенолаурита, содержащего пластинчатые кристаллы осмия; с) увеличенное BSE-изображение участка 2, выделенного на рис. b; видны ксеноморфные выделения селенолаурита в интерстициях осмия

Малетойваямит. Maletoyvayamite. IMA 2019-021. $\text{Au}_3\text{Se}_4\text{Te}_6$.

Новый минерал найден на месторождении Малетойваям, Камчатка. образует октаэдрические зерна (10–50 мкм) в ассоциации с калаверитом, золотом, теннантитом, тетраэдритом, гольдфилдитом, ватанабеитом и недоизученными фазами состава AuSe , Au_2TeSe , самородным теллуром, теннантитом, тетраэдритом, голдфилдитом, ватанабеитом и вторичным трипугитом. Имеет хорошую спайность по $\{010\}$ и $\{001\}$. Триклинный, пр.гр. $P\bar{1}$, $a = 8,901(2)$, $b = 9,0451(14)$, $c = 9,265(4)$, $\alpha = 97,66(3)^\circ$, $\beta = 106,70(2)^\circ$, $\gamma = 101,399(14)^\circ$, $V = 685,9(4)$ Å³ и $Z = 2$. Кристаллическая структура малетойваямита представляет уникальный структурный тип, молекулярную структуру, где кубоиды $\text{Au}_6\text{Se}_8\text{Te}_{12}$ -кластеров соединены посредством вандерваальсовых связей [12]. Авторский материал передан в Центральный Сибирский геологический музей, Новосибирск, рег. № V-9/1.

Авторы: Толстых Н.Д, Tuhý M., Вумазалова А., Plášil J., Laufek F., Касаткин А.В., Nestola F., Боброва О.В.

Минералы других классов:

Попугаевит. Popugaevite. IMA 2019-115. $\text{Ca}_3[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6]\text{FCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Минерал найден в кимберлитовой трубке Интернациональная, Мирнинское кимберлитовое поле, Западная Якутия. Это низкотемпературный гидротермальный минерал,

сформировавшийся на контакте кимберлита и борсодержащей 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, $\beta = 91.367(7)^\circ$. 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 передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и каталогизирован в систематическую коллекцию под инвентарным номером 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., Ксенофонов Д.А., Чиркова Е.П., Бритвин С.Н., Пушаровский Д.Ю.

Рабдобрит-(Мо). Rhabdoborite-(Mo). IMA 2019-012. $Mg_{12}Mo^{6+}_{1.3}O_6[VO_3]_6F_2$.

Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения, Толбачинский дол, Камчатка. Рабдобрит-(Мо) является молибденовым аналогом рабдобрита-(V) и рабдобрита-(W). Гексагональный, пр. гр. P6₃, $a = 10.6304(3)$ Å, $c = 4.5637(2)$ Å, $V = 446.63(3)$ Å³, $Z = 1$. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5464/1 (рис. 1.25).

Авторы: Пеков И.В., Зубкова Н.В., Кошлякова Н.Н., Белаковский Д.И., Агаханов А.А., Бритвин С.Н., Пушаровский Д.Ю. [13].



Рисунок 1.25 – Многочисленные светло-желтые игольчатые кристаллы рабдобрита-(Мо), частично покрытые синими агрегатами кальциохиллерита и крошечными черными кристаллами гематита, а также бежевые берцелиитовые почки на белом ангидрите. Ширина поля зрения 15 мм

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. Минерал принадлежит к аллюодитовой супергруппе, является марганцевым аналогом бадаловита $\text{NaNaMg}(\text{MgFe}^{3+})(\text{AsO}_4)_3$ [14] и магнезиогатеррита $\text{NaNaCa}(\text{MgFe}^{3+})(\text{AsO}_4)_3$. Моноклинный, пр.гр. $C2/c$, $a = 15.1848(5) \text{ \AA}$, $b = 12.8924(4) \text{ \AA}$, $c = 6.6970(3) \text{ \AA}$, $\beta = 113.113(5)^\circ$, $V = 967.60(7) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5787/1 (рис. 1.26).

Авторы: Кошлякова Н.Н., Пеков И.В., Белаковский Д.И., Вегасина М.Ф., Зубкова Н.В., Агаханов А.А., Бритвин С.Н., Сидоров Е.П., Пущаровский Д.Ю.

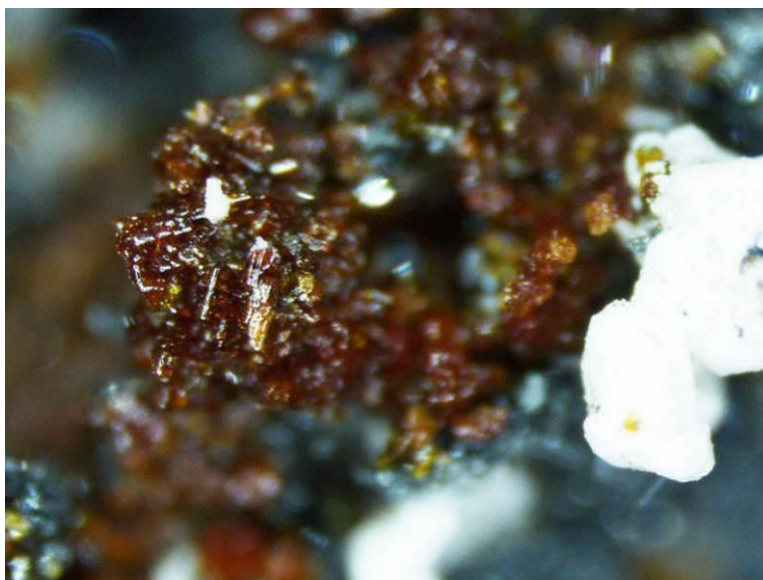


Рисунок 1.26 – Скопления призматических оранжево-желтых до коричневато-красных агрегатов кристаллов манганобадаловита с белым метатенардитом на темном стально-сером гематите. Ширина поля зрения 2,8 мм

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

Минерал найден в псевдофумароле на выходе горячих газов природного подземного угольного пожара в верховьях сая Кухи-Малик, вблизи кишлака Рават, в контурах Фан-Ягнобского месторождения коксующегося каменного угля, Согдийская обл., Таджикистан. Минерал моноклинный, пр.гр. $P21/c$, $a = 9.6225(2)$, $b = 11.4049(3)$, $c = 8.1421(2) \text{ \AA}$, $\beta = 99.179(1)^\circ$, $V = 882.10(4) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$. 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. 1.27). Образована связанными между собой MoO_6 -октаэдрами и SO_4 -тетраэдрами, формирующими

гофрированные слои. В этих слоях имеются поры, создающие каналы вдоль оси *a*, которые заселены крупными катионами К, Na, Tl. Типовой материал передан в коллекцию Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5568/1.

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

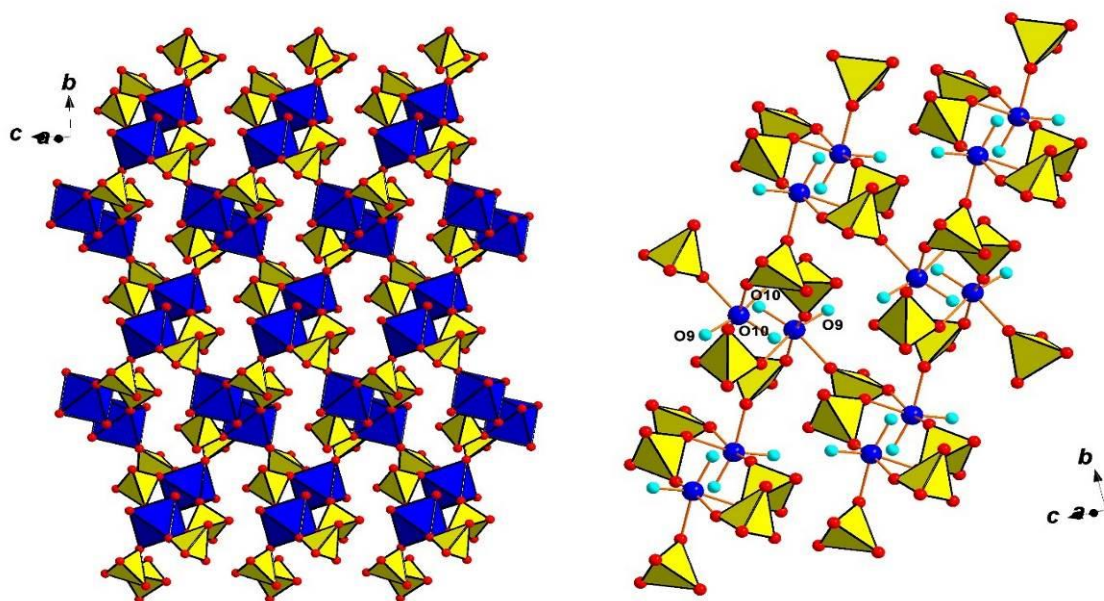


Рисунок 1.27. – Слева – полиэдрический $[\text{MoO}_2(\text{SO}_4)_2]^{2-}$ -слой в структуре хасановита (MoO_6 -октаэдры синие, SO_4 -тетраэдры желтые). Справа – увеличенный фрагмент слоя, образованный SO_4 -тетраэдрами и атомами кислорода O9 и O10 (показаны голубым цветом)

Ермаковит. Ermakovite IMA 2020-054 $(\text{NH}_4)(\text{As}_2\text{O}_3)_2\text{Br}$.

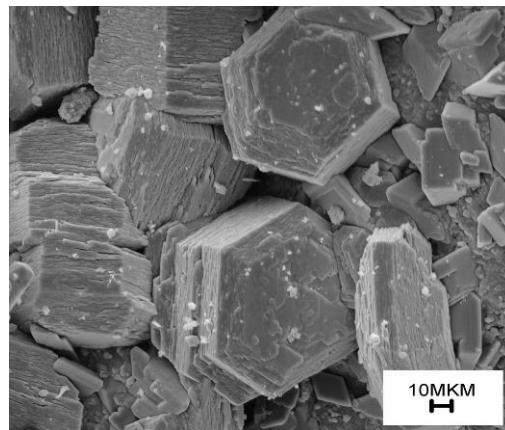
Новый оксибромид аммония и мышьяка встречен, как и хасановит, в составе псевдофумарольных отложений, возникших при разгрузке газовых продуктов горения природного угольного пожара (сай Кухи-Малик, Фан-Ягнобское угольное м-ние, Согдийская обл., Таджикистан). Ассоциирующие минералы – реальгар, бонанциит, нашатырь, аморфные сульфиды As. Охарактеризован в прошлом отчете как потенциально новый минерал [1]. Ермаковит (рис. 1.27) гексагональный, пр.гр. $P6/mmm$, $a = 5.271(3)$, $c = 9.157(6)$ Å, $V = 220.3(3)$ Å³. $Z = 1$. Назван в честь Николая Порфирьевича Ермакова (1913–1993), профессора МГУ им. М.В. Ломоносова, основателя Музея земледования МГУ. Н.П. Ермаков внес огромный вклад в становление и развитие отечественной школы по изучению газовой-жидких включений. В 1930-е годы работал в составе Таджикско-Памирской экспедиции, в рамках этих работ занимался изучением геологии Фан-Ягнобского месторождения, на котором и был найден новый минерал. В структурном отношении ермаковит является бромовым аналогом недавно открытого маурицйодинита $(\text{NH}_4)(\text{As}_2\text{O}_3)_2\text{I}$ [15] и аммонийным и бромовым аналогом лукабиндиита

(K,NH₄)(As₂O₃)₂(Cl,Br) [16] (рис. 1.29). Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. 5525/1.

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



а



б

Рисунок 1.28. – Сферокристаллы ермаковита (желтые) в сростании с реальгаром, ширина поля зрения 2.5 мм (а); сростки толстотаблитчатых гексагонально-призматических кристаллов ермаковита, фото в режиме SEI (б)

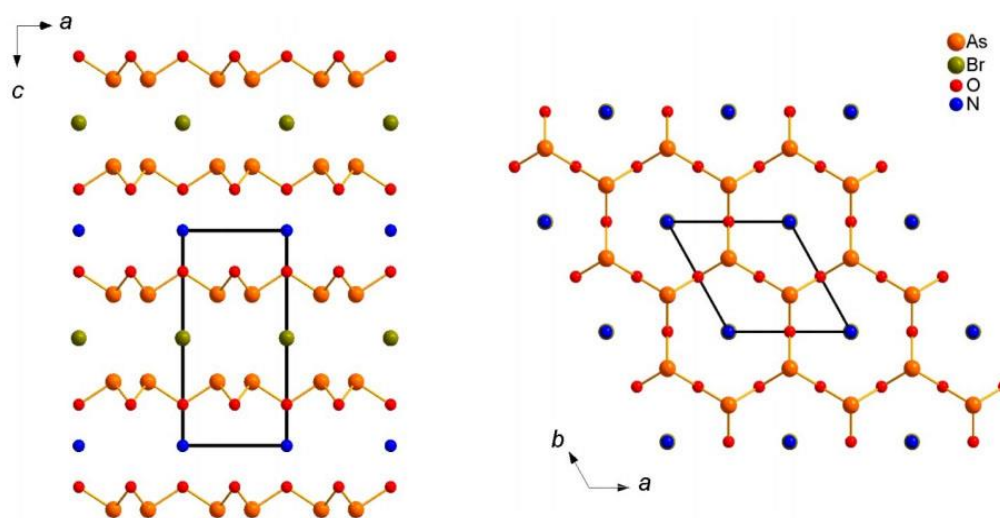


Рисунок 1.29. – Общий вид проекций структуры ермаковита

Куфарит. Kufahrite. IMA 2020-045. PtPb.

Минерал найден в россыпи Ледяной ручей (Гальмознанский массив, Корякское нагорье, Камчатка). Гексагональной сингонии, пр.гр. $R\bar{6}3/mmc$, $a = 4.2492(6) \text{ \AA}$, $c = 5.486(6) \text{ \AA}$, $V = 85.78 \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Новый интерметаллид относится к никелиновой структурной группе. Минерал назван в честь Фахрида Шакировича Кутьева (1943–1993), геолога Института вулканологии АН СССР, сыгравшего ключевую роль в открытии Корякско-Камчатского платиноносного пояса, в том числе и россыпного месторождения

платины Ледяной ручей. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5576/1 (рис. 1.30).

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

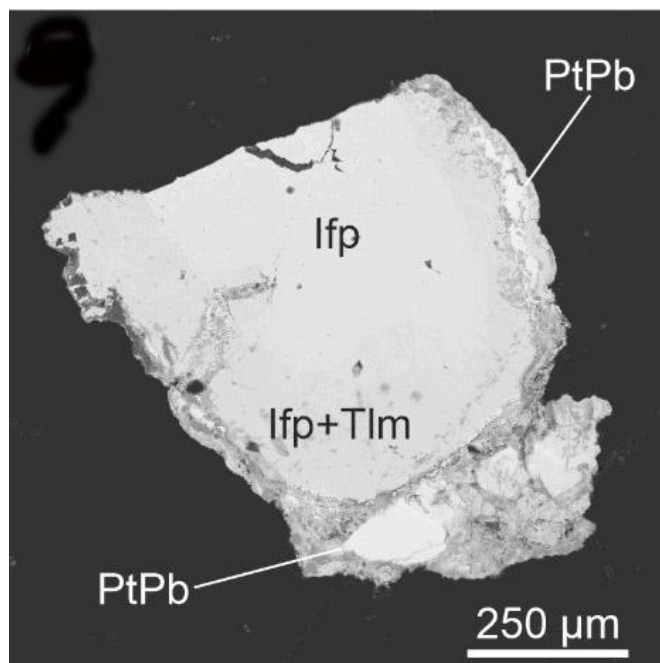


Рисунок 1.30. – Выделения куфарита (PtPd) в краевой части зерна изоферроплатины (Ifp) и туламеенита (Tlm). РЭМ-фото в отраженных электронах

Божарит. *Bojarite*. IMA 2020-037. $\text{Cu}_3(\text{N}_3\text{C}_2\text{H}_2)_3(\text{OH})\text{C}_{12}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Минерал найден на месторождении гуано, на северном склоне горы *Pabellón de Pica* в 1.5 км к югу от деревни *Chanabaya*, провинция Икике, регион Тарапака, Чили. 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 Божара (1967 г.р.). Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5574/1 (рис. 1.31).

Авторы: Чуканов Н.В., Möhn G., Зубкова Н.В., Ксенофонтов Д.А., Пеков И.В., *Агаханов А.А.*, Бритвин С.Н., Desor J. [17].



Рисунок 1.31. – Ярко-синие корочки божарита на нашатырь-галитовом агрегате. Темные выделения представляют собой очень тонкие пленки неопознанного 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 Pabellón de Pica около селения Chanabaya, Чили. Это гипергенный минерал, ассоциирующий с галитом, гипсом, нашатырем и глинистыми минералами. Он образует глобулярные пористые поликристаллические агрегаты размером до 3 мм в полостях в ассоциирующих минералах. Размер отдельных кристаллов не превышает 15 микрон. Аммонитинслейит имеет розовый до бледно-фиолетового цвет (рис. 1.32). Минерал моноклинный, пр.гр. $P2_1/n$, $a = 9.5871(1)$, $b = 9.6089(1)$, $c = 9.6467(2)$ Å, $\beta = 103.446(1)^\circ$ $V = 864.31(2)$ Å³, $Z = 4$. 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. Оригинал исследования (голотип) передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН и каталогизирован в систематическую коллекцию под инвентарным номером 97016.

Авторы: Чуканов Н.В., Möhn G., Пеков И.В., Зубкова Н.В., Ксенофонов Д.А., Белаковский Д.И., Возчикова С.А., Бритвин С.Н., Desor J. [18].



Рисунок 1.32. – Розовый аммонийинлейит с белым гипсом. Ширина поля зрения 0.7 мм

2 Минералогия природных объектов

В 2020 году сотрудники Музея проводили по собранным в предыдущие годы материалам и в меньшей степени в экспедициях исследования минералогии природных объектов Архангельской обл., Кольского региона [6, 19, 20], Урала [3, 7, 10, 21–27], Сибири [5 и др.], Чукотки [11], Камчатки [12, 14, 28–36], Кавказа [37, 38], Таджикистана [39–44], Чили [17, 18] и других регионов.

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

Продолжалось исследование фумарольной минералогии влк. Бол. Толбачик и обобщение полученных результатов. Фумарольные поля вулкана Толбачик на Камчатке – минералогический объект мирового значения. Они сформировались в результате Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. и активны до сих пор. В первые 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 [32].

В минералого-геохимическом и генетическом аспектах этот объект уникален как по масштабам концентрации в наземных эксгаляционных системах малораспространенных и редких элементов, так и по многообразию и необычности ассоциаций химических элементов. По состоянию на 2018 год в отложениях фумарол Толбачика было достоверно установлено

около 350 минеральных видов, 123 из которых впервые открыты здесь [32]. Своеобразие минерализации обусловлено уникальным для природных объектов сочетанием физико-химических условий и механизмов формирования: высокие температуры, атмосферное давление, очень высокая фугитивность кислорода, газовый транспорт большинства компонентов, прямое осаждение многих высокотемпературных минералов из вулканических газов, обладающих специфической геохимией, в том числе сильной обогащенностью щелочными и халькофильными («рудными») элементами, широкое проявление газового метасоматоза. Фумарольные поля Толбачика – самый яркий в мире пример наземных эксгальационных минералообразующих систем окислительного типа, геохимико-минералогический и генетический эталонный объект. Уникален он и в музейно-минералогическом плане вследствие удивительного разнообразия минералов и большого числа редких, а также внешней аттрактивности многих образцов.

В 2020 году из фумарольных образований Толбачика изучены и утверждены в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA два новых минеральных вида – рабдоборит-(Mo) $Mg_{12}Mo^{6+}_{1.3}O_6[VO_3]_6F_2$ [13] и манганобадаловит $NaNaMn(MgFe^{3+})(AsO_4)_3$ (описания приведены в разделе 1).

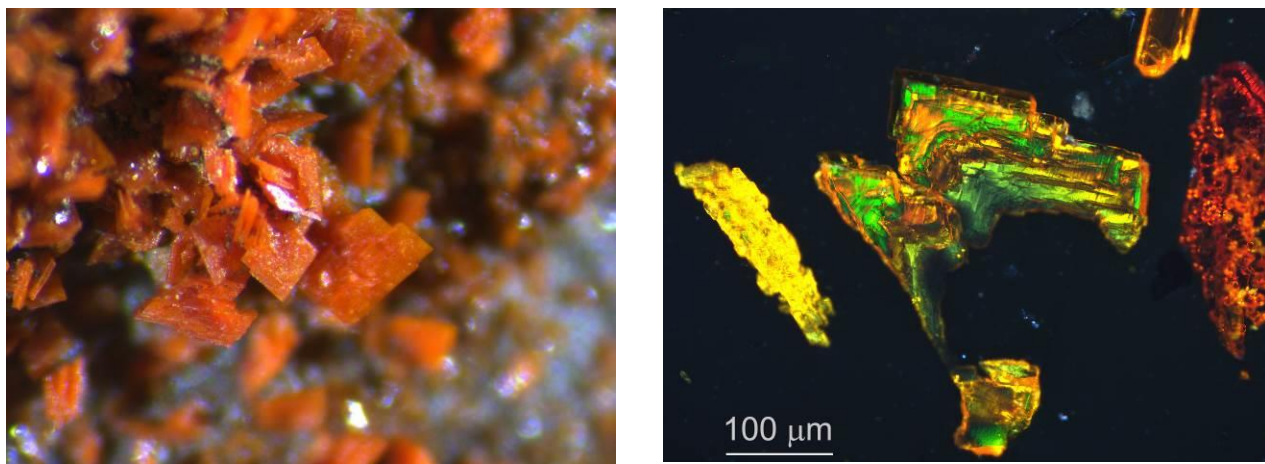
2.2 Новые данные по минералогии фумарольных возгонов подземных пожаров Фан-Ягнобского угольного месторождения (Центральный Таджикистан)

Существенно пополнены сведения по систематически изучаемой нами минерализации возгонов на угольном пожаре Фан-Ягнобского месторождения коксующегося каменного угля (~ 100 км к северу от г. Душанбе) [45, 46 и др.]. Исследования несут не только новые данные по минералогии возгонов, но и обобщают представления о механизмах минералообразования из газовой фазы.

В отложениях псевдофумарол от не связанного с деятельностью человека пожара на правом борту р. Ягноб близ бывшего кишлака Рават в верховьях урочища Кухи-Малик описано и зарегистрировано **два новых минерала**, дополнены данные по ранее найденным минералам.

Первый из открытых минералов – хасановит $KNa(MoO_2)(SO_4)_2$ (описание дано в разделе 1) – отличается интересной структурой, представляющей новый структурный тип. Второй минерал – ермаковит $(NH_4)(As_2O_3)_2Br$ – описан в отчете за 2019 год как потенциально новый оксидбромид аммония и мышьяка из низко-среднетемпературных возгонов, богатых сульфидами мышьяка [1]. Уточненные данные, фото, микрофото и рисунки проекций структуры ермаковита также приведены в разделе 1. Минерал находится в

ассоциации в том числе с редким сульфидом мышьяка бонацциитом β -As₄S₄ (рис. 2.2.1). Результаты его изучения уточнены, дополнены и подготовлены к печати. Наряду с рентгеновскими данными и химическим составом приводятся гониометрические данные (рис. 2.2.2), показывающие, что с большой долей вероятности бонацциит является параморфозой по кристаллам фазы AsS с иными, чем у бонацциита, параметрами.



а

б

Рисунок 2.2.1 – Клиновидные кристаллы бонацциита, выросшие в местах разгрузки газовых струй, с элементами скелетного роста, поле зрения 1 мм (а). Сросток кристаллов бонацциита (в центре), видны интенсивные внутренние рефлексии в кристаллах (полированный препарат в эпоксидной смоле, отраженный свет, николи +) (б)

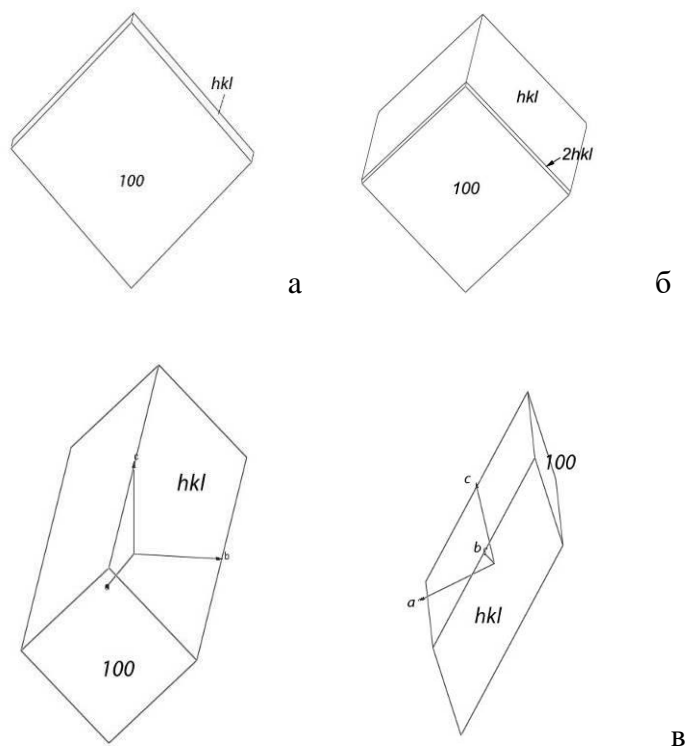


Рисунок 2.2.2 – Чертежи различных морфологических типов кристаллов бонацциита (предположительно, параморфоз по иной модификации AsS). Индексы hkl и $2hkl$ соответствуют формам (111) и (211) фазы, по которой, возможно, возникла параморфоза бонацциита

2.3 Новые данные по минералогии месторождения алмаза им. М.В. Ломоносова Архангельской алмазоносной провинции

Работа проведена в рамках систематизации морфологических признаков алмаза и набора минералов-спутников для создания методики прогнозирования качества и минералогических характеристик алмазного сырья.

В последние годы самое пристальное внимание привлекают алмазы **кубического габитуса**. Как выяснилось при детальном исследовании их внутреннего строения и конституционных характеристик, их формирование проходит через несколько стадий. При этом в одном кристалле образуются сложные переходы по цветовым параметрам или морфологическим признакам. Детальное изучение подобных кристаллов алмаза из месторождения им. М.В. Ломоносова ААП позволило выявить новые особенности формирования кубических кристаллов, что, несомненно, продвинуло наши данные об алмазе и его генезисе.

2.3.1 Алмаз кубического габитуса из месторождения им. М.В. Ломоносова

Широкое распространение алмазов кубического габитуса в кимберлитовых трубках является типоморфной особенностью месторождения им. М.В. Ломоносова [47]. В работе исследованы кристаллы из промышленной пробы трубки Архангельская, ранее нами были изучены алмазы с близкими характеристиками из трубки им. Карпинского-1.

Необходимо отметить, что кристаллы кубического габитуса весьма разнообразны в месторождении им. М.В. Ломоносова. Неординарность этих алмазов очевидна, ведь уже при первичном минералогическом описании выясняется невозможность отнесения многих из них к одной из разновидностей, выделенных Ю.Л. Орловым в минералогической классификации (1984). Им описаны три разновидности, в которых габитус кристаллов мог быть кубическим: II: визуально однородные прозрачные желтые кубы с волокнистым строением, III: просвечивающие серые кристаллы с зонально-секториальным внутренним строением и IV: кристаллы с прозрачным бесцветным октаэдрическим ядром, образованным при послойном росте, и непрозрачной волокнистой оболочкой, формирующей при сильном развитии кристалл кубического габитуса. В данной работе представлены результаты изучения внутреннего строения нескольких выборок кубических кристаллов алмаза, при этом кристаллы по своим свойствам образуют ряды перехода от одной выборки к другой (либо по цветовым, либо по морфологическим характеристикам), и наиболее контрастные различия наблюдаются в конечных членах этих рядов.

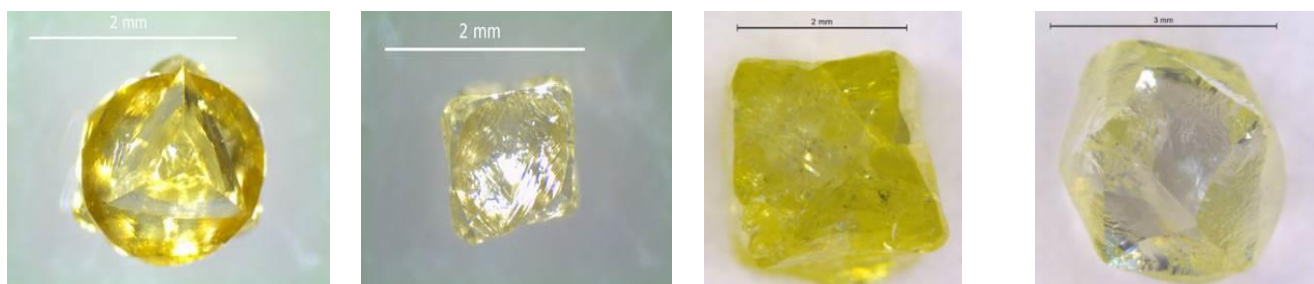
Для исследования из всего разнообразия кристаллов были отобраны прозрачные визуально однородные желтые, оранжево-коричневые различной интенсивности окраски

кубы с ровными или седловидными гранями, комбинационные кристаллы с гранями куба и тетрагексаэдроида (рис. 2.3.1.1). По принятой в России минералогической классификации Ю.Л. Орлова [48] эти кубы относятся к разновидности II. Масса кристаллов 0,04–0,40 ст. Алмазы подшлифовывались параллельно плоскости (100) на $\frac{1}{2}$ объема кристалла с целью раскрытия их внутреннего строения.

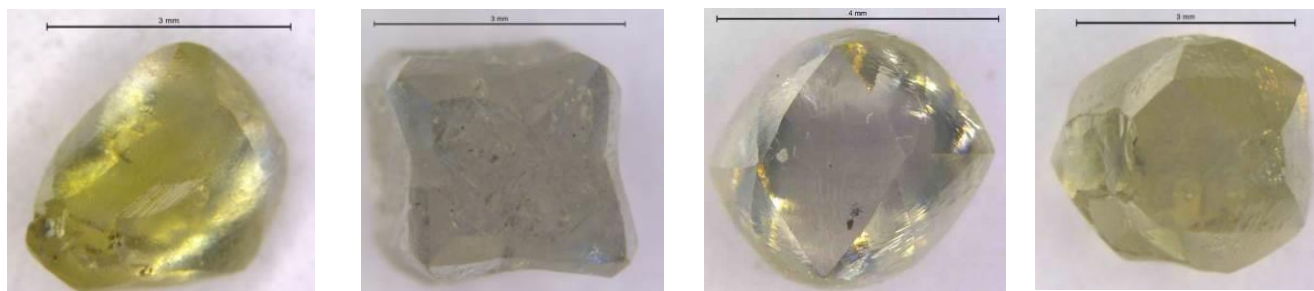
По внутреннему строению и дефектно-примесному составу визуально однородные желтоокрашенные кристаллы кубического габитуса из месторождения им. М.В. Ломоносова подразделяются на три морфогенетические группы (табл. 2.3.1.1).

В алмазах из трубок Архангельская и им. Карпинского-1 во многих желтоокрашенных кристаллах как кубического, так и додекаэдрического габитуса фиксируются дополнительные линии поглощения в области $1350\text{--}1600\text{ см}^{-1}$ (рис. 2.3.1.2). В источниках эти полосы интерпретируются как связанные с водородом, однако эти предположения не имеют пока экспериментальных обоснований.

Алмазы характеризуются высокими концентрациями азота в А-, С-, N3-форме, но не содержат азот в сложных агрегированных формах В1 и В2 систем поглощения, типичные кристаллы приведены на рис. 2.3.1.1.



Алмазы, имеющие в ИК-спектре поглощения дополнительные полосы в области $1350\text{--}1600\text{ см}^{-1}$



Алмазы, имеющие в ИК-спектре поглощения дополнительные полосы в области $3000\text{--}3400\text{ см}^{-1}$

Рисунок 2.3.1.1 – Фотографии кристаллов, типоморфных для трубок южной группы тел месторождения им. М.В. Ломоносова.

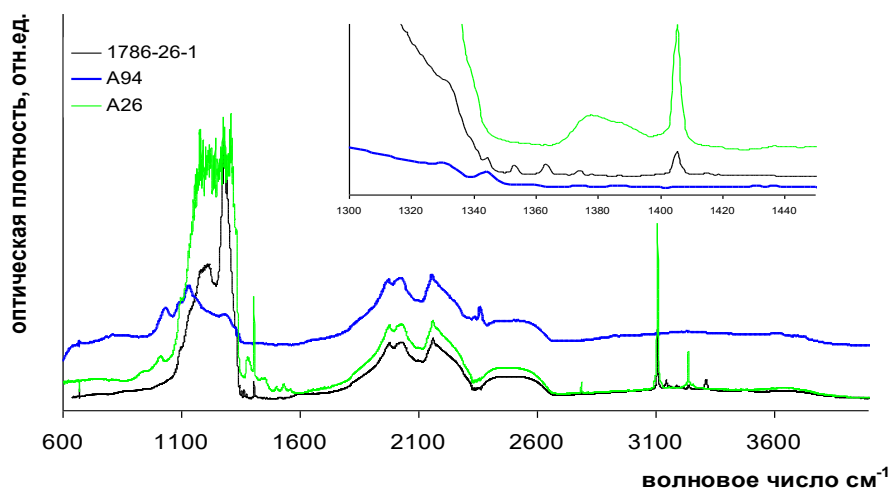


Рисунок 2.3.1.2 – Спектры оптической плотности алмазов с С-дефектами (А94, разрешение 4 см^{-1}), с дефектами А и С (1786-26-1, разрешение 1 см^{-1}), с дефектами А, В и Р (А26, разрешение 1 см^{-1}). На вставке увеличен диапазон $1300\text{--}1440\text{ см}^{-1}$.

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 С-центра (до 275 at.ppm), А- и В-центры отсутствуют (либо С-центр с незначительным проявлением центров А). Группа представлена 10 образцами (кристаллы № 1785-2-5, 1785-2-6, А186, А199, А94 и др.). Люминесценция в катодных лучах голубая слабая, фотолюминесценция – интенсивная желтая, желто-зеленая, оранжевая. Спектр содержит полосы 350, 396, 570 нм. По преобладанию С-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 ССL, связанное с наличием следов пластической деформации, регистрируемых в спектрах ЭПР (рис. 2.3.3) по центрам N2, M2 [49]. Кристаллы имеют однородное волокнистое строение или являются оболочкой большой толщины для первичного зародыша кубической или октаэдрической формы. Изотопный состав углерода $-4,9\%$, т.е. в этих кубах значительна доля глубинного мантийного углерода [50, 51].

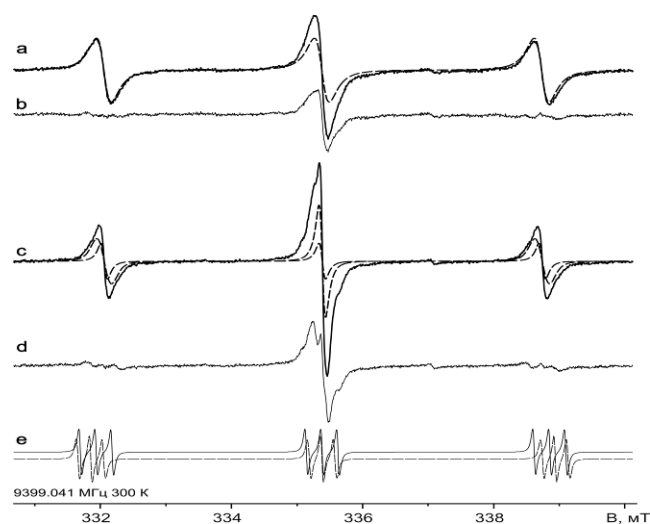


Рисунок 2.3.1.3 – Модельные компоненты (пунктирные линии спектров ЭПР на а и с) при $B \parallel [001]$ дефектных алмазов А199 и А94 (а, b), обр. А186 (с, d); с и d – остаточный спектры после удаления сигнала Р1-центров, сплошные линии – экспериментальные спектры, пунктир – расчетные спектры Р1-центров. Для сравнения даны рассчитанные для ориентации $B \parallel [001]$ спектры ЭПР М2- (сплошная линия) и М3-центров (пунктир) пластически деформированных алмазов по данным [52]

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 тетрагексаэдроида (кристаллы № А19, 1786-26-1, 1787-3-4). Кристаллы обладают синим свечением в лучах ССL, характеризуются фибриллярным однородным внутренним строением. Фотолюминесцентное 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.ppm), 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 [53]. Пример спектра с этими полосами приведен на рис. 2.3.1.4. 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} .

Таблица 2.3.1.1 – Данные ЦКЛ, 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						Физическая классификация	$\delta^{13}C, \text{‰}$	Данные ФЛС			
						N_C	N_A	N_B	P	RzP, cm^{-1}	H			N3	Другие пики		
I	A94; A1791; A1785-2-6			Однородное, полосами пластической деформации	весь объем	178	0	0	0	-	0	Ib	-4,9	N3	350, 396, 570		
	Оболочка A186; A1786				центр	Не прозрачен										-4,9	N3, S3
		край	275		0	0	0	-	1	-4,9	N3, S3						
II	1786-2-26-2; 1787-3-4; A19			Однородное	центр	80	360	0	-	-	1,6	Ia+Ib	-4,1	N3, H3	512, 503-570		
					край	87	726	0	-	-	2,0					-4,4	N3, H3
III	A26; 1791-5-2; 1787-26-2			Зональность по кубу	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	265	5	1378	4/19					-8,4	
	A2; 1786-27			Кубическое ядро	центр	0	754	212	4,7	1368	1,3	IAB	-5,4	N3	482, 517		
					край	0	1000	0	-	-	1,5					-5,4	N3
	A29			Октаэдрическое ядро	центр	0	950	130	0,6	1362	3	IAB	-7,1	N3	317, 400, 482, 515		
край					0	1200	221	-	-	2,2	-5,3					N3	
			Многократная зональность		0	784	265	4	1378	1		-8,4	N3	430, 517, 522			

Типовой спектр поглощения с указанными дополнительными пиками, а также спектр поглощения с распространенной системой 3107 cm^{-1} приведен на рис. 2.3.1.5. Наличие этих полос поглощения делает уникальным спектр ИК-поглощения данных алмазов и позволяет идентифицировать кристаллы месторождения им. М.В. Ломоносова.

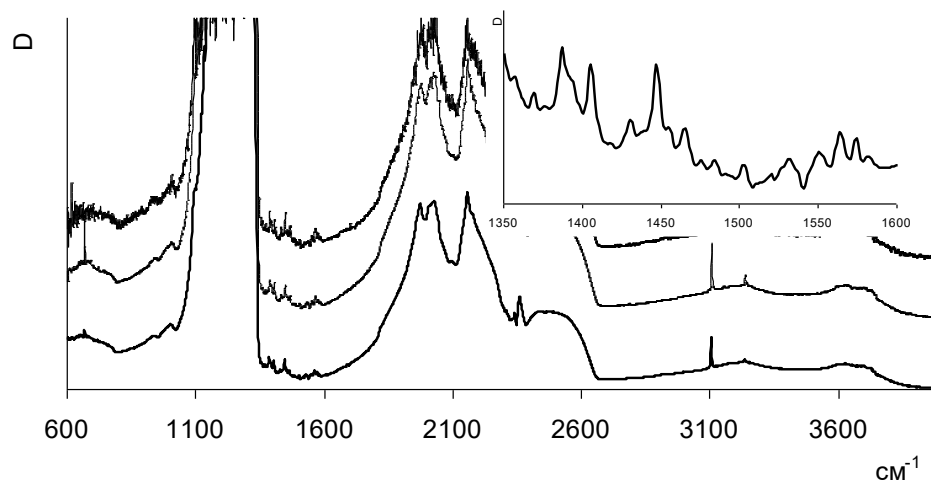


Рисунок 2.3.1.4 – ИК-спектры поглощения кристаллов с группой полос поглощения в диапазоне $1350-1600 \text{ cm}^{-1}$ (на вставке). Алмазы из трубки им. Карпинского-1, обр. КЗ-5, 3-20, 3-10

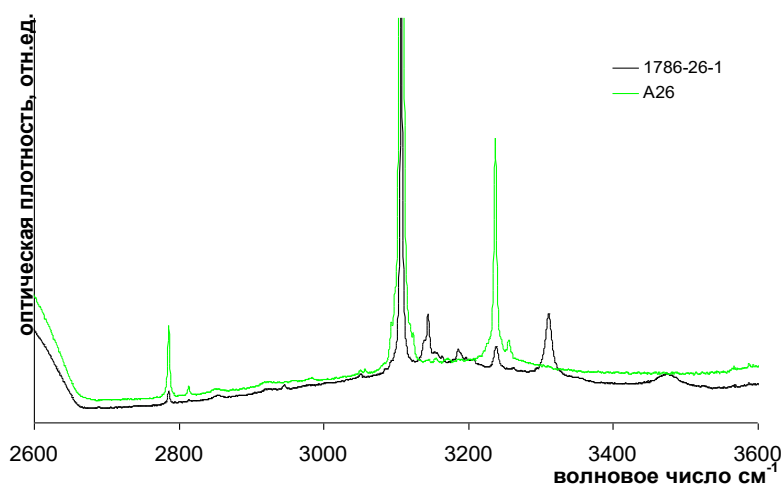


Рисунок 2.3.1.5 – Спектры оптической плотности алмаза 1786-26-1 с набором узких полос в диапазоне колебаний группы СН- и обычный спектр поглощения в этом диапазоне, кристалл А26, разрешение 1 см^{-1}

В литературе [48, 54, 55] имеется информация о дополнительных пиках, выделяемых исследователями в алмазах кубического габитуса из трубок Якутии, при этом выявленные в данной работе пики остаются уникальными. Алмазы 2-й группы имеют самый тяжелый изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$ центр/край = 4.1/4.4‰).

3-я группа алмазов характеризуется, по-видимому, наиболее длительной мантийной эволюцией. Такие кубические кристаллы имеют желтую, желто-коричневую окраску, 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.

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 послойную 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-, В-центров. Внешняя зона этих кристаллов (оболочка) сформирована при нормальном или смешанном механизме роста. По данным

ИКС все кристаллы 3-й группы высокоазотные: $900 < N_{tot} < 1750$ at.ppm (крист. № 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 $1362-1378$ 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 ($\delta^{13}C = -9.8\%$) наблюдается в кубах с нормальным механизмом роста и прямолинейной зональностью по кубу в лучах ССЛ. В зональных кристаллах отмечена закономерность незначительного утяжеления изотопного состава углерода по направлению к краю ($\delta^{13}C$ центр/край = $-7.1/-5.4\%$ и $-9.8/-8.4\%$).

Дополнительно изучены кристаллы алмаза кубического габитуса с плотной непрозрачной оболочкой с глубокими опоясывающими каналами травления. Окраска таких образцов желтая, желто-зеленая, серая.

Рассмотренные в данной работе выборки алмаза имеют черты сходства и различия с кристаллами кубического габитуса из коренных и россыпных месторождений Якутии. В Якутской алмазоносной провинции алмазы кубического габитуса являются эндемичными для коренных тел [56]: отсутствуют в трубках Малоботуобинского, Среднемархинского алмазоносных районов, в небольших количествах (менее 3%) установлены в телах Далдыно-Алакитского района (трубки Удачная, Юбилейная, Комсомольская) и являются типоморфными для россыпей Северо-Востока Сибирской платформы [57, 58]. Наиболее изучены алмазы, распространенные в россыпях Анабарского района [59, 60], обладающие насыщенной оранжево-желтой, оранжево-коричневой окраской, обусловленной наличием азота только в форме С-центра, и являющиеся ювелирным сырьем [48, 58, 61]. По данным Н.Н. Зинчука и В.И. Коптиля [58] характеризуются легким изотопным составом углерода (от -9.9 до -16.8%), что значительно отличает их от кубов из месторождения им. М.В. Ломоносова, где они обогащены тяжелым углеродом ($-4.9 < \delta^{13}C < -9.8\%$). Согласно [50, 51] это формы глубинного углерода, вынесенного в процессе дегазации мантии в земную кору. Эти различия свидетельствует о региональном типоморфизме алмазов кубического габитуса и о наличии в двух регионах различных источников углерода, из которого

происходило формирование кристаллов на последнем этапе алмазообразования. Такие показатели наиболее типичны для алмаза ультраосновного парагенезиса I и кубов разновидности III по классификации Ю.Л. Орлова, но отличаются по оптико-спектрометрическим характеристикам.

Для алмаза 1-й группы кубического габитуса с волокнистым строением и высокими концентрациями дефекта C характерны более низкие температуры роста и формирование на заключительной стадии алмазообразования. Кубы 2-й группы с доминированием A-центра над C-, видимо, формировались в более глубоких условиях с большим содержанием в среде тяжелого изотопа углерода (^{13}C) и азота, т.к. их концентрация значительно выше. Эти кристаллы подверглись кратковременному отжигу, и часть азота в структуре перешла в непарамагнитное состояние. Незначительное увеличение содержания изотопа ^{12}C в алмазах третьей группы с A- и B-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 C-центра способствовало образованию азотных дефектов в A- и B- формах и проявлению дефектов S3 в спектрах ФЛ. По наличию A- и B-центров и высоким концентрациям азота в форме A эти кристаллы по условиям роста можно поместить между октаэдрическими, додекаэдрическими алмазами разновидности I и кубическими, описанными в 1-й и 2-й группе.

Формирование внешне однотипных кубических кристаллов в трубках Архангельская и им. Карпинского-1 свидетельствует о высоко пересыщенных условиях на последних этапах кристаллизации алмазного вещества. Широкое разнообразие форм внутреннего строения алмаза позволяет предположить сложную многоэтапную историю их кристаллизации в условиях многократно изменяющегося химизма среды. Наличие резкой смены механизмов роста и изменения концентраций дефектов и их трансформация (образование B и P) говорит о возможности перерывов и непродолжительном отжиге этих кристаллов [62, 63].

По результатам исследования спектроскопии и внутреннего строения алмазов кубического габитуса можно сделать следующие выводы:

- *Визуально однородные желтоокрашенные кристаллы алмаза кубического габитуса из месторождения им. М.В. Ломоносова 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 A- и C- форме и дополнительными пиками в диапазонах 1374–1354 и 3310–2945 см^{-1} ; 3) кубы с центральной*

зоной, образованной по тангенциальному или нормальному механизму роста, с различным распределением азота в C-, A-, B- формах.

- Окраска оранжево-коричневых комбинационных кристаллов с гранями куба и тетрагескаэдроида обусловлена дефектами структуры: высокими концентрациями одиночных атомов азота и пластической деформацией.
- Доминирование смешанного механизма роста свидетельствует о высоких пересыщениях углеродом и углеводородами в среде алмазообразования при температуре, достаточной для образования секторов роста октаэдра. Тенденция кристалломорфологической эволюции (выклинивание граней последних и смена октаэдрических форм на кубические) свидетельствует о понижении температуры в процессе роста алмазов из месторождения им. М.В. Ломоносова, возможном воздействии давления, которое приводит к пластической деформации кристаллов.
- Микровключения в кристаллах кубического габитуса представлены силикатно-карбонатными фазами при преобладании существенно карбонатных фаз.
- Формирование внешне однотипных кубических кристаллов в трубке Архангельская свидетельствует о высоком пересыщении углеродом на последней стадии кристаллизации алмазного вещества и, исходя из данных по изотопному составу углерода, о мантийном источнике с изотопным составом углерода $-4.9 < \delta^{13}\text{C} < -9.8\%$. Наблюдается незначительное утяжеление изотопного состава углерода в алмазе от центральной зоны к периферии.
- Визуально однотипные по морфологии и окраске кубические кристаллы имеют различное внутреннее строение, что не позволяет использовать для их разделения общепринятую минералогическую классификацию Ю.Л. Орлова (1984), составленную по данным изучения кристаллов алмазов Якутии.
- Важной особенностью некоторых зональных кристаллов кубического габитуса является наличие не только монокристалльного ядра, но и промежуточной поликристаллической пористой зоны, существование которой выявлено при изучении их внутренней морфологии методами СЭМ, ЦКЛ, ЭПР. Это свидетельствует о резкой смене физико-химических условий и, возможно, перерывах в алмазообразовании.
- Результаты данного исследования подтверждают, что сложнзональные и пластически деформированные кубы месторождения им. М.В. Ломоносова являются уникальными образцами среди алмазов из кимберлитовых тел, такие индивиды не описаны среди алмазов из разрабатываемых трубок Якутии.
- По минералогическим и оптико-спектральным характеристикам алмазы кубического, тетрагескаэдрического и додекаэдрического габитуса (кубы, подвергнутые воздействию

процессов растворения) имеют наибольшее сходство с таковыми кристаллами из россыпей Северо-Востока Якутии. Это дает основание прогнозировать и схожесть петрохимического состава и близость условий формирования их коренных источников.

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

Среди алмазов из трубок месторождения им. М.В. Ломоносова в додекаэдрических, тетрагексаэдрических и переходных между ними формах присутствуют кристаллы с пониженной (относительно октаэдров) степенью прозрачности, что в совокупности с микроморфологией поверхности существенно осложняет геммологическую оценку цвета и степени дефектности кристаллов. Как показали исследования, снижение степени прозрачности алмаза происходит из-за присутствия микровключений, рассеянных в объеме кристалла.

Фотоизображения в оптическом микроскопе 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 невооруженным глазом, снижающие степень прозрачности кристаллов. Типичными представителями подобных кристаллов являются тетрагексаэдровиды, насыщенные микровключениями (рис. 2.3.2.1).

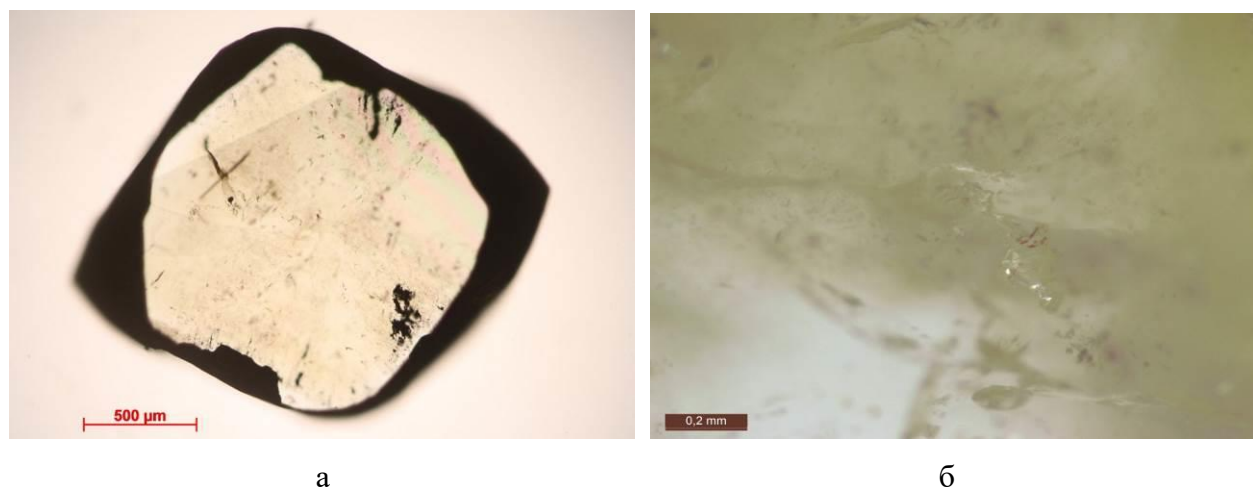


Рисунок 2.3.2.1 – Фотоизображение кристалла алмаза кубического габитуса, плоскопараллельная пластина по (110): а – общий вид, б – фрагмент кристалла с рассеянными микровключениями

В качестве примера можно привести кристалл алмаза из трубки Архангельская додекаэдрического габитуса с небольшим желтым оттенком и хорошей степенью прозрачности. В левой части фото (рис. 2.3.2.2а) зафиксировано макровключение в виде дисковидной трещины с графитом, в центральной области поверхность наиболее гладкая и удобная для наблюдения микровключений.

На фото с большим увеличением видно множество белесых точечных включений, расположенных на различной глубине в объеме кристалла (рис. 2.3.2.2б), а на дисплее монитора, соединенного с микроскопом, можно видеть и более мелкие белесые включения (рис. 2.3.2.2в).

При изучении алмазов с микровключениями установлена взаимосвязь особенностей химического фазового состава включений с внешней морфологией и содержанием основных азотных центров (табл. 2.3.2.1, 2.3.2.2). Разнообразие минералогических форм и особенности внутреннего строения изученных кристаллов представлены на рис. 2.3.2.3.

Для каждого из кристаллов, подготовленного в виде плоскопараллельной пластины, проведен рентгеноспектральный микронзондовый анализ 17–20 микровключений. Как правило, это спектры включений, близких по составу и расположенных в одной зоне кристалла. Для получения представительного состава включений, характеризующего кристалл, проведено усреднение значений (табл. 2.3.2.3).

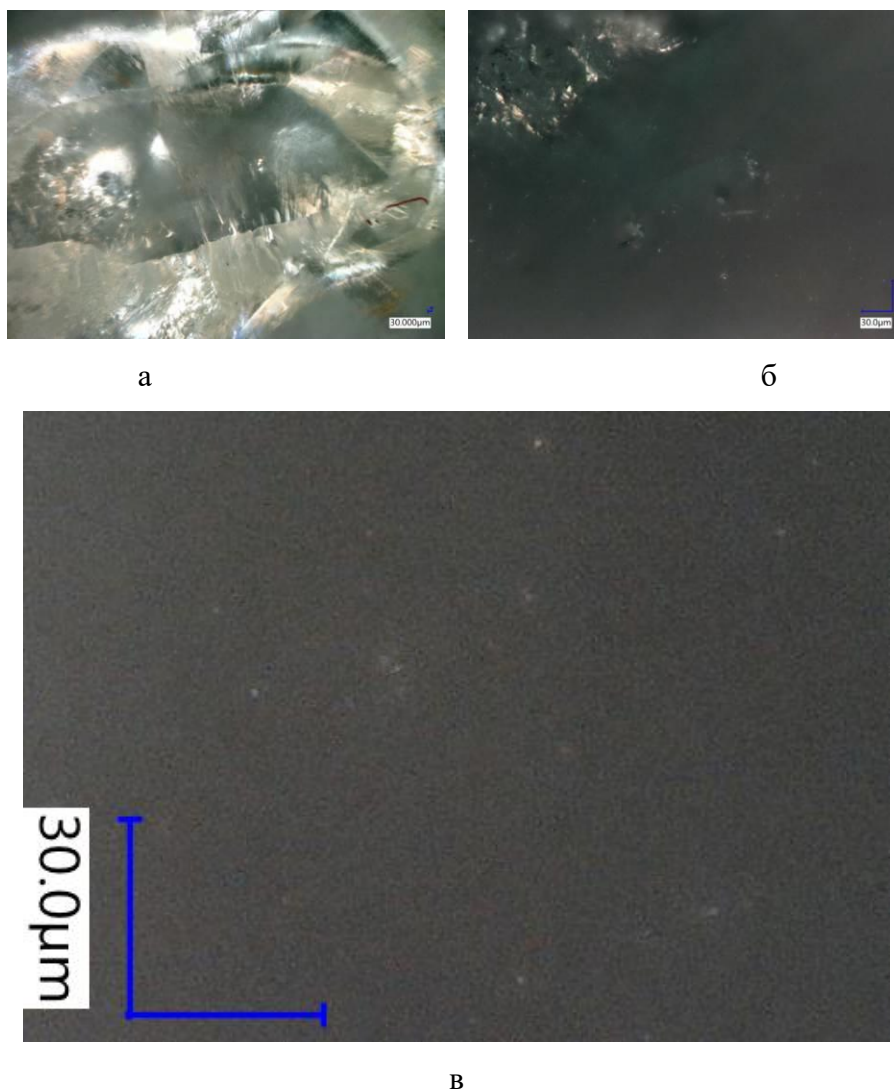


Рисунок 2.3.2.2 – Кристалл из трубки Архангельская (обр. 1А-4-17) с микровключениями, фото под оптическим микроскопом при разном увеличении: а – общий вид кристалла, б – область с микровключениями, в – увеличенный фрагмент с точечными белесыми включениями размером около 0.5 мкм

Алмазы ряда октаэдр – додекаэдронд. Алмазы месторождения им. М.В. Ломоносова не содержат ярко выраженных облакоподобных включений, но характеризуются наличием микровключений, рассеянных в объеме кристаллов и снижающих их прозрачность (рис. 2.3.2.2). По данным ИК-спектроскопии такие кристаллы относятся к IaA-типу по физической классификации. Алмазы высокоазотные ($N_{tot} = 1290\text{--}2450$ ppm), со средней степенью агрегации азота в В-форму (около 20–50%). Кристаллы отличаются высокими коэффициентами поглощения по пикам водорода (3107 см^{-1}): до 25 см^{-1} . При этом в спектрах кристаллов регистрируются малоинтенсивные пики поглощения силикатов и пики 1650 см^{-1} , отвечающие включениям воды в молекулярной форме. Пики, соответствующие гидроксильным формам, в спектрах отсутствуют.

По данным рентгеноспектрального анализа алмазы комбинационного габитуса ряда октаэдр – додекаэдронд характеризуются карбонатно-силикатным фазовым составом с повышенной К-На-составляющей и железистостью.

Алмазы тетрагексаэдрического габитуса. Визуально однородные кристаллы: от совершенно прозрачных до индивидов, прозрачность которых может быть понижена из-за рассеянных в объеме микровключений. На основании анализа полученных спектров ИК-поглощения установлено (табл. 2.3.2.1), 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, до 16 см^{-1} , и карбонатных фаз. Такое сочетание структурно-примесных дефектов обусловлено зонально-секториальным строением, что продемонстрировано на картинах аномального двупреломления. В микровключениях преобладают алюмосиликатные фазы, отметим в них высокое содержание титана (до 8.8%), в 2–3 раза выше, чем в кристаллах других форм (табл. 2.3.2.2).

Кубические кристаллы, желтые непрозрачные с толстой оболочкой, так называемые «эмалевые кубы», являются среднеазотными ($N_{tot} = 710\text{--}1000$ at.ppm), количество азотных дефектов несколько снижается от центра к краю алмаза. Некоторые кристаллы данной группы характеризуются наличием малого октаэдрического ядра. В основном объеме и краевых зонах доминирующей формой азота в алмазах являются А-центры.

Для кубов характерна низкая степень агрегации азота в В-форму (14–25%). В спектрах ИК-поглощения регистрируются пики водорода, минимальные по интенсивности среди изученных групп кристаллов ($0.4\text{--}1.2\text{ см}^{-1}$), но характерны пики силикатных фаз включений. Преобладание (максимальные значения среди кристаллов разных форм) алюмосиликатных микровключений подтверждается данными рентгеноспектрального анализа: SiO_2 49–61 мас.%, Al_2O_3 6.5–15 мас.%; карбонатные фазы отмечаются в незначительных количествах.

В желтоокрашенных прозрачных кубах околуювелирного качества микровключения в настоящем исследовании не зафиксированы.

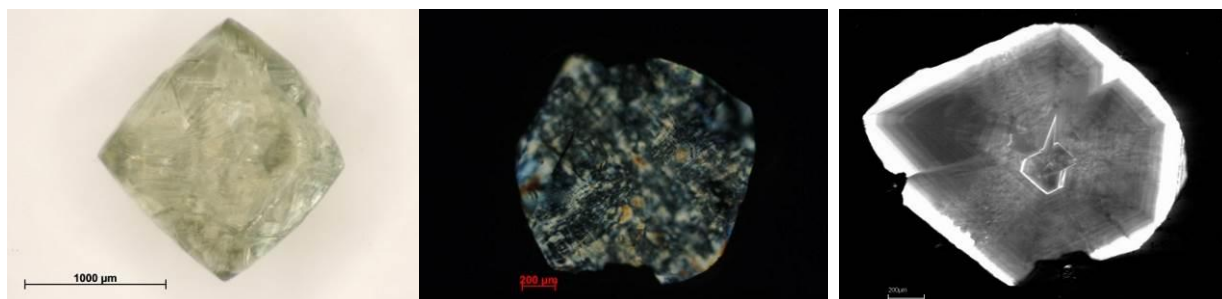
Картирование пластин по наличию водородных дефектов, карбонатных, силикатных фаз выявило локальные незакономерные всплески их содержания. Распределение этих микровключений не коррелирует с картиной распределения примеси азота и водорода в алмазе.

Алмазы в оболочках разновидности IV являются уникальными по наличию включений. Рассмотрим данные кристаллы более детально.

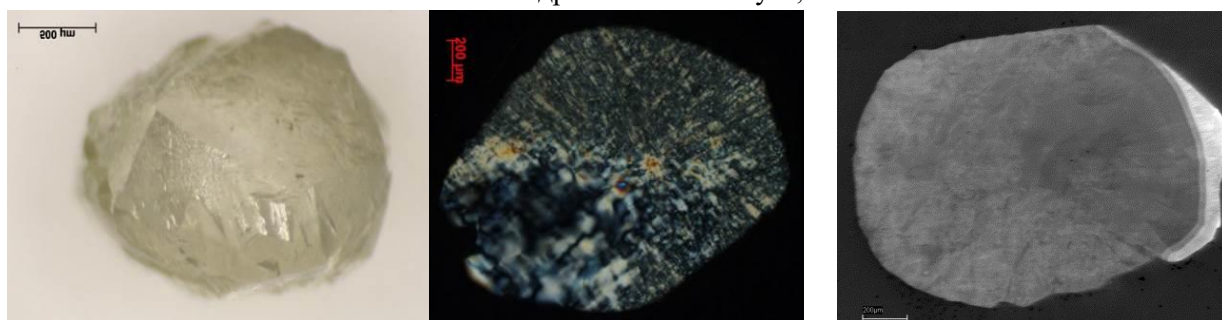
Изученный алмаз с фрагментами тонкой оболочки имеет невысокое содержание азота ($N_{tot} = 450 \text{ at.ppm}$). Ядро кристалла образовано послойным механизмом роста, в центре отмечается зародыш кубической формы, зафиксированный при ультрафиолетовом облучении. В ядре отмечаются относительно высокие концентрации азотных центров и наличие плейтелетс ($P = 5.9 \text{ см}^{-1}$). Коэффициент поглощения водорода 0.7 см^{-1} . Состав микровключений отвечает карбонатно-силикатным смешанным фазам.

Алмазы с плотными непросвечивающими оболочками из трубок Архангельская и им. Карпинского-1 отличаются широким диапазоном поглощения водородных центров ($0.5\text{--}6.6 \text{ см}^{-1}$). В спектрах ИК-поглощения фиксируются максимально высокие коэффициенты поглощения карбонатных фаз на 1430 см^{-1} : $1.0\text{--}5.5 \text{ см}^{-1}$.

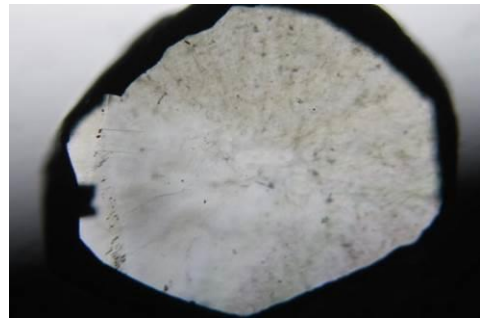
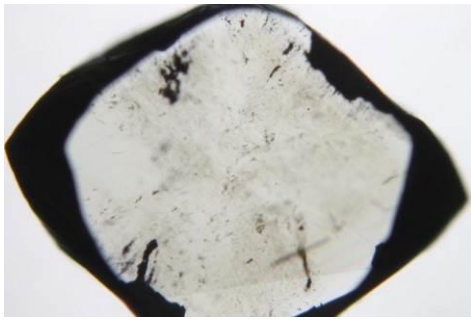
По содержанию основных азотных центров данные алмазы относятся к морфогенетической группе умеренноазотных низкоагрегированных кристаллов: суммарный азот $700\text{--}1300 \text{ at.ppm}$, $B = 9\text{--}21\%$. В некоторых кристаллах отмечаются незначительные содержания С-дефектов.



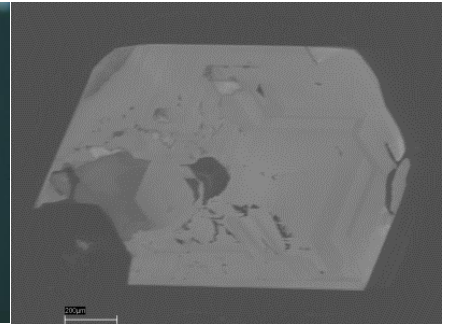
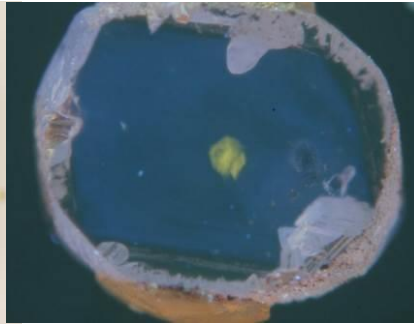
Алмаз октаэдрического габитуса, 32-2



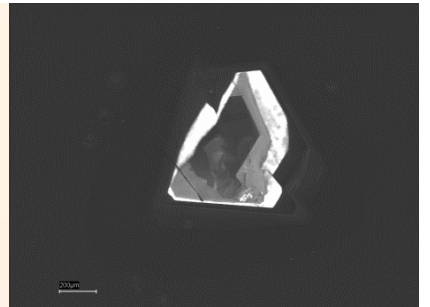
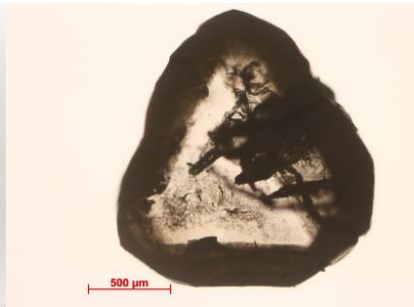
Тетрагексаэдронд, 25-1



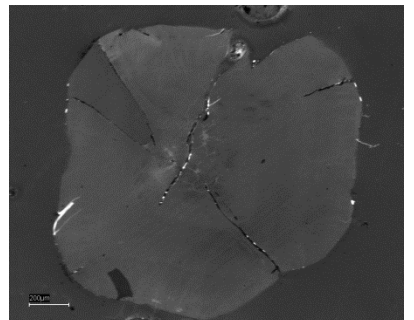
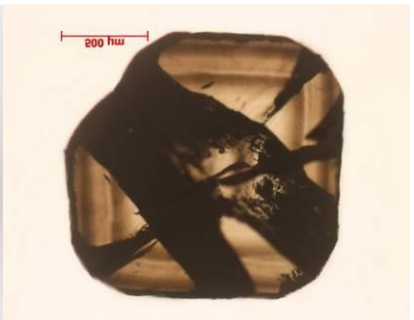
Микровключения в кристаллах октаэдра 32-2 и тетрагексаэдроиде 25-1



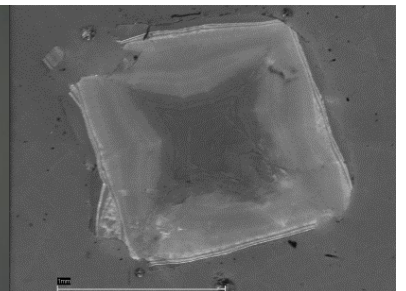
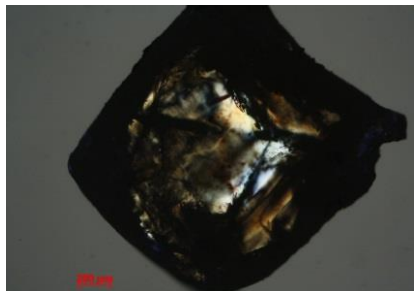
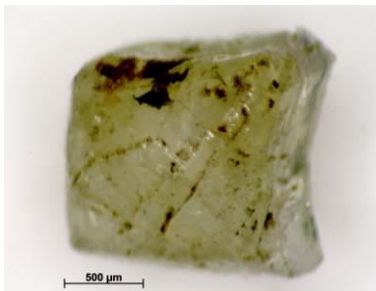
Алмаз додекаэдрического габитуса с тонкой оболочкой 33-5



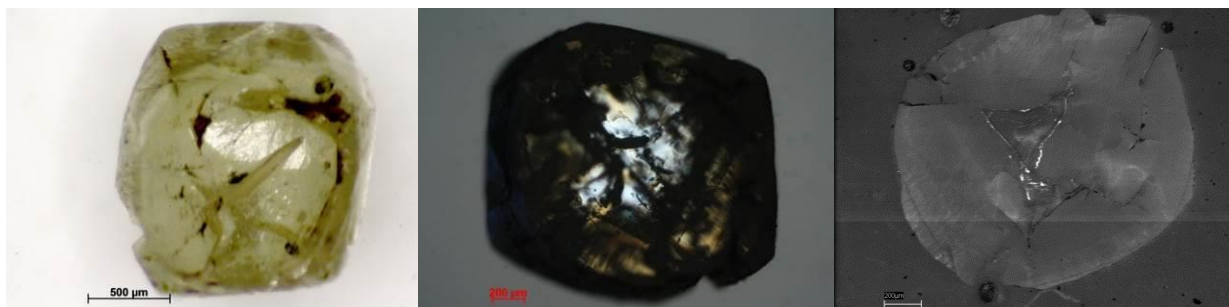
Шпинелевый двойник с толстой оболочкой



Алмаз кубического габитуса с плотной оболочкой, «эмалевый куб», волокнистый механизм роста, послойная зональность по кубу



Алмаз кубического габитуса с плотной оболочкой, «эмалевый куб», смешанный механизм роста центральной зоны



Алмаз кубического габитуса с плотной оболочкой, «эмалевый куб», смешанный механизм роста центральной зоны

Рисунок 2.3.2.3 – Алмазы октаэдрического, тетрагексаэдрического и кубического габитуса с микровключениями, трубка Архангельская, масса кристаллов 0.10–0.20 ст

Таблица 2.3.2.1 – Дефектно-примесный состав алмазов с наноразмерными включениями из трубок Архангельская и им. Карпинского-1

Форма кристалла алмаза	Азотные-центры						Водород CH, cm ⁻¹	Вода [1650], cm ⁻¹	Силикаты [800], cm ⁻¹	Карбонаты [1430], cm ⁻¹
	N _{tot} , ppm	A, ppm	B1, ppm	%B	P, cm ⁻¹	C, cm ⁻¹				
Тетрагексаэдроид	2143	1403	740	34	-	-	16	-	+	1.5
Октаэдр	1800/ 1290–2450	920/ 625–1210	950/ 660–1240	30/ 20–50	-	-	20/ 15–25	+	+	-
Алмаз в оболочке, тонкая оболочка	450	350	98.8	23	5.9	-	0.7	2.3	-	2.5
Алмазы в оболочке, толстая оболочка	1040/ 770–1300	815/ 700–970	195/ 64–340	17/ 9–21	-	+	3.2/ 0.5–6.6	-	-	1.6/ 1–5.5
Плотный эмалевый куб	850/ 710–1000	700/ 550–800	160/ 100–190	19/ 14–25	-	-	0.8/ 0.4–1.2	1.5/ 0.8– 2.5	1.7/ 1.3–2.1	0

Примечание. «-» – полосы поглощения не регистрируются; «+» – регистрируются слабые полосы поглощения. Числитель – среднее значение, знаменатель – минимальное и максимальные значения.

Таблица 2.3.2.2 – 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, Вг отсутствуют. Числитель – среднее значение. знаменатель – минимальное и максимальное значения.

Таблица 2.3.2.3 – Представительные составы микровключений в кристаллах алмаза из трубок Архангельская и им. Карпинского-1

№ образца	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ba	K+Na	Si+Al	Ca+Mg+Fe
-----------	---	----	----	----	----	---	---	----	---	----	----	----	----	----	------	-------	----------

Кристаллы разновидности II

A209	63.4	3.5	15.5	0.2	2.8	1.0	0.0	1.1	2.0	7.1	0.8	0.0	2.3	0.3	5.5	3.0	24.8
1787-3_2	63.2	2.7	5.3	1.1	4.3	1.3	0.0	0.7	4.5	10.0	0.8	0.0	6.0	0.1	7.1	5.3	21.3
1785-4	63.0	3.4	15.1	0.5	3.4	1.1	0.0	0.9	2.3	6.8	0.9	0.0	2.5	0.2	5.7	3.8	24.3
1787-3_1	69.6	1.6	3.5	1.4	8.2	0.2	0.0	0.2	2.8	7.9	0.6	0.0	4.0	0.0	4.4	9.6	15.4
A-207	66.9	3.6	4.7	0.9	5.8	0.4	0.0	0.6	4.8	7.2	0.7	0.0	4.4	0.0	8.4	6.7	16.3
1785-3	59.2	1.0	3.3	3.4	18.7	1.0	0.0	0.5	4.7	4.2	0.9	0.0	3.1	0.0	5.7	22.2	10.5
A_210	71.1	0.2	1.5	2.9	16.7	0.1	0.0	0.0	3.4	2.9	1.0	0.0	6.8	0.0	3.6	19.6	11.2

Кристаллы разновидности IV

A_213center	65.1	0.6	1.6	4.8	21.7	0.0	0.0	0.0	4.4	2.2	1.1	0.0	1.8	0.0	5.0	26.5	5.6
A_213margin	69.3	0.9	1.7	4.9	17.7	0.2	0.0	0.1	3.4	1.2	0.4	0.0	0.4	0.0	4.2	22.6	3.3
1783-313margin	77.3	0.5	0.3	2.5	16.9	0.0	0.2	0.1	2.6	0.6	0.3	0.0	6.7	0.0	3.1	19.4	7.6
1787-313center	73.3	1.1	0.6	3.8	18.3	0.0	0.0	0.1	3.6	0.7	2.4	0.0	4.1	0.0	4.7	22.1	5.4
1784-33-Sear1	70.1	2.2	4.6	2.0	9.8	0.7	0.0	0.1	3.1	5.1	0.5	0.0	2.3	0.0	5.3	11.8	12.0
1784-33-Scenter	73.0	1.4	3.3	2.2	12.5	0.3	0.0	0.6	4.2	2.9	1.2	0.0	1.0	0.0	5.6	14.7	7.1
1784-33-Sear2	77.3	0.0	4.1	1.3	6.8	0.1	0.0	0.0	2.4	4.8	0.3	0.0	2.8	0.0	2.4	8.1	11.8
1784-32-2rim	80.8	0.0	6.9	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	5.1	3.3	0.3	0.0	0.9	0.0	5.1	2.8	11.0
1784-25-1	73.9	0.0	1.6	1.1	10.7	2.3	0.0	0.2	5.1	0.6	2.1	0.0	2.0	2.4	5.1	11.8	4.2
1784-34-7	73.4	0.7	6.5	0.3	4.0	0.4	0.4	1.2	13.5	0.8	0.0	0.0	13.4	1.2	14.2	4.3	20.7

Расположение точек результатов микронзондового анализа на треугольной диаграмме составов микровключений позволяет сделать вывод, что для алмазов из трубок Архангельская и им. Карпинского-1 характерен существенно карбонатный тренд состава микровключений для кубоидов и тетрагексаэдроидов и алюмосиликатный, силикатно-карбонатный тренд для кристаллов в оболочках (рис. 2.3.2.4).

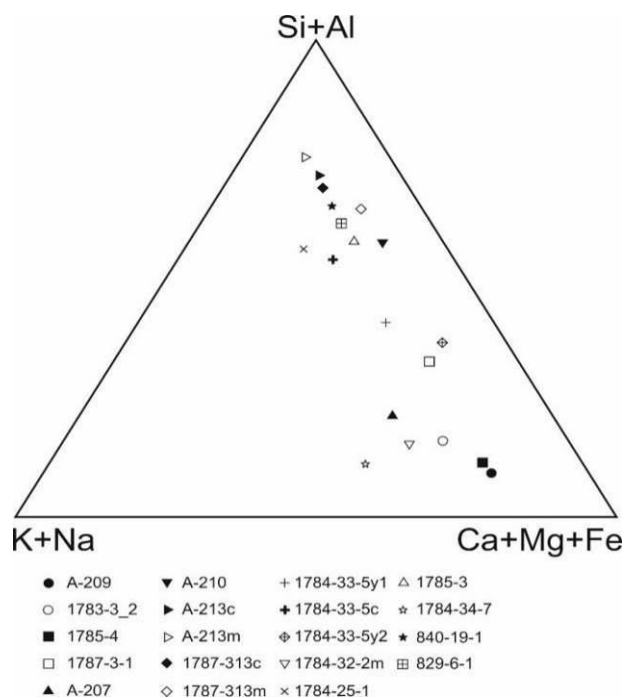


Рисунок 2.3.2.4 – Особенности состава расплав-флюидных наноразмерных включений в алмазах месторождения им. М.В Ломоносова

Алмазы разновидности I с облакоподобными включениями, характеризующиеся сменой механизмов роста и преобладанием октаэдрических секторов роста на завершающей стадии алмазообразования, имеют силикатный, алюмосиликатный тренд состава микровключений при существенной щелочности.

Кристаллы тетрагексаэдрического и кубического габитуса в месторождении им. М.В. Ломоносова образованы глубинным мантийным углеродом (δC^{13} –4–5%) [64], обладают микроволокнистым строением и имеют алюмосиликатный состав микровключений.

В оболочках алмазов разновидности IV установлены как карбонаты, так и алюмосиликаты, т.е. карбонатно-силикатный тренд состава наноразмерных включений.

2.4 Новые данные по минералогии Воронцовского золоторудного месторождения (Северный Урал)

Значительно продвинулась работа по изучения **уникальной таллиевой минерализации** Воронцовского золоторудного месторождения. Воронцовское месторождение локализовано среди порфиритов и туфов андезитового состава, туффитов и известняков раннедевонского возраста, местами скарнированных под воздействием Ауэрбаховского массива. Воронцовское золоторудное месторождение на Северном Урале является уникальным не только в России, но и в мире по разнообразию и своеобразию Tl-Hg-Mn-As-Sb-S-минерализации. Всего на месторождении установлено 209 минералов, включая

восемь новых минеральных видов, открытых с участие наших сотрудников: воронцовит, ферроворонцовит, цыганкоит, гладковскиит, люборжакит, походяшинит, гунгерит и ауэрбахит. Помимо этого, 40 минералов найдены впервые на территории Российской Федерации и еще 89 – впервые для Воронцовского месторождения. Систематическое исследование руд этого объекта позволило установить в них девять наиболее устойчивых минеральных ассоциаций, семь из которых приурочены к карбонатным 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 [24, 65].

За отчетный год по материалам Воронцовского месторождения было описано и утверждено в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA четыре новых минеральных вида: люборжакит Mn_2AsSbS_5 [10], походяшинит $Cu_2Tl_3Sb_5As_2S_{13}$, гунгерит $TlAs_5Sb_4S_{13}$ и ауэрбахит $MnTl_2As_2S_5$. Это сульфосоли с весьма интересными кристаллическими структурами. Причем походяшинит и гунгерит не имеют аналогов как по химическому составу, так и по кристаллической структуре. Три минерала из открытых пополняют короткий список минералов рассеянного элемента таллия, в минералогию которого наши исследования вносят существенный вклад. Описания новых минералов приведены в разделе 1.

2.5 Новые данные по редкоземельной минерализации месторождения Мочалин Лог, Южный Урал, Россия

Продолжена работа по редкоземельной минерализация Мочалина Лога и обобщению полученных результатов [21–23]. Объект расположен в самой южной части Вишневогорского массива в Потаниных горах, Южный Урал. Проявление возникло в результате фенитизации, связанной с гранитными пегматитами, локализованными среди гранито-гнейсов в экзоконтакте щелочной интрузии Потаниных гор, Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса. Редкоземельная минерализация найдена в полиминеральных гальках-нодулях. Минералы очень часто образуют тонкие срастания и во многих случаях характеризуются значительной внутрифазовой неоднородностью, в частности широкими вариациями соотношений лантаноидов. Несмотря на долгую историю исследования месторождения, минералы Мочалина Лога все еще нельзя считать достаточно хорошо изученными.

За этот год на месторождении Мочалин Лог были изучены и утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA два новых минеральных вида: бираит-(La) $La_2Fe^{2+}(CO_3)(Si_2O_7)$ и

алекскузнецовит-(Ce) $\text{Ce}_2\text{Mn}(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)$ (описаны в разделе 1). Таким образом, число открытых на проявлении с участием авторов отчета новых минералов увеличилось до восьми, шесть из которых лантановые.

2.6 Новые данные по минералогии Ковдорского и Ловозерского массивов (Кольский полуостров)

Ловозерский и Ковдорский массивы являются предметом многолетнего систематического изучения сотрудников музея.

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 карбонатитового массива методами порошковой рентгенографии, инфракрасной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния, термического анализа [19].

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. 3.1). Показано, что при нагревании ковдорскита до $T = 550$ К удаляется кристаллизационная и частично конституционная (ОН-группы) вода, при нагревании до 730 К происходит полная дегидроксилизация минерала и дальнейшая его дегидратация с образованием фосфатного стекла.

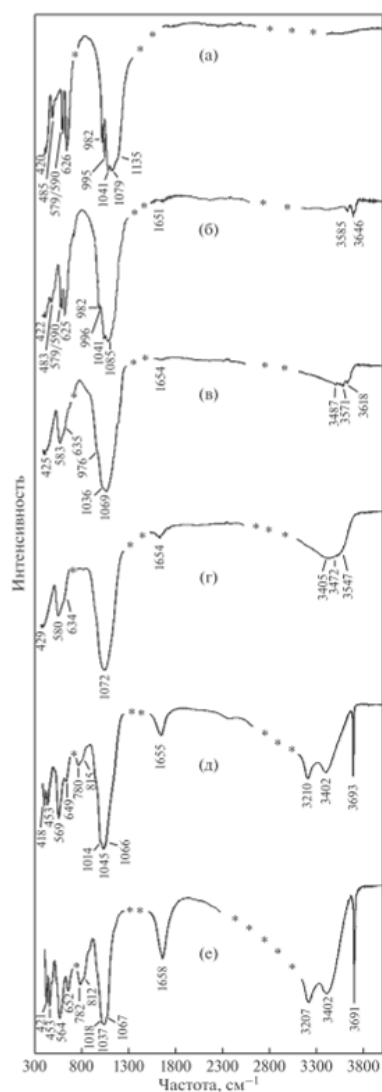


Рисунок 3.1 – Спектры ИК-поглощения ковдорскита (е) и продуктов его нагревания до T = 550 (д), 730 (г), 810 (в), 980 (б) и 1140 К (а)

Ловозерский щелочной массив – один из самых знаменитых, он отличается рекордным количеством находок новых и редких минералов и выдающимися образцами. На руднике Карнасурт Ловозерского щелочного массива в высокоагпаитовых фойяитах был открыт, изучен и в отчетном году утвержден новый член группы эвдиалита **сергеванит** $\text{Na}_{15}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [6]. *Группа эвдиалита* была в отчетном году дополнена сотрудниками музея по результатам изучения минералогии еще одного знаменитого щелочного массива – Одихинча (Таймырский р-н Красноярского края, Ц. Сибирь). Одихинчаит $\text{Na}_{10}\text{Sr}_3\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{73}(\text{OH})_3(\text{CO}_3) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ [5] из прожилка в нефелиновом сиените также описан в разделе 1.

2.7 Новые данные по минералогии редкометалльных гранитных пегматитов Юго-Западного и Восточного Памира (Горно-Бадахшанская АО, Таджикистан)

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 дайеой 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 JCXA-733, Si(Li)-детектор и система анализа INCA Oxford), получены изображения в режиме BSE [43]. Для минерала характерно повышенное содержание гафния и урана. Причем если обычно в цирконах отношение $\text{HfO}_2/\text{ZrO}_2$ равно 0.01, в намангутском оно больше на порядок. Если, как правило, для циркона не характерно заметное содержание урана, то в намангутском UO_2 определяется в количестве от 1.28 до 2.67 (среднее 2.21) мас.%. Это связано, по-видимому, с изоморфным вхождением 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 боккиту $(\text{Ca}, \text{Th}, \text{REE})(\text{PO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$.

В *миароловом гранитном пегматите Лесхозовский*, правый борт реки Шахдары (приток реки Гунт) в среднем течении (ЮЗ Памир, Рошткалинский р-н ГБАО, Таджикистан) открыт, изучен и утвержден новый минерал шахдараит-(Y) ScYNb_2O_8 . Относится к структурному типу брукита, описание, фото и проекции полиэдрических изображений структуры приведены в разделе 1.

Дополнены данные по минералогии *миароловых гранитных пегматитов Ранкульского пегматитового поля* на Восточном Памире, ГБАО, Таджикистан. Детально описаны находки **висмутоколумбита** BiNbO_4 , найденного в виде кристаллов до 2 см в миароловых полостях пегматитовых жил Мика, Малыш и в виде вростков 20–30 мкм в Sc-содержащем колумбите-Mn в сростании с эшинитом-(Y) в околониарольном комплексе пегматита Дорожный [40]. По-видимому, наше описание висмутоколумбита является вторым после описания его в пегматите Данбуритовый в Ц. Забайкалье [66]. Кристаллы измерены на гониометре. Определены их физические свойства и химический состав, приведены рентгеновские порошкограммы. Обсуждаются возможные причины большей редкости висмутоколумбита по сравнению со стибиоколумбитом и их Ta-аналогами.

2.8 Новые данные по цирконометрии пород кристаллического фундамента Большого Кавказа

Получены новые данные по *цирконометрии* пород кристаллического фундамента Большого Кавказа. В зоне Главного хребта, в долине р. Баксан, была отобрана проба лейкократовых ортогнейсов из основания Дангузорунской свиты у подножья г. Чегет. Эти

породы образовались в условиях регионального метаморфизма эпидот-амфиболитовой фации, они находятся в составе палеозойского гнейс-сланцевого комплекса Большого Кавказа и не имеют признаков плавления и мигматизации. Для этих ортогнейсов по U–Pb-изотопной системе цирконов получен возраст магматической стадии 480 Ма.

Возможно, ортогнейсы г. Чегет являются метавулканитами, которые изначально являлись эффузивными аналогами гранитоидов ущелья Адырсу (проба 512-1). Ранее для гранитоидов Адырсу была получена датировка 460 Ма (см. отчет Минмузея РАН за 2017 г.) и также установлено, что это возраст кристаллизации расплава гранодиоритов на стадии инициального магматизма, который непосредственно предшествовал палеозойскому региональному метаморфизму на Северном Кавказе [67].

Петрологические исследования показывают, что максимальные значения термодинамических параметров регионального метаморфизма в этой зоне супраструктуры кристалликума Большого Кавказа оцениваются на уровне: $T = 500\text{--}550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2\text{--}3\text{ кбар}$ [68, 69], скорость охлаждения метаморфической системы на ретроградной стадии составляла $1\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$, а термальный пик метаморфизма проявился на рубеже девона и силура, в период 400–420 Ма.

Из ортогнейсов г. Чегет была извлечена фракция кристаллов циркона размерностью порядка 100 мкм. Морфология кристаллов исследована с помощью оптической микроскопии (рис. 2.8.1). Внутреннее строение кристаллов и фазовая однородность минералов изучались с помощью сканирующего электронного микроскопа и катодолюминесценции (рис. 2.8.2).

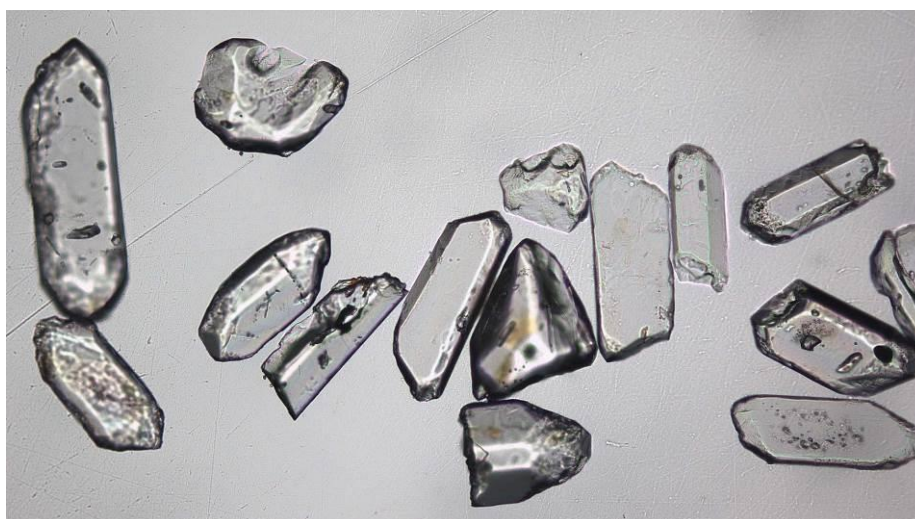


Рисунок 2.8.1 – Изображение кристаллов циркона в проходящем свете. Фракция циркона (~ 100 мкм) представлена прозрачными цирконами призматического габитуса. Кристаллы магматического генезиса хорошо сохранились в условиях регионального метаморфизма эпидот-амфиболитовой фации, большинство кристаллов имеют четкие грани и ребра без признаков растворения

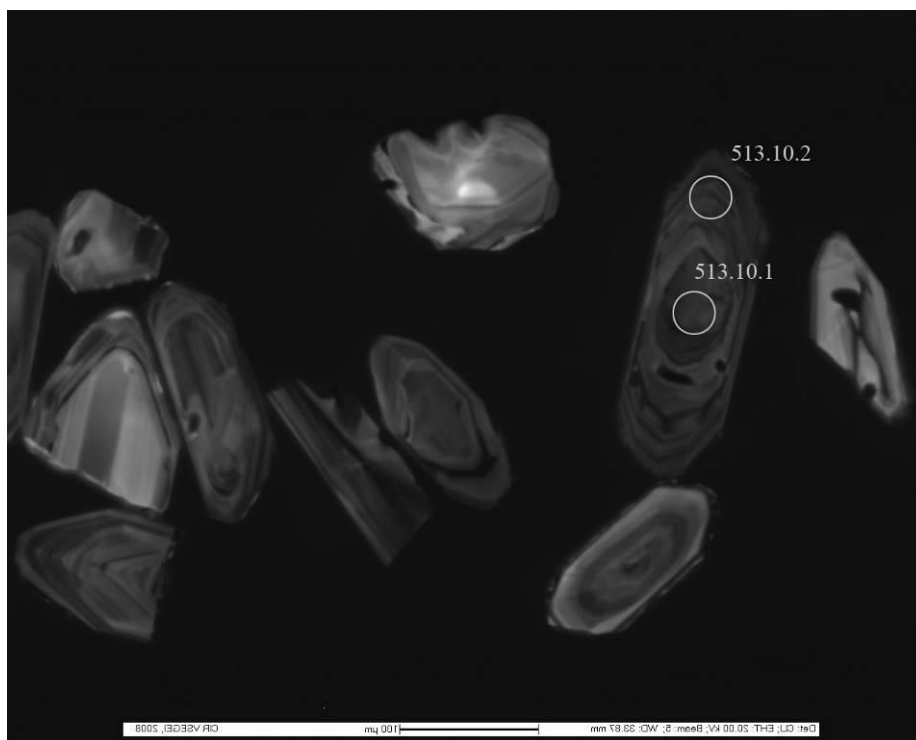


Рисунок 2.8.2 – Изображение в катодолюминесценции внутреннего строения зональных зерен циркона из лейкократовых ортогнейсов г. Чегет (маркер 100 мкм). Отчетливо видны древние кластогенные ядра и ростовая зональность новообразованных кристаллов магматического генезиса.

Точки зондирования обозначены светлыми кружками. Точка 10.1 попадает на древнее ядро с возрастом около 650 Ма, точка 10.2. с возрастом 480 Ма находится в привершинной, краевой части удлиненного кристалла циркона, она характеризует этап роста кристалла на магматической стадии

Измерение изотопного состава цирконов выполнялось на ионном микрозонде SHRIMP-II в ЦИИ ВСЕГЕИ. Все исследованные зерна циркона из гнейсов пробы №513 имеют зональное строение и часто содержат древние ксеногенные ядра. Практически все U–Pb-изотопные датировки лежат на конкордии и демонстрируют широкий возрастной спектр 470–780 Ма (рис. 2.8.3), но только молодые датировки краевых частей зерен циркона образуют кластер с возрастом 480 Ма (рис. 2.8.4), который фиксирует возраст образования исходных гранитоидов инициального магматизма на прогрессивном этапе развития регионального метаморфизма на Северном Кавказе.

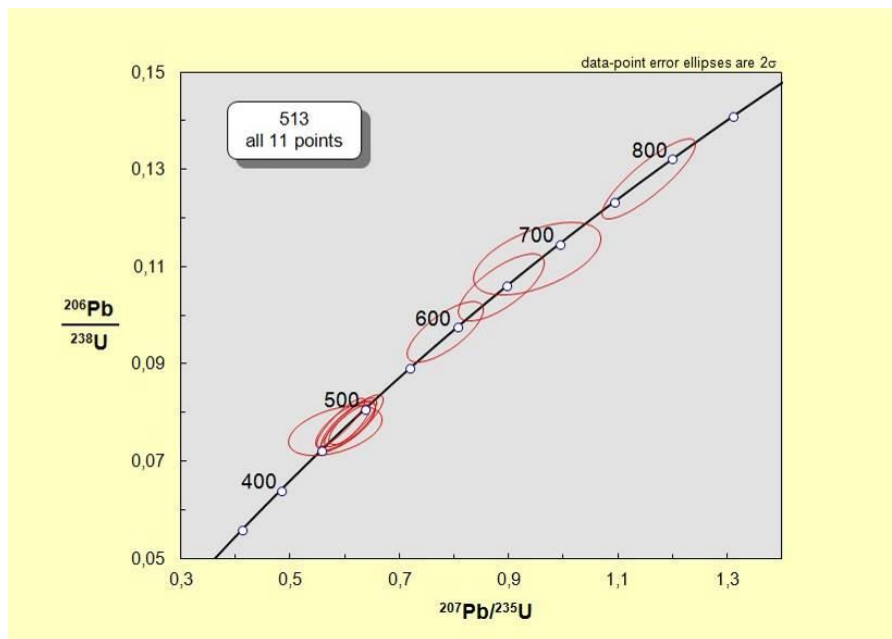


Рисунок 2.8.3 – Результаты датирования цирконов пробы №513 из лейкократовых ортогнейсов г. Чегет нанесены на диаграмму с конкордией с табулированными значениями возраста, Ма. Датировки кристаллов циркона образуют широкий возрастной спектр 470–780 Ма. Древние датировки характеризуют возраст ксеногенных ядер, заимствованных из протолита магматического источника. Молодые датировки 480 Ма фиксируют возраст магматической стадии образования исходных гранитоидов. (Диаметр эллипсов равен удвоенной ошибке измерения, 2 сигма)

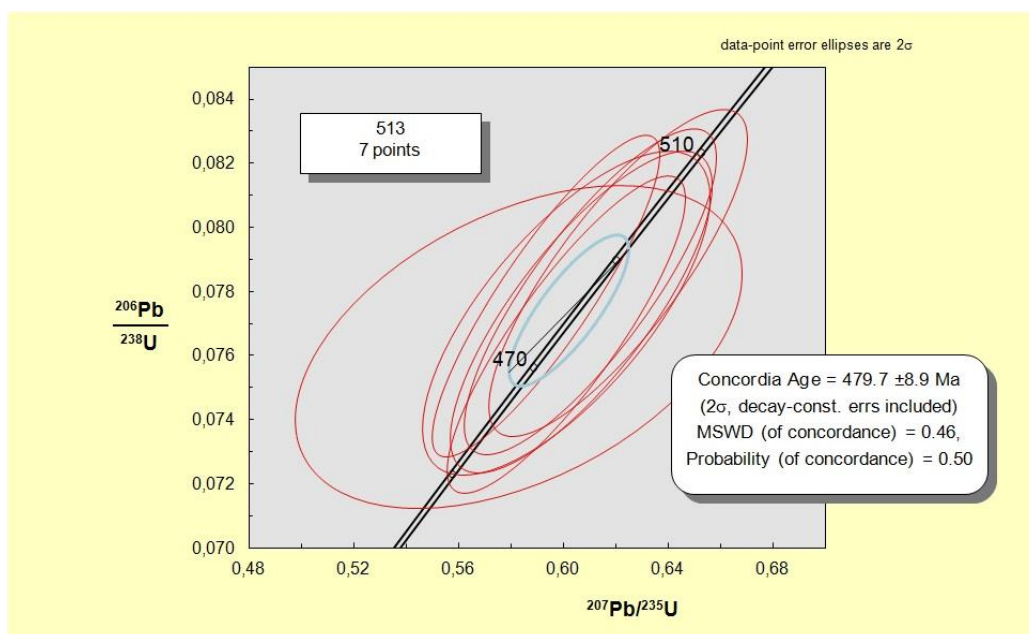


Рисунок 2.8.4 – Результаты изотопного датирования краевых частей кристаллов циркона из лейкократовых ортогнейсов г. Чегет (проба №513) нанесены на диаграмму с конкордией с табулированными значениями возраста, Ма. Датировки кристаллов циркона образуют на конкордии устойчивый кластер с возрастом около 480 Ма. Это возраст магматизма исходных гранитоидов, он характеризует этап инициального магматизма на Кавказе, который непосредственно предшествовал этапу регионального метаморфизма. (Диаметр эллипсов равен удвоенной ошибке измерения, 2 сигма. Кластер имеет вероятность конкордантности около 50% и малую величину отклонения от конкордии)

Как уже отмечалось ранее (отчет за 2019 г.), древние ядра в цирконах часто являются причиной дискордантных датировок. При механическом смешении двух изотопных составов циркона на диаграмме с конкордией возникают «ложные» дискордии, не связанные с диффузионными потерями свинца в ходе термальных событий. Это весьма типично для мигматитов и магматических пород. Расшифровать подобные нарушения возможно при использовании ионного зонда в масс-спектрометрических исследованиях минералов [70].

Надо сказать, что сама задача получения новых данных о возрасте нестратифицированных геологических формаций с помощью комплексных минералогических и петрологических исследований имеет важное прикладное значение. Эта информация необходима для выполнения программы Государственного геологического картирования РФ на качественно новом уровне, с использованием новых аналитических данных по геохронологии геологических объектов и ГИС-систем.

2.9 Новые данные по минералогии других объектов

Продолжались систематические работы по Джелисуйскому, Ходжаачканскому, Матчинскому массивам (Киргизия), Дарай-Пиёзскому массиву (Таджикистан). В результате этих работ в образцах со знаменитого своей необычной минерализацией *Дарай-Пиёзского щелочного массива* из морены ледника Дарай-Пиёз, Алайский хребет, обнаружен и изучен новый редкоземельный минерал **дуткевичит-(Ce)** $\text{NaZnBa}_2\text{Ce}_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{F}\cdot\text{H}_2\text{O}$, цинковый аналог кольцевого силиката белоруссита-(Ce). Минерал утвержден в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации ИМА (описан в разделе 1).

В рамках работ по алмазной теме музея в порядке установления и сравнительного анализа характеристик и закономерностей формирования алмазов Архангельской и Якутской алмазоносных провинций, типоморфизма минералов – спутников алмаза были изучены материалы из кимберлитовой *трубки Интернациональная, Мирнинское кимберлитовое поле, Западная Якутия*. На контакте кимберлита и борсодержащей эвапоритовой породы, состоящей главным образом из галита, были обнаружены выделения нового минерала попугаеваита $\text{Ca}_3[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6]\text{FCl}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ в виде прожилков мощностью до 0.7 мм в массивном агрегате екатеринита или корочек на нем (описан в разделе 1).

Было проведено также изучение граната кимберлитовой породы из *трубки Интернациональная* – прецизионные исследования включений в ксенокристаллах Cr-пиропа. В результате найдены, описаны и утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации ИМА два новых минерала,

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

Группа кричтонита по результатам отчетных работ пополнена тремя новыми членами. При изучении минералогии классического *Главного Сарановского месторождения* хромитов (Горнозаводский район, Пермский край, Средний Урал), известного с 30-х годов XIX в., был открыт, исследован и утвержден минерал сарановскит $\text{SrYFe}^{2+}_2(\text{Cr}_5\text{Ti})\text{Ti}_{12}\text{O}_{38}$ [7]. Здесь же был найден новый минерал, пополнивший группу пумпеллита, шуйскит-(Cr) $\text{Ca}_2\text{CrCr}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_6(\text{OH})](\text{OH})_2\text{KNa}_3(\text{SO}_4)_2$ [3] (описания в разделе 1).

Получены новые данные по *минералогии россыпных золотоносных и платиноносных месторождений*. На Южном Урале (Челябинская обл.) были обнаружены в россыпях и изучены два новых минерала – селениды металлов платиновой группы. В Казанской золотоносной россыпи Гогинской россыпной зоны открыт новый минерал, селеновый аналог сульфида кингстонита зайковит Rh_3Se_4 . Другой новый селенид, селенолаурит RuSe_2 , аналог лаурита RuS_2 , был найден в Ингульской золотоносной россыпи Непряхинской россыпной зоны. Эти открытия и исследования дополнили также минералогию селена. На Гальмознанском массиве (Корякское нагорье, Камчатка), в россыпи Ледяной ручей, был обнаружен новый минерал платины – интерметаллид куфарит PtPb . Все минералы утверждены Комиссией ИМА и описаны в разделе 1.

Новые данные получены по минералогии месторождений специфического генезиса – *месторождения гуано* на горе Pabellón de Pica близ Chanabaya (Икике, Тарапака, Чили). Здесь найдены и исследованы два новых минерала (описаны в разделе 1). Один из них пополняет список минералов – органических соединений, это божарит экзотического для минерала состава $\text{Cu}_3(\text{N}_3\text{C}_2\text{H}_2)_3(\text{OH})\text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [17] – новый минерал, содержащий триазолятный анион, как и открытый здесь же в 2015 г. чанабаяит $\text{CuCl}(\text{N}_3\text{C}_2\text{H}_2)(\text{NH}_3) \cdot 0.25\text{H}_2\text{O}$. Второй новый минерал – аммонитинслейит $\text{NH}_4\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [18], принадлежащий к группе лейкофосфита.

3 Изучение вариаций химического состава и генезиса породообразующих минералов

Оливин является главным породообразующим минералом в различных магматических и метаморфических породах, а также главным минералом верхней мантии Земли. Систематическое изучение вариаций химического состава оливина различного генезиса позволяет использовать его состав в качестве инструмента для выявления особенностей процессов минералообразования.

В 2020 году мы сделали высокоточные анализы оливина из образцов магнезиальных скарнов, хранящихся в коллекции Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана РАН (рис. 3.1). Магнезиальность этого оливина варьирует от 86 до 100. **Впервые выявлены главные отличия** этого оливина от оливина других генетических типов: аномально низкое содержание 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 суммой концентраций лития и натрия, а также корреляция содержания РЗЭ с натрием. Это подтверждает механизм вхождения в структуру оливина примесных концентраций высокочarged 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.

Статья принята к печати в июне 2020 года в *American Mineralogist* и будет опубликована в феврале 2021 года [71].

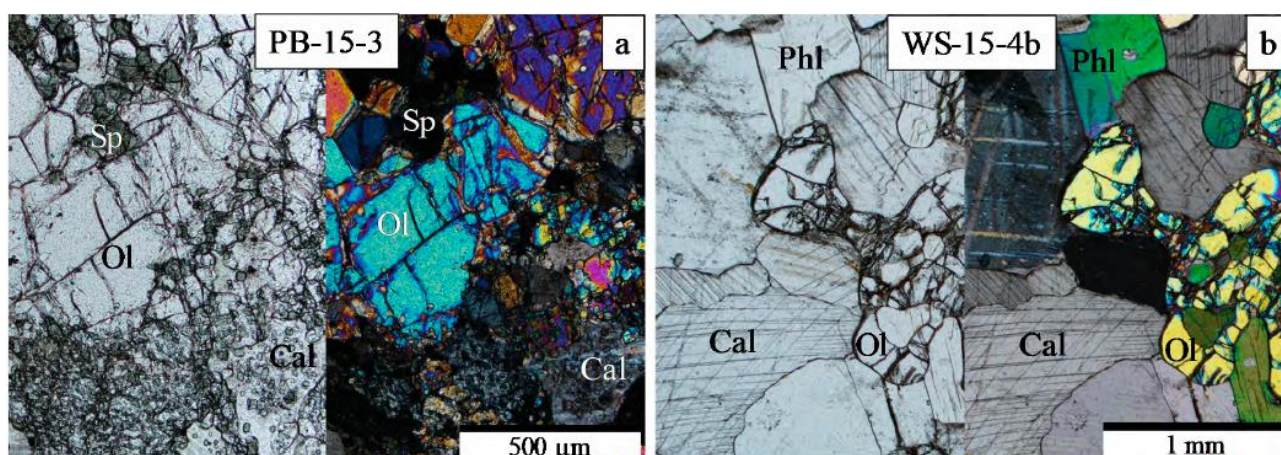


Рисунок 3.1 – Фотографии зерен оливина из магнезиального скарна приконтактной зоны Тажеранского массива (а) и силикатного мрамора Слюдянки (b), использовавшиеся для исследований

4 Расплавные и флюидные включения в минералах

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

В текущем году опубликована статья в журнале *Lithos* (Q1), которая посвящена изучению сульфидных жидкостей, отделяющихся от силикатных расплавов [36]. Сульфидные жидкости аккумулируют халькофильные металлы и могут формировать рудные месторождения. Сульфидные жидкости фиксируются в расплавных включениях большинства примитивных базальтов, что подтверждает несмесимость сульфидных и силикатных расплавов в условиях земной коры. Были изучены сульфидные включения в оливине из примитивных высокомагнезиальных базальтов Камчатского мыса (Камчатка, Россия). Документация этих 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 °C).

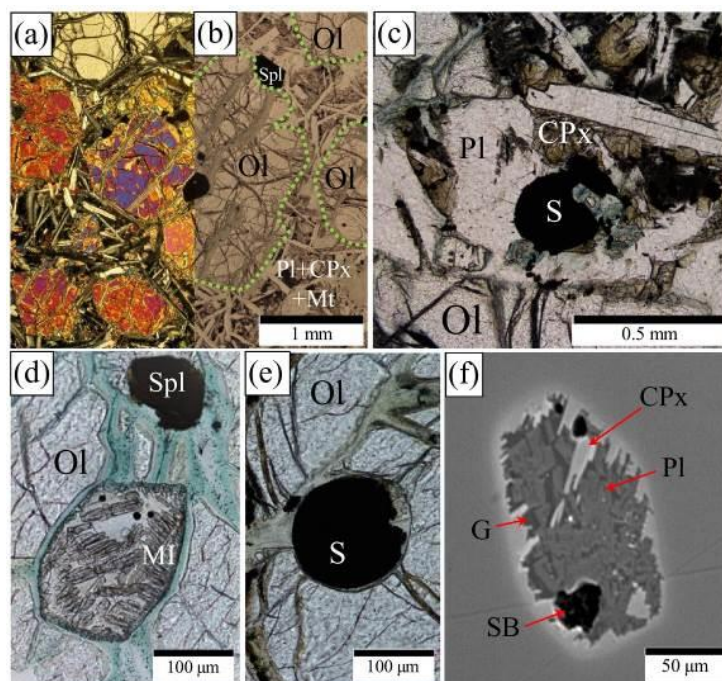


Рисунок 4.1 – Петрографические особенности пород Камчатского мыса: соотношение кристаллов оливина с матриксом породы (a, b), сульфидная капля в матриксе породы (c), природно-раскристаллизованное силикатное расплавное включение с дочерним сульфидом в оливине (d), сульфидные расплавные включения в оливине (e); природно-раскристаллизованное силикатное расплавное включение в оливине (f), изображение BSE. Ol – оливин, Pl – плагиоклаз, Cpx – клинопироксен, Mt – магнетит, MI – расплавное включение, S – сульфид, G – стекло, SB – усадочный пузырек

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты НИР составляют актуальный и значимый вклад в фундаментальные знания о природном веществе, его происхождении, накоплении и рассеянии; создают теоретическую базу для прогнозирования и выявления новых типов руд, материалов, для разработки новых принципов поиска и разведки полезных ископаемых, новых технологий обогащения, пополняют уникальные коллекции Минмузея РАН, а также открытые для пользователей научные базы данных и картотеки, созданные и хранящиеся в музее.

Основные результаты настоящей НИР заключаются в следующем.

В течение 2020 года сотрудниками Минмузея РАН и с их участием было открыто и изучено **27 новых минеральных видов**: люборжакит, походяшинит, гунгерит, ауэрбахит, бираит-(La), алекскузнецовит-(Ce), рабдоборит-(Mo), манганобадаловит, дуткевичит-(Ce), чукоткаит, сарановскит, божарит, куфарит, хасановит, шахдараит-(Y), ботуобинскит, мирныйит, зайковит, селенолаурит, одихинчаит, оксивисмутомикролит, малетойваямит, ермаковит, сергеванит, шуйскит-(Cr), попугаеваит, аммонитинслейит. Утверждены в 2020 году Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA. Это больше чем в любом исследовательском коллективе мира.

В результате **систематического изучения ряда уникальных минералогических объектов** России и ближнего зарубежья получены новые данные.

На уникальном мировом объекте – регионе **активных фумарольных полей вулкана Толбачик на Камчатке** – получены данные **о современном минералообразовании, связанном с поствулканическими процессами**. При изучении фумарольных возгонов было открыто и утверждено два новых минеральных вида с Толбачика: рабдоборит-(Mo) и манганобадаловит.

По итогам проведенных **на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Ц. Таджикистан)** исследований получены **новые данные по минералогии возгонов и механизмам минералообразования из газовой фазы**. Найдено и утверждено два новых минеральных вида: хасановит и ермаковит.

Детальное изучение кубических алмазов месторождения им. М.В. Ломоносова Архангельской алмазоносной провинции, включений в алмазы этого месторождения в сравнении с данными для алмазов Якутской алмазоносной провинции позволило получить новые данные для **систематизации морфологических признаки алмаза и набора минералов-спутников с целью создания методики прогнозирования качества и минералогических характеристик алмазного сырья**.

Значительно дополнены и обобщены данные по минералогии **Воронцовского** золоторудного месторождения (Северный Урал) с его **уникальной таллиевой минерализацией**. Открыты и утверждены четыре новых минеральных вида: люборжакит, походяшинит, гунгерит и ауэрбахит, три из которых пополняют список минералов таллия.

В результате продолжения изучения **редкоземельной минерализации на месторождении Мочалин Лог в Вишневых горах, Южный Урал**, с его **редкой лантановой минерализацией** открыты и исследованы два новых минерала: бираит-(La) и алекскузнецовит-(Ce).

В процессе работ на Кольском п-ве получены новые данные по минералогии уникального **Ловозерского щелочного массива**, где открыт новый минерал сергеванит, и Ковдорского массива.

Получены новые данные по **минералам редкометальных гранитных пегматитов** Юго-Западного и Восточного Памира, где изучены циркон с повышенным количеством гафния и урана, редкий висмутоколумбит, описан и утвержден новый минерал шахдараит-(Y).

Изучение цирконов из ортогнейсов кристаллического фундамента Большого Кавказа с определением их изотопного состава позволило установить возраст главных стадий формирования этих пород и скорректировать методику цирконометрии.

Пополнены данные по минералогии щелочных массивов Дарай-Пиёз и Одихинча, Главного Сарановского месторождения хромитов, кимберлитовой трубки Интернациональная, золотоносных россыпей Ю. Урала и платиноносной Корякского нагорья, а также месторождения гуано в Чили.

Работы в рамках **изучения вариаций состава породообразующих минералов** впервые выявили **главные отличия состава оливина магнезиальных скарнов и силикатных мраморов**: аномально низкое содержание Co, Cr и Ni при высоком содержании бора. Также впервые выявлены значимые корреляции содержания фосфора с суммой концентраций Li и Na, а также содержания PЗЭ и Na. Данные перспективны для генетических выводов по оливину карбонатных и силикатно-карбонатных пород.

Продолжены систематические работы **по изучению расплавных и флюидных включений в породообразующих минералах**. Изучены **жидкие сульфидные включения в оливине примитивных базальтов Камчатского мыса**, определен состав силикатных расплавов, от которых отделялись сульфидные жидкости, и рассчитаны условия равновесия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Разнообразие минералов и их парагенезисов: новые данные, развитие аналитической минералогии. Отчет о научно-исслед. работе (промежуточный), рукопись. – М., 2019. – 79 с.
- 2 Konev A., Pasero M., Pushcharovsky D., Merlino S., Kashaev A., Suvorova L., Ushchapovskaya Z., Nartova N., Lebedeva Y., Chukanov N. Biraite-(Ce), $Ce_2Fe_{2+}(CO_3)(Si_2O_7)$, a new mineral from Siberia with a novel structure type // *Eur. J. Mineral.*, 2005. V. 17. P. 715–721.
- 3 Lykova I, Varlamov D., Chukanov N., Pekov I., Belakovskiy D., Ivanov O., Zubkova N., Britvin S. Chromium Members of the Pumpellyite Group: Shuiskite-(Cr), $Ca_2CrCr_2[SiO_4][Si_2O_6(OH)](OH)_2O$, a New Mineral, and Shuiskite-(Mg), a New Species Name for Shuiskite // *Minerals*. 2020. Vol. 10(5), 390. P. 1–11.
- 4 Шпанов Е.П., Нечелюстов Г.Н., Батулин С.В., Солнцева Л.С. Белоруссит-(Ce) – $NaMnBa_2Ce_2Ti_2Si_8O_{26}(F,OH)\cdot H_2O$ – новый минерал группы джоакинита // *Записки ВМО*. 1989. Т. 118. №5. С. 100–107.
- 5 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, $Na_9Sr_3[(H_2O)_2Na]Ca_6Mn_3Zr_3NbSi(Si_{24}O_{72})O(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$, a New Eudialyte-Group Mineral from the Odikhincha Intrusion, Taimyr Peninsula, Russia. // *Minerals*. 2020. Vol. 10. №1062. P. 1–16.
- 6 Chukanov N.V., Aksenov S.M., Pekov I.V., Belakovskiy D.I., Vozchikova S.A., Britvin S.N. Sergevanite, $Na_{15}(Ca_3Mn_3)(Na_2Fe)Zr_3Si_{26}O_{72}(OH)_3\cdot H_2O$, a new eudialyte-group mineral from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula // *Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58 (4). P. 421–436.
- 7 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, $SrCaFe_{2+2}(Cr_4Ti_2)Ti_{12}O_{38}$, a new crichtonite-group mineral // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2020. V. 47. №11. P. 1–11.
- 8 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.
- 9 Kasatkin A.V., Britvin S.N., Peretyazhko I.S., Chukanov N.V., Škoda R., Agakhanov A.A. Oxybismutomicrolite, a new pyrochlore-supergroup mineral from the Malkhan pegmatite field, Central Transbaikalia, Russia // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. №3. P. 444–454.
- 10 Kasatkin A.V., Makovicky E., Plášil J., Škoda R., Agakhanov A.A., Stepanov S.Y., Palamarchuk R.S. Luboržákitite, Mn_2AsSbS_5 , a new member of pavonite homologous series

- from Vorontsovskoe gold deposit, Northern Urals, Russia // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. Iss. 5. P. 738–745.
- 11 Kasatkin A.V., Makovicky E., Plášil J., Škoda R., Agakhanov A.A., Chaikovskiy I.I., Vlasov E.V., Pekov I.V. Chukotkaite, $\text{AgPb}_7\text{Sb}_5\text{S}_{15}$, a New Sulfosalt Mineral from Eastern Chukotka, Russia // *Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58. P. 1–10.
 - 12 Tolstykh N.D., Tuhý M., Vymazalová A., Plášil J., Laufek F., Kasatkin A.V., Nestola F., Bobrova, O.V. Maletoyvayamite, $\text{Au}_3\text{Se}_4\text{Te}_6$, a new mineral from Maletoyvayam deposit, Kamchatka peninsula, Russia // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. P. 117–123.
 - 13 Pekov I.V., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Belakovskiy D.I., Agakhanov A.A., Vigasina M.F., Britvin S.N., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Y. Rhabdobarite-(V), rhabdobarite-(Mo) and rhabdobarite-(W): a new group of borate minerals with the general formula $\text{Mg}_{12}\text{M}_{11}\text{B}_6[(\text{BO}_3)_{6-x}(\text{PO}_4)_x\text{F}_{2-x}]$ ($\text{M} = \text{V}^{5+}, \text{Mo}^{6+}$ or W^{6+} and $x < 1$) // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2020. Vol. 47 (10). P. 1–17.
 - 14 Pekov I.V., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Turchkova A.G., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. XIV. Badalovite, $\text{NaNaMg}(\text{MgFe}^{3+})(\text{AsO}_4)_3$, a member of the alluaudite group // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. №4. P. 616–622.
 - 15 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.
 - 16 Garavelli A., Mitolo D., Pinto D., Vurro F. Lucabindiite, $(\text{K},\text{NH}_4)\text{As}_4\text{O}_6(\text{Cl},\text{Br})$, a new fumarole mineral from the “La Fossa” crater at Vulcano, Aeolian Islands, Italy // *American Mineralogist*. 2013. Vol. 98. P. 470–477.
 - 17 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*. 2020. V. 84. P. 921–927.
 - 18 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*. 2020. 84 (5). P. 705–711.
 - 19 Ogorodova L.P., Gritsenko Yu.D., Vigasina M.F., Kosova D.A., Melchakova L.V., Fomina A.D. Natural Magnesium Hydrous Orthophosphates Bobierrite and Kovdorskite: FTIR,

- Raman, Thermal, and Thermochemical Study // *Geochemistry International*. 2020. Vol. 58(2). P. 289–199.
- 20 Moiseev M.N., Panikorovskii T.L., Aksenov S.M., Mazur A.S., Mikhailova J.A., Yakovenchuk V.N., Bazai A.V., Ivaniuk G.Yu., Agakhanov A.A., Shilovskikh V.V., Pekov I.V., Kasatkin A.V., Rusakov V.S., Yapaskurt V.O., Karpenko V.Yu., Krivovichev S.V. Insights into crystal chemistry of the vesuvianite-group: manaevite-(Ce), a new mineral with complex mechanisms of its hydration // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2020. V. 47. №3. P. 1–14.
- 21 Kasatkin A.V., Zubkova N.V., Pekov I.V., Chukanov N.V., Škoda R., Polekhovsky Y.S., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Kuznetsov A.M., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Yu. The mineralogy of the historical Mochalin Log REE deposit, South Urals, Russia. Part I. New gatelite-group minerals ferriperbøeite-(La), $(\text{CaLa}_3)(\text{Fe}_3+\text{Al}_2\text{Fe}_2+)[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_3\text{O}(\text{OH})_2$, and perbøeite-(La), $(\text{CaLa}_3)(\text{Al}_3\text{Fe}_2+)[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_3\text{O}(\text{OH})_2$ // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. №4. P. 593–607.
- 22 Kasatkin A.V., Zubkova N.V., Pekov I.V., Chukanov N.V., Ksenofontov D.A., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Polekhovsky Yu.S., Kuznetsov A.M., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Yu. and Nestola F. The mineralogy of the historical Mochalin Log REE deposit, South Urals, Russia. Part II. Radekškodaite-(La), $(\text{CaLa}_5)(\text{Al}_4\text{Fe}_2+)[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_5\text{O}(\text{OH})_3$ and radekškodaite-(Ce), $(\text{CaCe}_5)(\text{Al}_4\text{Fe}_2+)[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_5\text{O}(\text{OH})_3$, two new minerals with a novel structure-type belonging to the epidote–törnebohmite polysomatic series // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. P. 1–15.
- 23 Kasatkin A.V., Pekov I.V., Zubkova N.V., Chukanov N.V., Škoda R., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Ksenofontov D.A., Plášil J., Kuznetsov A.M., Britvin S.B., Pushcharovsky D.Y. The mineralogy of the historical Mochalin Log REE deposit, South Urals, Russia. Part III. Percleveite-(La), $\text{La}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, a new REE disilicate mineral // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. P. 913–920.
- 24 Касаткин А.В., С.Ю. Степанов А.В., 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.
- 25 Kasatkin A.V., Britvin S.B., Chukanov N.V., Škoda R., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I. Belogubite, a New Mineral of the Chalcantite Group from the Gaiskoe Deposit, South Urals, Russia // *Geology of Ore Deposits*. 2020. Vol. 62. №7. P. 599–607.

- 26 Попова В.И., Касаткин А.В., Попов В.А., Никандров С.Н., Макагонов Е.П., Кузнецов А.М., Шкода Р. Цеолитовая минерализация в пегматитах и поздних прожилках Вишневогорского щелочно-карбонатитового комплекса (Южный Урал) // Минералогия. 2020. Т. 6. №1. С. 3–16.
- 27 Касаткин А.В., Шкода Р. Терриуолласеит из Кочкарского золоторудного месторождения, Южный Урал: первая находка в России // Минералогия. 2020. Т. 6. №1. С. 47–57.
- 28 Pekov I.V., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Yapaskurt V.O., Britvin S.N., Turchkova A.G., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. XIII. Pansnerite, $K_3Na_3Fe_3+6(AsO_4)_8$ // Mineralogical Magazine. 2020. V. 84. №1. P. 143–151.
- 29 Pekov I.V., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Chukanov N.V., Belakovskiy D.I., Sidorov E.G., Britvin S.B., Turchkova A.G., Pushcharovsky D.Y. Eleomelanite, $(K_2Pb)Cu_4O_2(SO_4)_4$, a New Mineral Species from the Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // Canadian Mineralogist. 2020. Vol. 58. P. 1–10.
- 30 Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Chukanov N.V., Belakovskiy 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, natroapthitalite, and new data on belomarinaite // The Canadian Mineralogist. 2020. Vol. 58 (2), 167–181.
- 31 Pekov I.V., Agakhanov A.A., Zubkova N.V., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Britvin S.N., Turchkova A.G., Sidorov E.G. Philoxenite, $(K,Na,Pb)_4(Na,Ca)_2(Mg,Cu)_3(Al_{0.5})(SO_4)_8$, a new mineral from fumarole exhalations of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia // ЗРМО. 2020. Т. 149. №4. С. 67–77.
- 32 Pekov I.V., Agakhanov A.A., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Shchipalkina N.V., Sandalov F.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. 826–843.
- 33 Кошлякова Н.Н., Пеков И.В., Зубкова Н.В., Агаханов А.А., Турчкова А.Г., Карташов П.М., Сидоров Е.Г., Пушчаровский Д.Ю. Новый твердый раствор со структурой граната: изоморфный ряд берцелиит-шеферит из fumarольных эксгаляций вулкана Толбачик, Камчатка // ЗРМО. 2020. Т. 149. №6. С. 69–84.
- 34 Сандалов Ф.Д., Пеков И.В., Кошлякова Н.Н., Япаскерт В.О., Агаханов А.А., Сидоров Е.Г., Бритвин С.Н. Богатый халькофильными элементами (Sb, Sn, Te) рутил

- и высокотитанистые разновидности трипугиита и касситерита из возгонов активных фумарол вулкана Толбачик (Камчатка, Россия) // ЗРМО. 2020. Т. 149. №2. С. 22–41.
- 35 Kamenetsky V.S., Zelenski M. Origin of noble-metal nuggets in sulfide-saturated arc magmas: A case study of olivine-hosted sulfide melt inclusions from the Tolbachik volcano (Kamchatka, Russia) // *Geology*. 2020. V. 48. №6. P. 620–624.
- 36 Korneeva A.A., Nekrylov N., Kamenetsky V.S., Portnyagin M.V., Savelyev D.P., Krashennnikov 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. P. 1–14.
- 37 Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Герасимов В.Ю. Эклогиты Большого Кавказа (природа протолита и его геодинамическая типизация) // *Геология и геофизика Юга России*. 2020. №2. С. 6–21.
- 38 Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Герасимов В.Ю. Догерцинские габбро-диориты верховьев реки Кубань (Северный Кавказ): геодинамическая типизация, геохимия и минерогения // *Геология и геофизика Юга России*. 2020. №1. С. 6–20.
- 39 Pautov L.A., Mirakov M.A., Cámara F., Sokolova E., Hawthorne F.C., Schodibekov M.A., Karpenko V.Y. Badakhshinite-(Y), $Y_2Mn_4Al(Si_2B_7BeO_{24})$, a new mineral species of the perettiite group from a granite miarolitic pegmatite in Eastern Pamir, the Gorno Badakhshan Autonomous Oblast, Tajikistan // *Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58 (3). P. 384–394.
- 40 Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Мираков М.А., Алиназаров У.С., Шодибеков М.А., Искандаров Ф.Ш. О висмутоколумбите из миароловых гранитных пегматитов на Восточном Памире // *Новые данные о минералах*. 2020. Т. 54. Вып. 1. С. 26–37.
- 41 Карпенко В.Ю., Паутов Л.А., Шодибеков М., Махмадшариф 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.
- 42 Паутов Л.А., Мираков М.А., Шодибеков М.А., Махмадшариф С., Хворов П.В., Артемьев Д.А., Файзиев А.Р. Фосфорсодержащий гелвин Шахдаринской пегматитовой жилы (Юго-Западный Памир, Таджикистан) // *Новые данные о минералах*. 2020. Т. 54. Вып. 2. С. 61–68.
- 43 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.
- 44 Pautov L.A., Mirakov M.A., Siidra O.I., Faiziev A.R., Nazarchuk E.V., Karpenko V.Y., Makhmadsharif S. Falgarite, $K_4(VO)_3(SO_4)_5$, a new mineral from sublimates of a natural

- underground coal fire at the tract of Kukhi-Malik, Fan-Yagnob coal deposit, Tajikistan // Mineralogical Magazine. 2020. Vol. 84 (3). P. 455–462.
- 45 Мираков М.А., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р., Махмадшариф 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. Вып. 4. С. 114–122.
- 46 Мираков М.А., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р., Махмадшариф 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. Вып. 4. С. 114–122.
- 47 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.
- 48 Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М.: Наука, 1984. – 263 с.
- 49 Макеев А.Б., Криулина Г.Ю., Лютоев В.П., Иванников П.В. Особенности кубоидов алмаза из трубки Архангельской // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. №3. С. 2–6.
- 50 Галимов Э.М. Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования. // Геохимия. 1984. №8. С. 1091–1117.
- 51 Галимов Э.М., Захарченко О.Д., Мальцев К.А., Махин А.И. Изотопный состав углерода алмазов из кимберлитовых трубок Архангельской области // Геохимия. 1994. №1. С. 74–76.
- 52 Минеева Р.М., Зудина Н.Н., Титков С.В., Рябчиков И.Д., Сперанский А.В., Зудин Н.Г. ЭПР-спектроскопия алмазов кубического габитуса из россыпей северо-востока Сибирской платформы: новый тип азотных центров // ДАН. 2013. Т. 448. № 6. С. 695–699.
- 53 Васильев Е.А., Криулина Г.Ю., Гаранин В.К. Природа и генетическое значение слабых полос в спектрах ИК-поглощения алмазов // Доклады X Междун. конф. «Новые идеи в науках о Земле», РГГРУ. Т. 1. М.: Экстра-Принт, 2011. С. 148.
- 54 Природные алмазы России / под ред. Кваскова В.Б. М.: Полярон, 1997. – 303 с.
- 55 Бескрованов В.В. Онтогенез алмаза. Новосибирск: Наука, 2000. – 264 с.
- 56 Афанасьев В.П., Лобанов С.С., Похиленко Н.П. и др. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2011. №3. С. 335–353.

- 57 Титков С.В., Горшков А.И., Солодова Ю.П. и др. Минеральные микровключения в алмазах кубического габитуса из месторождений Якутии по данным аналитической электронной микроскопии // Докл. РАН. 2006. Т. 410. №2. С. 255–258.
- 58 Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 603 с.
- 59 Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Араухо Д., Гриффин В.Л. Карбонатные и силикатные среды кристаллизации волокнистых алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. №11. С. 1649–1664.
- 60 Титков С.В., Ширяев А.А., Зудина Н.Н., Зудин Н.Г., Солодова Ю.П. Дефекты в кубических алмазах из россыпей Северо-Востока Сибирской платформы по данным ИК-микроспектроскопии // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. №1/2. С. 455–466.
- 61 Serov R., Shelementiev Yu. Colored diamond from Anabar alluvial deposits, Western Yakutia. Classification on the base of spectroscopic features and colorimetric data // Extended Abstr. of the 9-th Int. Kimberlite Conf. 2008.
- 62 Taylor W. R., Jaques A.L., Ridd M. Nitrogen-defect aggregation characteristics of some Australasian diamonds: time-temperature constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds // Amer. Mineral. 1990. V. 75. P. 1290–1310.
- 63 Taylor W.R., Milledge H.J. Nitrogen aggregation character, thermal history and stable isotope composition of some xenolith-derived diamonds from Roberts Victor and Finch // Extended Abstr. of the 6-th Int. Kimberlite Conf. Novosibirsk, 1995. P. 620–622.
- 64 Kriulina G.Yu., Garanin V.K., Vasiliev E.A., Zedgenizov D.A., Bobrov A.V., Vasiliev R.V, Vyatkin S.V. Microinclusions in diamonds from deposits of different genetic kimberlite types. Abstract of 11th International Kimberlite Conference. Abstract No 11IKC- 004614. Botswana, 2017.
- 65 Касаткин А.В., Паутов Л.А. Оптические свойства воронцовита и ферроворонцовита: новые данные. Новые данные о минералах. 2020. Т 54. Вып. 2. С. 69–72.
- 66 Перетяжко И.С., Загорский В.Е., Сапожников А.Н., Бобров Ю.Д., Ракчеев А.Д. Висмутоколумбит $\text{Bi}(\text{Nb,Ta})\text{O}_4$ – новый минерал из миароловых пегматитов // ЗВМО. 1992. №3. С. 130–134.
- 67 Герасимов В.Ю. Оценка температуры закрытия U-Th-Pb изотопной системы циркона и интерпретация возраста при локальном радиоизотопном датировании // Восемнадцатая международная конференция «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». Материалы конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2017. С. 62–65.

- 68 Шенгелиа Д.М., Кориковский С.П. и др. Петрология метаморфических комплексов Большого Кавказа. М.: Наука, 1991. – 232 с.
- 69 Герасимов В.Ю., Лебедев В.А., Аракелянц М.М., Письменный А.Н. Термохронологическое моделирование возраста метаморфизма андалузитовых сланцев Кавказа // Тез. докл. XVII Симпозиума по геохимии изотопов имени академика А.П. Виноградова. М.: ГЕОХИ РАН, 2004. С. 61–62.
- 70 Gerasimov V.Yu., Snezhko V.A., Mosar J., Pismennyi A.N., Enna N.L., Ulyanov A.A. The Zirconometry and Thermochronology of Migmatized Gneisses of the Gondaray Metamorphic Complex (Greater Caucasus) // Moscow University Geology Bulletin. 2020. Vol. 75. №5. P. 481–495.
- 71 Nekrylov N., Plechov P.Y., Gritsenko Y.D., Portnyagin M., Shcherbakov V.D., Aydov V.A. & Garbe-Schönberg D. Major and trace element composition of olivine from magnesian skarns and silicate marbles // American Mineralogist. 7566. P. 1–36. DOI: <https://doi.org/10.2138/am-2020-7566>.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Список публикаций по теме

- 1 Агаханов А.А., Степаненко Д.А., Зубкова Н.В., Паутов Л.А., Пеков И.В., Касаткин А.В., Карпенко В.Ю., Агаханова В.А., Шкода Р., Бритвин С.Н., Пушаровский Д.Ю. Авдеевит – Na-доминантный щелочной берилл: установление статуса минерального вида и новые данные // ЗРМО. 2020. Т. 149. №6. С. 1–19.
- 2 Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Герасимов В.Ю. Догерцинские габбро-диориты верховьев реки Кубань (Северный Кавказ): геодинамическая типизация, геохимия и минерагения // Геология и геофизика Юга России. 2020. №1. С. 6–20.
- 3 Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Герасимов В.Ю. Эклогиты Большого Кавказа (природа протолита и его геодинамическая типизация) // Геология и геофизика Юга России. 2020. №2. С. 6–21.
- 4 Герасимов В.Ю. Температура закрытия K-Ar изотопной системы биотита и анализ причин отклонения от теории Додсона в геологических объектах // Межвузовский научный конгресс «Высшая школа: научные исследования». М.: Инфинити. 2020. С. 126–134.
- 5 Карпенко В.Ю., Паутов Л.А., Шодибеков М., Махмадшариф С., Мираков М.А. Кокониноит: находка на рудопоявлении Зор-Ярчи-Чак, Восточный Памир // Новые данные о минералах. 2020. Т. 54. Вып. 1. С. 19–25.
- 6 Касаткин А.В., Паутов Л.А. Оптические свойства воронцовита и ферроворонцовита: новые данные. Новые данные о минералах. 2020. Т. 54. Вып. 2. С. 69–72.
- 7 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.
- 8 Касаткин А.В., Шкода Р. Терриуолласеит из Кочкарского золоторудного месторождения, Южный Урал: первая находка в России // Минералогия. 2020. Т. 6. №1. С. 47–57.
- 9 Кошлякова Н.Н., Пеков И.В., Зубкова Н.В., Агаханов А.А., Турчкова А.Г., Карташов П.М., Сидоров Е.Г., Пушаровский Д.Ю. Новый твердый раствор со структурой граната: изоморфный ряд берцелиит-шеферит из фумарольных эксгальций вулкана Толбачик, Камчатка // ЗРМО. 2020. Т. 149. №6. С. 69–84.

- 10 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.
- 11 Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Мираков М.А., Алиназаров У.С., Шодибеков М.А., Искандаров Ф.Ш. О висмутоколумбите из миароловых гранитных пегматитов на Восточном Памире // Новые данные о минералах. 2020. Т. 54. Вып. 1. С. 26–37.
- 12 Паутов Л.А., Мираков М.А., Шодибеков М.А., Махмадшариф С., Хворов П.В., Артемьев Д.А., Файзиев А.Р. Фосфорсодержащий гельвин Шахдаринской пегматитовой жилы (Юго-Западный Памир, Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2020. Т. 54. Вып. 2. С. 61–68.
- 13 Поваренных М.Ю., Матвиенко Е.Н., Кнотько А.В. Первая находка углеродных нано- и микротрубок и графитовых микрохлопьев в карбонатных «каменных трубах» (остров Крит, Греция) // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. Вып. 1 (57). С. 118–132.
- 14 Попова В.И., Касаткин А.В., Попов В.А., Никандров С.Н., Макагонов Е.П., Кузнецов А.М., Шкода Р. Цеолитовая минерализация в пегматитах и поздних прожилках Вишневогорского щелочно-карбонатитового комплекса (Южный Урал) // Минералогия. 2020. Т. 6. №1. С. 3–16.
- 15 Рассомахин М.А., Касаткин А.В. Дополнения к кадастру минералов Ильменских гор // Минералогия. 2020. Т. 6. №2. С. 18–26.
- 16 Сандалов Ф.Д., Пеков И.В., Кошлякова Н.Н., Япаскерт В.О., Агаханов А.А., Сидоров Е.Г., Бритвин С.Н. Богатый халькофильными элементами (Sb, Sn, Te) рутил и высокотитанистые разновидности трипугиита и касситерита из возгонов активных фумарол вулкана Толбачик (Камчатка, Россия) // ЗРМО. 2020. Т. 149. №2. С. 22–41.
- 17 Borisova A.Y., Bindeman I.N., Toplis M., Zagrtednov N., Guignard J., Safonov O., Bychkov A., Shcheka S., Melnik O.E., Marchelli M., Fenrenbach J. Zircon survival in shallow asthenosphere and deep lithosphere // American Mineralogist. 2020. Vol. 105(11). P. 1662–1671.
- 18 Chayka I., Zhitova L., Antsiferova T. (2), Abersteiner A., Shevko A., Izokh A., Tolstykh T., Gora M., Chubarov V., Kamenetsky V. In-situ crystallization and continuous modification of Cr-spinel in the “sulfide-poor” PGE ores in the Upper zone of the Norilsk-1 intrusion // Minerals. 2020. Vol. 10 (6). 498.
- 19 Chukanov N.V., Aksenov S.M., Pekov I.V., Belakovskiy D.I., Vozchikova S.A., Britvin S.N. Sergevanite, $\text{Na}_{15}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-

- group mineral from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula // *Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58 (4). P. 421–436.
- 20 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*. 2020. 84 (5). P. 705–711.
- 21 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*. 2020. V. 84. P. 921–927.
- 22 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, $\text{SrCaFe}_{2+2}(\text{Cr}_4\text{Ti}_2)\text{Ti}_{12}\text{O}_{38}$, a new crichtonite-group mineral // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2020. V. 47. №11. P. 1–11.
- 23 Chukanov N.V., Vigasina M.F., Zubkova N.V., Pekov I.V., Schäfer C., Kasatkin A.V., Yapaskurt V.O. and Pushcharovsky D.Yu. Extra-Framework Content in Sodalite-Group Minerals: Complexity and New Aspects of Its Study Using Infrared and Raman Spectroscopy // *Minerals*. 2020. V. 10. №4. P. 363.
- 24 Dymshits A.M., Sharygin I.S., Malkovets V.G., Yakovlev I.V., Gibsher A.A., Alifirova T.A., Vorobei S.S., Potapov S.V., Garanin V.K. (2) Thermal State, Thickness, and Composition of the Lithospheric Mantle beneath the Upper Muna Kimberlite Field (Siberian Craton) Constrained by Clinopyroxene Xenocrysts and Comparison with Daldyn and Mirny Fields // *Minerals*. 2020. 10. 549. P. 122–142.
- 25 Gerasimov V.Yu., Snezhko V.A., Mosar J., Pismennyi A.N., Enna N.L., Ulyanov A.A. The Zirconometry and Thermochronology of Migmatized Gneisses of the Gondaray Metamorphic Complex (Greater Caucasus) // *Moscow University Geology Bulletin*. 2020. Vol. 75. №5. P. 481–495.
- 26 Gorelova L.A., Pakhomova A.S., Krivovichev S.V., Kasatkin A.V., Dubrovinsky L.S. Compressibility of hingganite-(Y): high-pressure single crystal X-ray diffraction study // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2020. V. 47. P.1–12.
- 27 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, $\text{Na}_9\text{Sr}_3[(\text{H}_2\text{O})_2\text{Na}]\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}(\text{Si}_{24}\text{O}_{72})\text{O}(\text{OH})_3(\text{CO}_3)\cdot \text{H}_2\text{O}$, a New Eudialyte-Group Mineral from the Odikhincha Intrusion, Taimyr Peninsula, Russia. // *Minerals*. 2020. Vol. 10. №1062. P. 1–16.

- 28 Kamenetsky V.S., Zelenski M. Origin of noble-metal nuggets in sulfide-saturated arc magmas: A case study of olivine-hosted sulfide melt inclusions from the Tolbachik volcano (Kamchatka, Russia) // *Geology*. 2020. V. 48. №6. P. 620–624.
- 29 Karpenko V.Yu., Zhitova E.S., Pautov L.A. (2), Agakhanov A.A., Siidra O.I., Krzhizhanovskaya M.G., Rassulov V.A., Bocharov V.N. Akopovaite, $\text{Li}_2\text{Al}_4(\text{OH})_{12}(\text{CO}_3)(\text{H}_2\text{O})_3$, a new Li member of the hydrotalcite supergroup from Turkestan Range, Kyrgyzstan // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. №2. P. 301–311.
- 30 Kasatkin A.V., Britvin S.B., Chukanov N.V., Škoda R., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I. Belogubite, a New Mineral of the Chalcantite Group from the Gaiskoe Deposit, South Urals, Russia // *Geology of Ore Deposits*. 2020. Vol. 62. №7. P. 599–607.
- 31 Kasatkin A.V., Britvin S.N., Peretyazhko I.S., Chukanov N.V., Škoda R., Agakhanov A.A. Oxybismutomicrolite, a new pyrochlore-supergroup mineral from the Malkhan pegmatite field, Central Transbaikalia, Russia // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. №3. P. 444–454.
- 32 Kasatkin A.V., Makovicky E., Plášil J., Škoda R., Agakhanov A.A., Chaikovskiy I.I., Vlasov E.V., Pekov I.V. Chukotkaite, $\text{AgPb}_7\text{Sb}_5\text{S}_{15}$, a New Sulfosalt Mineral from Eastern Chukotka, Russia // *Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58. P. 1–10.
- 33 Kasatkin A.V., Makovicky E., Plášil J., Škoda R., Agakhanov A.A., Stepanov S.Y., Palamarchuk R.S. Luboržákite, $\text{Mn}_2\text{AsSbS}_5$, a new member of pavonite homologous series from Vorontsovskoe gold deposit, Northern Urals, Russia // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. Iss. 5. P. 738–745.
- 34 Kasatkin A.V., Nestola F., Škoda R., Chukanov N.V., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Lanza A., Hola M., Rumsey M.S. Hinganite-(Nd), $\text{Nd}_2\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$, a New Gadolinite-Supergroup Mineral from Zagi Mountain, Pakistan // *Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58. P. 1–14.
- 35 Kasatkin A.V., Pekov I.V., Zubkova N.V., Chukanov N.V., Škoda R., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Ksenofontov D.A., Plášil J., Kuznetsov A.M., Britvin S.B., Pushcharovsky D.Y. The mineralogy of the historical Mochalin Log REE deposit, South Urals, Russia. Part III. Percleveite-(La), $\text{La}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, a new REE disilicate mineral // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. P. 913–920.
- 36 Kasatkin A.V., Zubkova N.V., Pekov I.V., Chukanov N.V., Ksenofontov D.A., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Polekhovskiy Yu.S., Kuznetsov A.M., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Yu. and Nestola F. The mineralogy of the historical Mochalin Log REE deposit, South Urals, Russia. Part II. Radekškodaite-(La), $(\text{CaLa}_5)(\text{Al}_4\text{Fe}_{2+})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_5\text{O}(\text{OH})_3$ and radekškodaite-(Ce), $(\text{CaCe}_5)(\text{Al}_4\text{Fe}_{2+})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_5\text{O}(\text{OH})_3$, two new minerals with a

- novel structure-type belonging to the epidote–törnebohmite polysomatic series // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. P. 1–15.
- 37 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.Yu. The mineralogy of the historical Mochalin Log REE deposit, South Urals, Russia. Part I. New gatelite-group minerals ferriperbøeite-(La), $(\text{CaLa}_3)(\text{Fe}_3+\text{Al}_2\text{Fe}_2+)[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_3\text{O}(\text{OH})_2$, and perbøeite-(La), $(\text{CaLa}_3)(\text{Al}_3\text{Fe}_2+)[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_3\text{O}(\text{OH})_2$ // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. №4. P. 593–607.
- 38 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. P. 1–14.
- 39 Lykova I., Chukanov N.V., Pekov I.V., Yapaskurt V.O., Pautov L.A. (2), Karpenko V.Y., Belakovskiy D.I., Varlamov D.I., Britvin S.N., Scheidl K.S. Chiyokoite, $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{CO}_3)[\text{B}(\text{OH})_4]\text{O}(\text{OH})_5 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, a New Ettringite-Group Mineral from the Fuka Mine, Okayama Prefecture, Japan // *Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58. P. 1–10.
- 40 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. Vol. 10 (5), 390. P. 1–11.
- 41 Miller M.F., Pack A., Bindeman I.N., Greenwood R.C. Standardizing the reporting of $\delta^{17}\text{O}$ data from high precision oxygen triple-isotope ratio measurements of silicate rocks and minerals // *Chemical Geology*. 2020. V. 532. 119332.
- 42 Moiseev M.N., Panikorovskii T.L., Aksenov S.M., Mazur A.S., Mikhailova J.A., Yakovenchuk V.N., Bazai A.V., Ivaniuk G.Yu., Agakhanov A.A., Shilovskikh V.V., Pekov I.V., Kasatkin A.V., Rusakov V.S., Yapaskurt V.O., Karpenko V.Yu., Krivovichev S.V. Insights into crystal chemistry of the vesuvianite-group: manaevite-(Ce), a new mineral with complex mechanisms of its hydration // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2020. V. 47. №3. P. 1–14.
- 43 Ogorodova L.P., Gritsenko Yu.D., Vigasina M.F., Kosova D.A., Melchakova L.V., Fomina A.D. Natural Magnesium Hydrated Orthophosphates Bobierrite and Kovdorskite: FTIR, Raman, Thermal, and Thermochemical Study // *Geochemistry International*. 2020. Vol. 58 (2). P. 289–199.

- 44 Ogorodova L.P., Melchakova L.V., Gritsenko Yu.D. (2), Vigasina M.F., Kosova D.A., Ksenofontov D.A. Thermal and Thermochemical Study of Blödite (Astrakhanite) // *Journal of Fluorine Chemistry*. 2020. Vol. 58. P. 914–921.
- 45 Pautov L.A., Mirakov M.A., Cámara F., Sokolova E., Hawthorne F.C., Schodibekov M.A., Karpenko V.Y. Badakhshinite-(Y), $Y_2Mn_4Al(Si_2B_7BeO_{24})$, a new mineral species of the perettiite group from a granite miarolitic pegmatite in Eastern Pamir, the Gorno Badakhshan Autonomous Oblast, Tajikistan // *Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58(3). P. 384–394.
- 46 Pautov L.A., Mirakov M.A., Siidra O.I., Faiziev A.R., Nazarchuk E.V., Karpenko V.Y., Makhmadsharif S. Falgarite, $K_4(VO)_3(SO_4)_5$, a new mineral from sublimates of a natural underground coal fire at the tract of Kukhi-Malik, Fan-Yagnob coal deposit, Tajikistan // *Mineralogical Magazine*. 2020. Vol. 84 (3). P. 455–462.
- 47 Pekov I.V., Agakhanov A.A., Zubkova N.V., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Britvin S.N., Turchkova A.G., Sidorov E.G. Philoxenite, $(K,Na,Pb)_4(Na,Ca)_2(Mg,Cu)_3(Al_{0.5})(SO_4)_8$, a new mineral from fumarole exhalations of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia // *3PMO*. 2020. T. 149. №4. C. 67–77.
- 48 Pekov I.V., Agakhanov A.A., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Shchipalkina N.V., Sandalov F.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. 826–843.
- 49 Pekov I.V., Lykova I., Koshlyakova N.N., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Turchkova A.G., Britvin S.N., Sidorov E.G., Scheidl K.S. A new mineral species zincobradaczekite, $NaCuCuZn_2(AsO_4)_3$, and a new isomorphous series bradaczekite–zincobradaczekite in the alluaudite group // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2020. Vol. 47(8). P. 1–12.
- 50 Pekov I.V., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Chukanov N.V., Belakovskiy D.I., Sidorov E.G., Britvin S.B., Turchkova A.G., Pushcharovsky D.Y. Eleomelanite, $(K_2Pb)Cu_4O_2(SO_4)_4$, a New Mineral Species from the Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // *Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58. P. 1–10.
- 51 Pekov I.V., Zubkova N.V., Chaikovskiy I.I., Chirkova E.P., Belakovskiy D.I., Yapaskurt V.O., Bychkova Y.V., Lykova I., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Yu. Krasnoshteinite, $Al_8[B_2O_4(OH)_2](OH)_{16}Cl_4 \cdot 7H_2O$, a New Microporous Mineral with a Novel Type of Borate Polyanion // *Crystals*. 2020. V. 10(4). 301. P. 1–14.
- 52 Pekov I.V., Zubkova N.V., Korotchenkova O.V., Chaikovskiy I.I., Yapaskurt V.O., Chukanov N.V., Belakovskiy D.I., Lykova I.S., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Yu. Yarzhemskiiite, $K[B_5O_7(OH)_2] \cdot H_2O$, a new mineral from the Chelkar salt dome, Western Kazakhstan // *Mineralogical Magazine*. 2020. Vol. 84 (2). P. 335–342.

- 53 Pekov I.V., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Viggasina M.F., Turchkova A.G., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. XIV. Badalovite, $\text{NaNaMg}(\text{MgFe}^{3+})(\text{AsO}_4)_3$, a member of the alluaudite group // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. №4. P. 616–622.
- 54 Pekov I.V., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Viggasina M.F., Yapaskurt V.O., Britvin S.N., Turchkova A.G., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. XIII. Pansnerite, $\text{K}_3\text{Na}_3\text{Fe}_3+6(\text{AsO}_4)_8$ // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. №1. P. 143–151.
- 55 Pekov I.V., Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Belakovskiy D.I., Agakhanov A.A., Viggasina M.F., Britvin S.N., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Y. Rhabdobarite-(V), rhabdobarite-(Mo) and rhabdobarite-(W): a new group of borate minerals with the general formula $\text{Mg}_{12}\text{M}_{11}\text{B}_6[(\text{BO}_3)_{6-x}(\text{PO}_4)_x\text{F}_{2-x}]$ ($\text{M} = \text{V}^{5+}$, Mo^{6+} or W^{6+} and $x < 1$) // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2020. Vol. 47(10). P. 1–17.
- 56 Povarennykh M.Yur., Matvienko E.N., Knot'ko A.V., Silayev V.I., Shatalova T.B., Askhabov A.M., and Shumyantsev A.V. The Discovery of few-layered Graphene Flakes in Paragenetic Association with Other Carbon Nano-sized Mineral Phases // *Doklady Earth Sciences*. 2020. V. 495. № 1. P. 827–830.
- 57 Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Chukanov N.V., Belakovskiy 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, natroapthitalite, and new data on belomarinaite // *The Canadian Mineralogist*. 2020. Vol. 58 (2), 167–181.
- 58 Tolstykh N.D., Tuhý M., Vymazalová A., Plášil J., Laufek F., Kasatkin A.V., Nestola F., Bobrova, O.V. Maletoyvayamite, $\text{Au}_3\text{Se}_4\text{Te}_6$, a new mineral from Maletoyvayam deposit, Kamchatka peninsula, Russia // *Mineralogical Magazine*. 2020. V. 84. P. 117–123.
- 59 Troch J., Ellis B.S., Harris C., Bachmann O., Bindeman I.N. Low- $\delta^{18}\text{O}$ silicic magmas on Earth: A review // *Earth-Science Reviews*. 2020. Vol. 208. 103299.
- 60 Zelenski M., Chaplygin I., Babadi M.F., Taran Y., Campion R., Mehrabi B., Shakeri A., Delavari M., Nekrylov N., Pokrovsky B., Sevastyanov V., Kuznetsova O. Volcanic gas emissions from Taftan and Damavand, the Iranian volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2020. V. 397. 106880.