

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  
«17» декабря 2019 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

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

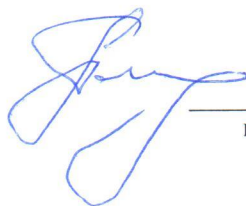
Фундаментальные проблемы развития литогенетических, магматических,  
метаморфических и минералообразующих систем, а также пункт 130:

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



17.12.2019

подпись, дата


П.Ю. Плечов

Москва 2019

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы  
д.г.-м.н., профессор РАН




  
17.12.2019  
подпись, дата

П.Ю. Плечов (разделы 3.1, 3.4, заключение)


Исполнители темы

Зам. директора  
к.г.-м.н

  
17.12.2019  
подпись, дата

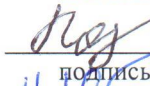
А.А. Агаханов (разделы 1, 2.1, 2.4, 2.5)

Зав. сектором ст. н.сотр.

  
17.12.2019  
подпись, дата


Д.И. Балаковский (разделы 1, 2.1, 2.4, 2.5)

Зав. сектором ст. н.сотр.

  
17.12.2019  
подпись, дата


Л.А. Паутов (разделы 1, 2.2, 2.4)

Зам. директора к.г.-м.н.

  
17.12.2019  
подпись, дата


В.Ю. Карпенко (разделы 1, 2.2, 2.4)

Вед. науч. сотр. д.г.-м.н.,  
член-корр. РАН

  
17.12.2019  
подпись, дата


И.В. Пеков (разделы 1, 2.1, 2.4, 2.5)

Вед. специалист

  
17.12.2019  
подпись, дата


А.В. Касаткин (разделы 1, 2.1, 2.4, 2.5)

Уч. секретарь к.г.-м.н.

  
17.12.2019  
подпись, дата


Е.Н. Матвиенко (введение, заключение)

Научн. рук. музея  
д.г.-м.н., профессор

  
17.12.2019  
подпись, дата


В.К. Гаранин (раздел 2.3)

Ст. науч. сотр. к.г.-м.н.

  
17.12.2019  
подпись, дата


Ю.Д. Гриценко (разделы 2.6, 3.2, 3.3)

Науч. сотр. к.г.-м.н.

  
17.12.2019  
подпись, дата

В.Ю. Герасимов (раздел 2.7)

Науч. сотр. к.г.-м.н.

  
17.12.2019  
подпись, дата

Н.А. Некрылов (раздел 3.4)

## РЕФЕРАТ

Отчет 79 с., 52 рисунка, 1 таблица, 69 источников, 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 **2019 год было открыто 17 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 микрозондового анализа и картотеки эталонных дебаеграмм, общедоступных картотек исследований, месторождений и местонахождений минералов, созданных в Минмузее РАН.

По результатам работ за год было опубликовано 58 статей. Полученные данные НИР в виде устных докладов и тезисов докладов были успешно представлены на всероссийских и международных конференциях.

## СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения	5
Введение	6
1 Новые минералы	8
2 Минералогия природных объектов	22
2.1 Новые данные по минералогии фумарол вулкана Толбачик (Камчатка, Россия)	22
2.2 Новые данные по минералогии фумарольных возгонов подземных пожаров Фан-Ягнобского угольного месторождения (Центральный Таджикистан)	24
2.3 Конституционные характеристики и закономерности формирования алмазов Архангельской и Якутской алмазоносных провинций	30
2.4 Новые данные по минералогическим объектам Восточного Памира, Алайского хребта (Таджикистан) и Туркестанского хребта (Киргизия)	40
2.4.1 Новые данные по минералогии редкометальных гранитных пегматитов	41
2.4.2 Новые данные по минералогии зоны окисления урановых месторождений	43
2.5 Новые данные по редкоземельной минерализации месторождения Мочалин Лог, Южный Урал, Россия	45
2.6 Новые данные по минералогии Дашкесанского скарнового месторождения (Азербайджан)	46
2.7 Новые данные по жадеиту и циркону Большого Кавказа	47
2.7.1 Исследование проявлений жадеита в Кавказском регионе	48
2.7.2 Новые данные по цирконометрии мигматитов кристаллического фундамента Большого Кавказа	51
3 Изучение вариаций химического состава и генезиса ряда породобразующих минералов	54
3.1 Супергруппа эпидота	54
3.2 Группа мелилита	56
3.3 Монтichelлит	62
3.4 Расплавные и флюидные включения в минералах	62
Заключение	65
Список использованных источников	67
Приложение. Список публикаций по теме	73

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ААП – Архангельская алмазоносная провинция

БТТИ – Большое трещинное Толбачинское извержение

Влк. – вулкан

М-ние – месторождение

М.з. – микрозондовый (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

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, собранные на различных месторождениях мира, а также полевые работы и сборы 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 спектрометрии 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 2019 года **было открыто и изучено 17 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 ближнего зарубежья.

2.1 Одним из наиболее ярких и плодотворных объектов исследования мирового значения был регион **активных фумарольных полей вулкана Толбачик на Камчатке** – уникальный источник как новых данных о современном минералообразовании, так и новых и редких минералов. Особенное внимание было уделено возгонам **фумаролы Арсенатной 2-го шлакового конуса северного прорыва БТТИ** (Толбачинский Дол).

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

2.3 Работы по алмазной теме музея были посвящены сравнительному анализу **конституционных характеристик и закономерностей формирования алмазов Архангельской и Якутской алмазоносных провинций.** Анализировалась корреляция алмазоносности кимберлитов с их химическим составом, морфогенетические группы алмаза из месторождений Архангельской и Якутской алмазоносных провинций.

2.4 Были продолжены исследования уникальных минералогических объектов Восточного Памира, Алайского хребта (Таджикистан) и Туркестанского хребта (Киргизия). В том числе изучение **минералов редкометальных гранитных пегматитов Кукуртского пегматитового поля (Восточный Памир, Таджикистан)** и Карасу-Каравшинского месторождения Туркестанского хребта (Киргизия), открытых сотрудниками музея в 2018 году, и цезиевых минералов **Дарай-Пиёзского (Алайский хр., Таджикистан) щелочного массива.**

Исследованы интересные находки из зоны окисления урансодержащих метасоматитов на **урановом проявлении Зор-Ярчи-Чак (В. Памир, Таджикистан).**

2.5 Продолжена работа по изучению **редкоземельной минерализации на месторождении Мочалин Лог в Вишневых горах, Южный Урал,** с его редкой лантановой минерализацией.

2.6 Изучен титансодержащий гранат из **Дашкенсанского железорудного месторождения,** в том числе на предмет датирования этого значимого скарнового объекта.

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

3 Продолжены обширные систематические работы по изучению **вариаций состава породообразующих минералов в группах эпидота, мелилита и монтичеллита**, позволившие сделать важные выводы о процессах минерало- и породообразования.

4 Продолжены работы по актуальной постоянной теме изучения **расплавных и флюидных включений в породообразующих минералах**.



## 1 Новые минералы

Одним из важнейших направлений Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана является **изучение минералогического многообразия в земной коре**. За 2019 год с участием сотрудников Минералогического музея был открыт и утвержден 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) **17 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) в 2019 году. Всего с участием сотрудников Минмузея РАН открыто и изучено 17 новых минеральных видов: перклевеит-(La), радекшкодаит-(Ce), алекскузнецовит-(La), нишанбаевит, полиарсит, юргенсонит, алевсит, ферроефремовит, фторапофиллит-(Cs), крейтерит, патынит, хинганит-(Nd), гмалимит, виттинкиит, дрицит, натроафтиталит, чийокоит. 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:***

#### **Перклевеит-(La) Percleveite-(La). IMA 2019-037.**

$\text{La}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ . Мочалин Лог, Челябинская обл., Южный Урал, Россия. Тетрагональный, пр.гр.  $P4_1$ ,  $a = 6.8482(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 24.8550(13) \text{ \AA}$ ,  $V = 362.123(14) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Назван по аналогии с ранее открытым перклевеитом-(Ce) в честь шведского химика, первооткрывателя элементов гольмия и тулия Пера Теодора Клива (Per Theodor Cleve) (1840–1905). Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5362/1 (рис. 1.1).

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

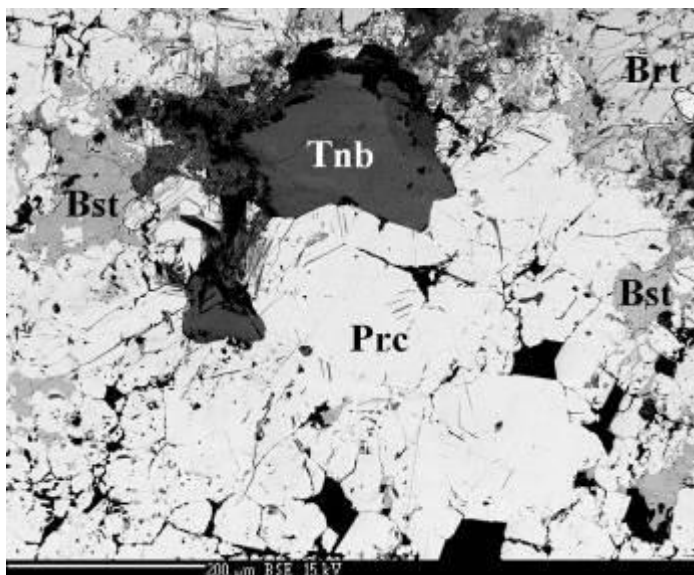


Рисунок 1.1 – Перклевеит-(La) (Prc) в ассоциации с бастнезитом-(Ce) (Bst), тёрнебомитом-(La) (Tnb) и фторбритолитом-(Ce) (Brt). Черные зерна – кварц. РЭМ-фото

**Радекшкодаит-(Ce) Radekškodaite-(Ce). IMA 2019-042.**

$(\text{CaCe}_5)(\text{Al}_4\text{Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]_5\text{O}(\text{OH})_3$ . Мочалин Лог, Челябинская обл., Южный Урал, Россия. Моноклинный, пр.гр.  $P21/m$ ,  $a = 8.9702(4) \text{ \AA}$ ,  $b = 5.7044(2) \text{ \AA}$ ,  $c = 25.1642(13) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 116.766(6)^\circ$ ,  $V = 1149.68(11) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Назван по аналогии с ранее открытым радекшкодаитом-(La) в честь чешского минералога Радека Шкоды. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5363/1 (рис. 1.2).

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

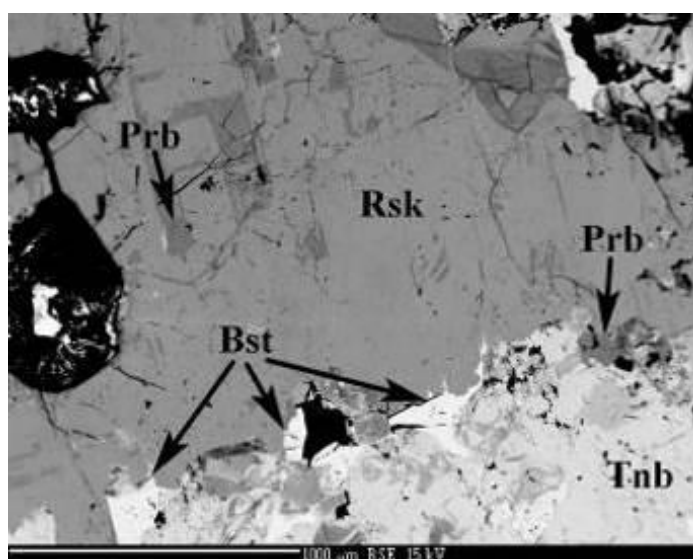


Рисунок 1.2 – Радекшкодаит-(Ce) (Rsk) в ассоциации с пербёитом-(Ce) (Prb), тёрнебомитом-(Ce) (Tnb) и бастнезитом-(Ce) (Bst). Черные зерна – кварц. РЭМ-фото

**Алекскузнецовит-(La) Alexkuznetsovite-(La).** IMA 2019-081.

$\text{La}_2\text{Mn}(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)$ . Мочалин Лог, Челябинская обл., Южный Урал, Россия. Это La-Mn-аналог бираита-(Ce) [1]. Вторая находка в мире самого бираита-(Ce) сделана авторами на этом же месторождении. Моноклинный, пр.гр.  $P2_1/c$ ,  $a = 6.5642(3) \text{ \AA}$ ,  $b = 6.7689(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 18.7213(10) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 108.684(6)^\circ$ ,  $V = 788.00(7) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ . Минерал назван в честь Алексея Михайловича Кузнецова (1962 г. р.), известного минералога и коллекционера, много работающего по Южному Уралу, в частности по Мочалину Логу. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5416/1. На микрофотографии (рис. 1.3) можно видеть алекскузнецовит-(La) в ассоциации с другими лантановыми минералами, в том числе с также новым, описанным выше перклевеитом-(La).

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

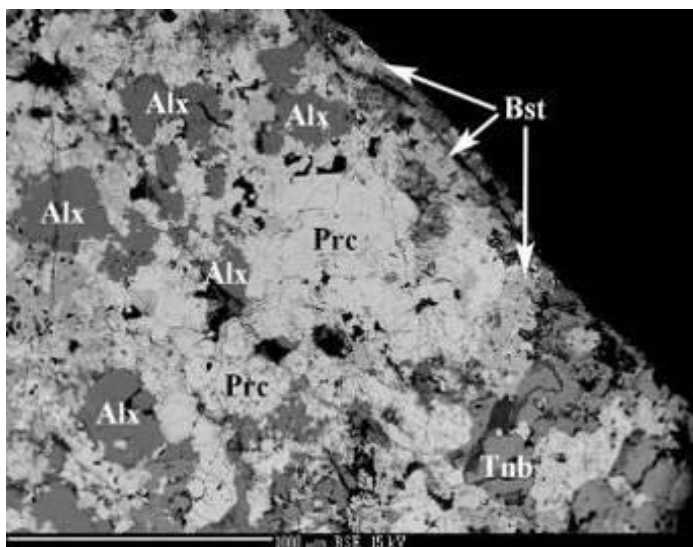


Рисунок 1.3 – Алекскузнецовит-(La) (Alx) в ассоциации с перклевеитом-(La) (Prc), тёрнебомитом-(La) (Tnb) и бастнезитом-(La) (Bst). Черные зерна – кварц. РЭМ-фото

**Крейтерит Kreiterite.** IMA 2019-041.

$\text{CsLi}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$ . Щелочной массив Дарай-Пиёз, Таджикистан. Моноклинный, пр.гр.  $C2/m$ ,  $C2$  от  $Cm$  (политип  $1M$ ),  $a = 5.240(2) \text{ \AA}$ ,  $b = 9.054(4) \text{ \AA}$ ,  $c = 10.761(4) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 99.58(4)^\circ$ ,  $V = 503.4(6) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Минерал из группы слюд. Назван в честь российского геолога Владимира Михайловича Крейтера (1897–1966), известного советского ученого, одного из основоположников учения о поисках и разведке полезных ископаемых в СССР. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 4935/1 (рис. 1.4).

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

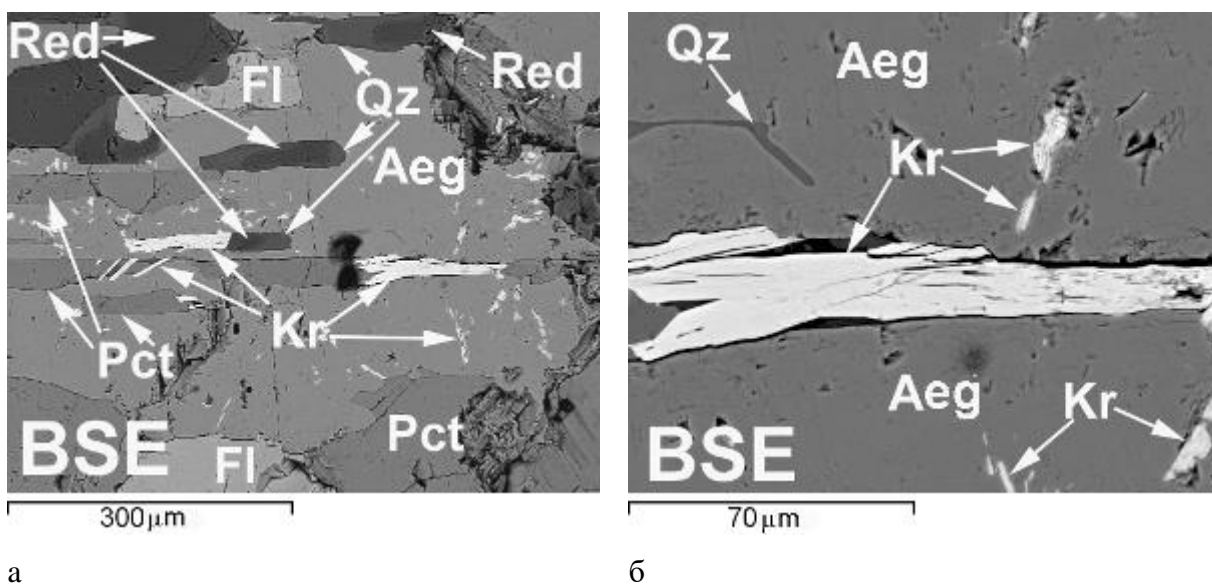


Рисунок 1.4 – Выделения крейтерита (Kr), эгирина (Aeg), флюорита (Fl) и ридмерджерита, (Red) в кварц (Qz) - пектолитовом (Pct) агрегате: обзорное фото (а) и фрагмент (б). BSE-изображение

**Фторапофиллит-(Cs) Fluoraphyllite-(Cs). IMA 2019-108.**

$CsCa_4Si_8O_{20}F \cdot 8H_2O$ . Щелочной массив Дарай-Пиёз, Таджикистан. Тетрагональный, пр.гр.  $P4/mnc$ ,  $a = 9.060(6) \text{ \AA}$ ,  $c = 15.741(11) \text{ \AA}$ ,  $V = 1292.1(1) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Минерал является цезиевым аналогом фторапофиллита-(К) и назван по аналогии согласно правилам Международной комиссии по новым минералам и названиям. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5280/1 (рис. 1.5).

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

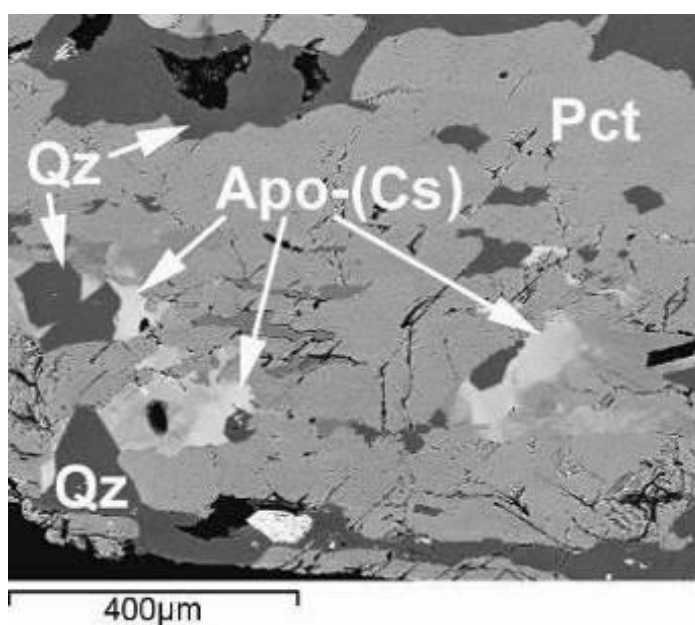


Рисунок 1.5 – Фторапофиллит-(Cs), Аро-(Cs), в кварц (Qz)-пектолитовом (Pct) агрегате. Изображение в отраженных электронах (BSE)

### Патынит Patynite. IMA 2019-018.

$\text{NaKCa}_4[\text{Si}_9\text{O}]_{23}$ . Патынский щелочной массив, Горная Шория, Кемеровская область, Южная Сибирь, Россия. Триклинный, пр.гр.  $P\bar{1}$ ,  $a = 7.27430(10) \text{ \AA}$ ,  $b = 10.5516(2) \text{ \AA}$ ,  $c = 13.9851(3) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 104.203(2)^\circ$ ,  $\beta = 104.302(2)^\circ$ ,  $\gamma = 92.0280(10)^\circ$ ,  $V = 1003.07(3) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Минерал не имеет аналогов, он новый как по химическому составу, так и по кристаллической структуре. Название дано по географическому месту находки – Патынискому щелочному массиву. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5369/1 (рис. 1.6).

Патынит – это цепочечный силикат с шестичленными цепочками, образующими колонны с внутренними каналами (рис. 1.7). Эта **уникальная структура** состоит из двух модулей. Тройная цепочка тетраэдрически координированных атомов Si простирается вдоль направления параметра решетки и состоит из трех симметрично независимых волластонитовых цепочек с тремя тетраэдрами в повторяющемся мотиве. Тройная цепочка формирует восьмичленные и пятичленные кольца тетраэдров. Две тройные цепочки связаны центром симметрии и соединены таким образом, что каждый третий тетраэдр в двух цепях имеет общую вершину с тетраэдром centrosимметричной зоны. Таким образом, шесть цепочек образуют сложный мотив тетраэдров, соответствующий колонне (или силикатной трубе), проходящей вдоль оси  $a$  и вдоль оси  $b$ . Стехиометрия силикатного радикала  $[\text{Si}_{18}\text{O}_{46}]^{20-}$ . Каждая колонка содержит центральный канал, инкрустированный боковыми полосками из восьмичленных искаженных колец. В канале имеются боковые отверстия, построенные из восьмичленных колец и пятичленных колец, идущих вдоль оси  $a$ , и шестичленных искаженных колец – перпендикулярно оси  $a$ . Такого рода каналы на сегодняшний момент **не известны ни среди силикатных радикалов, ни среди цеолитов**. Атомы К центрируют восьмичленные боковые кольца-отверстия в канале. Атомы Na центрируют восьмичленные кольца, идущие вдоль колонн.

Второй модуль: двойная цепочка Ca-центрированных октаэдров формирует гофрированный слой вдоль плоскости (001).

Авторы: Касаткин А.В., Нестола Ф., Чуканов Н.В., Шкода Р., Камара Ф., Агаханов А.А., Белаковский Д.И., Леднёв В.С. [2].



Рисунок 1.6 – Белый и коричнево-белый патынит в тесном сростании с чароитом, токкоитом, диопсидом и графитом

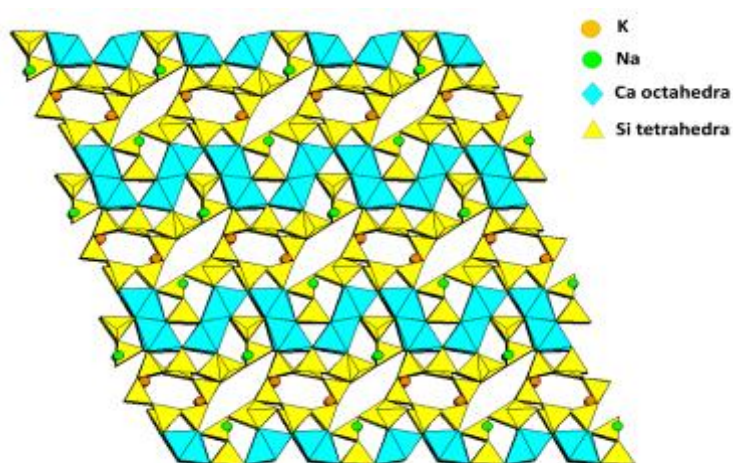


Рисунок 1.7 – Структура патынита. Оранжевые шарики – К, зеленые – Na, голубые ромбы – октаэдры Ca, желтые треугольники – тетраэдры S

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

$\text{Nd}_2\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$ . Найден на горе Зеги (Zagi/Zegi), Nameed Abad Kafoor Dheri, Пешавар, провинция Хибер-Пахтунхва, Пакистан. Минерал из супергруппы гадолинита, новый редкоземельный бериллосиликат из редкометальных пегматитов. Моноклинный, пр.гр. P21/c,  $a = 4.77193(15) \text{ \AA}$ ,  $b = 7.6422(2) \text{ \AA}$ ,  $c = 9.9299(2) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 89.851(2)^\circ$ ,  $V = 362.123(14) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Назван по аналогии с ранее открытыми хинганитом-(Y) и хинганитом-(Ce) по географическому мусту находки Большому Хингану (Khingan), Китай. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5369/1 (рис. 1.8).

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



Рисунок 1.8 – Темный зеленовато-коричневый призматический кристалл хинганита-(Nd)

**Виттинкиит** Vittinkiite. IMA 2017-082a.

$MnMn_3MnSi_5O_{15}$ . Железный рудник Виттинки, Илистаро, регион Остроботни, Финляндия. Полиморфная разновидность пироксмангита. Триклинный, пр.гр.  $P\bar{1}$ ,  $a = 6.6980(3) \text{ \AA}$ ,  $b = 7.6203(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 11.8473(5) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 105.663(3)^\circ$ ,  $\beta = 92.400(3)^\circ$ ,  $\gamma = 94.309(3)^\circ$ ,  $V = 579.38(3) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 1$ . Назван по месту находки – руднику Виттинки в Финляндии. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5061/1.

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

### ***Арсенаты и сульфаты:***

**Полиарсит** Polyarsite. IMA 2019-058.

$Na_7CaMgCu_2(AsO_4)_4F_2Cl$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский дол, Камчатка, Россия. Моноклинный, пр.гр.  $I2/m$ ,  $a = 8.4323(4) \text{ \AA}$ ,  $b = 10.0974(4) \text{ \AA}$ ,  $c = 10.7099(6) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 90.822(4)^\circ$ ,  $V = 911.79(8) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Полиарсит (рис. 1.9) не имеет аналогов, он новый как по химическому составу, так и по кристаллической структуре. Назван от греческого πολύς, «многие», и из-за принадлежности к арсенатам, плюс этот арсенат содержит много химических элементов, расположенных в отдельных позициях кристаллической структуры, а именно четыре металлических катиона (Na, K, Mg и  $Cu^{2+}$ ) и два дополнительных аниона ( $F^-$  и  $Cl^-$ ). **Кристаллическая структура полиарсита уникальна** (рис. 1.10). Минерал представляет **новый структурный тип**. Содержит целый ряд химических элементов, расположенных в отдельных позициях

кристаллической структуры: четыре металлических катиона (Na, K, Mg и  $\text{Cu}^{2+}$ ) и два дополнительных аниона ( $\text{F}^-$  и  $\text{Cl}^-$ ). Причем атомы натрия занимают три кристаллографически неэквивалентные позиции, образуя сложный катионный мотив. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5417/1 (рис. 1.9).

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

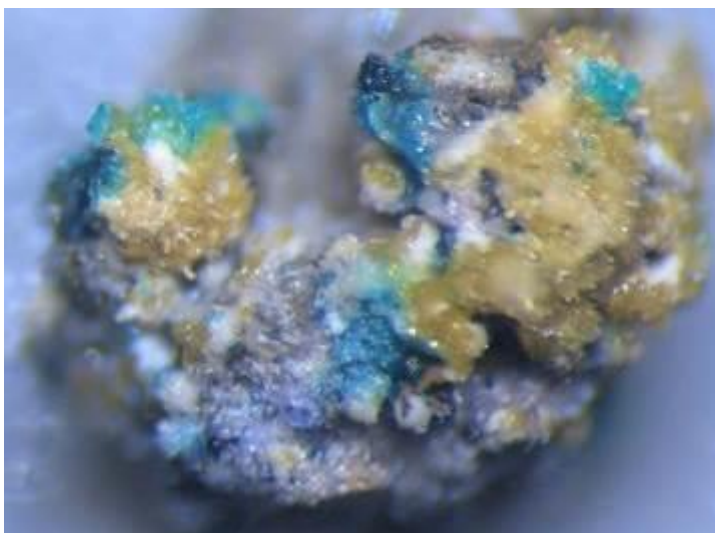


Рисунок 1.9 – Серо-синие кристаллические корки полиарсита в сростании с желтыми кристаллами эгирина, белыми и бесцветными зернами тридимита и санидина. Поле зрения 1.7 мм

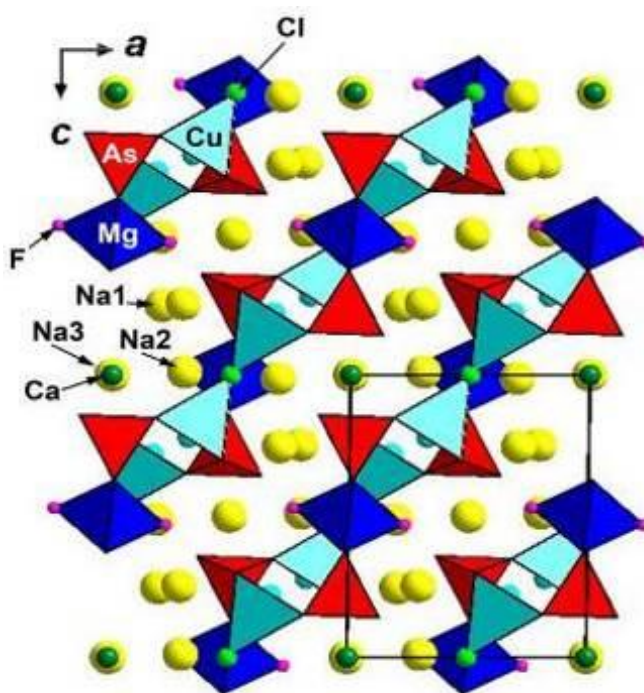


Рисунок 1.10 – Проекция кристаллической структуры полиарсита. Обозначена сторона элементарной ячейки



**Юргенсонит** Yurgensonite. IMA 2019-059.

$K_2SnTiO_2(AsO_4)_2$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский дол, Камчатка, Россия. Изоструктурный аналог катиарсита  $KTiO(AsO_4)$ . Ромбический, пр.гр.  $Pna2_1$ ,  $a = 13.2681(6) \text{ \AA}$ ,  $b = 6.6209(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 10.8113(5) \text{ \AA}$ ,  $V = 949.74(7) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ . Минерал назван в честь российского минеролога, геохимика и специалиста в исследованиях месторождений рудных полезных ископаемых, профессора Георгия Александровича Юргенсона (1935 г. р.), сделавшего значительный вклад в минералогию и геохимию оловянных месторождений Забайкалья (Южная Сибирь, Россия). Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5419/1 (рис. 1.11).

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

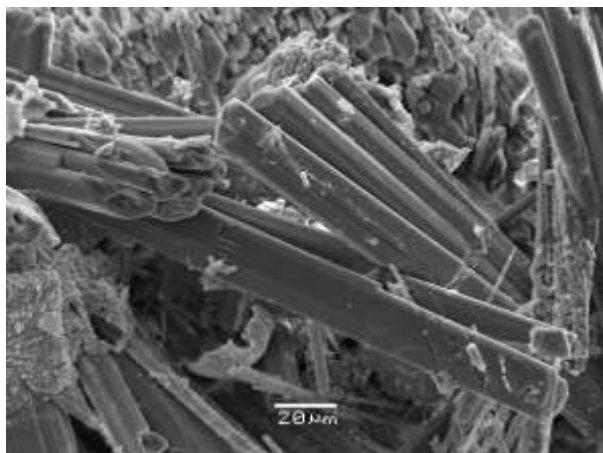


Рисунок 1.11 – Многочисленные пучки бесцветных игольчатых кристаллов юргенсонита, обросшие красновато-коричневым паснеритом и молочно-белым афтиталитом, на матрице, состоящей из желто-белого санидина и желтовато-зеленого бадаловита. Поле зрения 10 мм

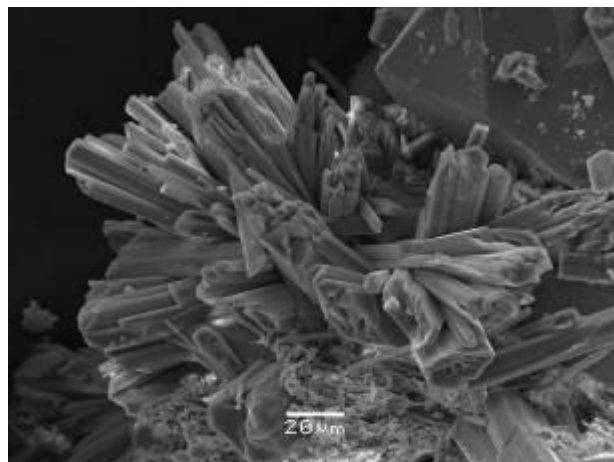
**Алевсит** Alevsite. IMA 2019-064.

$Na_2Mg(AsO_4)F$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский дол, Камчатка, Россия. Изоструктурный аналог моракоита  $Na_2Mg(PO_4)F$  и синтетического соединения  $Na_2Mg(PO_4)F$ . Ромбический, пр.гр.  $Pbcn$ ,  $a = 5.32235(12) \text{ \AA}$ ,  $b = 14.1255(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 12.0047(3) \text{ \AA}$ ,  $V = 902.53(4) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 8$ . Назван в честь российского минеролога Александра Андреевича Евсеева (1949 г. р.), известного специалиста в истории минералогии и применении географической информации в минералогии. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5418/1 (рис. 1.12).

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



а



б

Рисунок 1.12 – Сrostки призматических кристаллов алевсита на игольчатых кристаллах бадаловита (а) и в срastании с кристаллом гематита (б)

#### **Нишанбаевит** Nishanbaevite. IMA 2019-012.

$(K,Na)Al_2O(AsO_4)(SO_4)$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский дол, Камчатка, Россия. Ромбический, пр.гр.  $Pbcm$ ,  $a = 15.487(3) \text{ \AA}$ ,  $b = 7.2582(16) \text{ \AA}$ ,  $c = 6.6014(17) \text{ \AA}$ ,  $V = 742.1(3) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ . Минерал не имеет аналогов, он новый как по химическому составу, так и по кристаллической структуре. Назван в честь советского (российского) минералога Турсуна Прназоровича Нишанбаева (1955–2017).

Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5379/1 (рис. 1.13).

В основе структуры (рис. 1.14) лежат (101) гетерополиэдрические слои, образованные  $CuO_4Cl$ -тетрагональными пирамидами,  $AsO_4$ -тетраэдрами и  $MgO_4F_2$ -октаэдрами. Две пирамиды  $CuO_4Cl$  имеют общую вершину  $Cl$ , образуя димер  $Cu_2O_8Cl$ , который делит все восемь кислородных вершин с восемью тетраэдрами  $AsO_4$ . Каждый тетраэдр имеет две общие кислородные вершины с  $Cu$ -центрированными многогранниками смежных димеров и одну общую вершину с  $Mg$ -центрированным октаэдром. Октаэдры  $MgO_4F_2$  разделяют все кислородные вершины с тетраэдрами  $AsO_4$ . Соседние  $Cu-Mg-As-OF-Cl$ -слои связаны через кубы  $CaO_8$  с образованием псевдокаркаса, в котором каждый куб  $CaO_8$  имеет четыре общих ребра с четырьмя  $As$ -центрированными тетраэдрами (два тетраэдра, принадлежащие одному слою, и два соседних) и два ребра с тетрагональными пирамидами  $CuO_4Cl$  из соседних слоев.

Три кристаллографически неэквивалентные октаэдрически координированные позиции Na локализованы в полостях псевдокаркаса. Атомы Na(1) расположены в каналах [010] внутри псевдокаркаса и центрируют сильно искаженные Na(1)O<sub>4</sub>FCl-октаэдры; эти октаэдры образуют изолированные друг от друга димеры Na<sub>2</sub>O<sub>8</sub>F<sub>2</sub>Cl, связанные друг с другом через общие вершины – атомы Cl. Атомы Na(2) расположены между F-анионами, занимают искаженные октаэдры Na(2)O<sub>4</sub>FCl. Они связаны между собой общими гранями Cl–O(2)–O(2), образуя димеры. Два таких смежных димера имеют общую вершину Cl, образуя четырехполиэдрический кластер. Эти кластеры связаны друг с другом общими F-вершинами, образуя ленты [Na<sub>4</sub>O<sub>12</sub>F<sub>2</sub>Cl]<sub>∞</sub> вдоль оси *b*. Na(3)-центрированные октаэдры Na(3)O<sub>4</sub>F<sub>2</sub>, изолированные друг от друга, расположены между Ca-центрированными кубами. Структурные фрагменты, построенные из Na-центрированных октаэдров, соединены общими краями и гранями, образуя сложный катионный мотив.

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

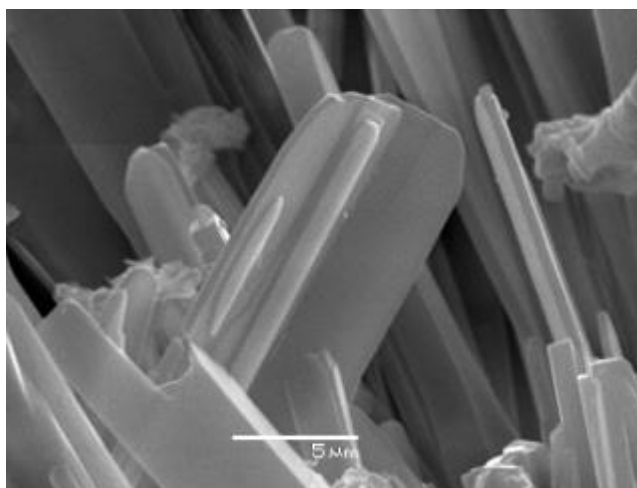


Рисунок 1.13 – Уплощенные кристаллы нишанбаевита

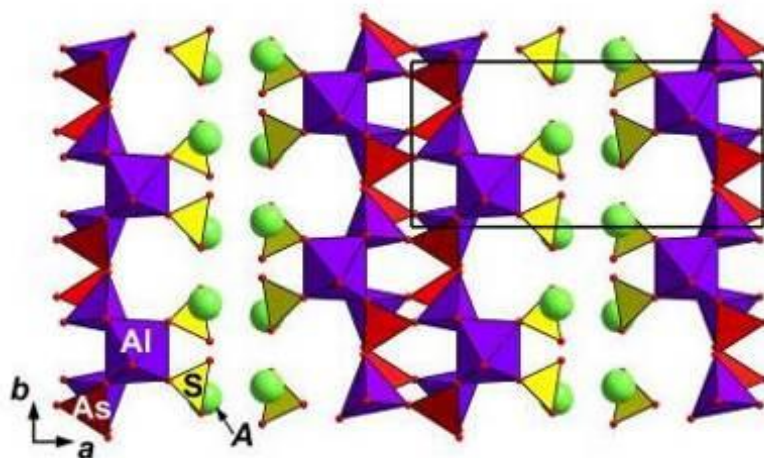


Рисунок 1.14 – Проекция кристаллической структуры нишанбаевита. Обозначена сторона элементарной ячейки

**Ферроэфремовит** Ferroefremovite. IMA 2019-008.

$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}^{2+}_2(\text{SO}_4)_3$ . Фумарола Восса Grande, вулкан Solfatara di Pozzuoli, Италия. Относится к группе лангбенита, железный аналог ефремовита  $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$ . Кубический, пр.гр.  $P2_13$ ,  $a = 10.0484(9) \text{ \AA}$ ,  $V = 1014.59(16) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ . Минерал назван по аналогии с ранее открытым ефремовитом, в честь Ивана Антоновича Ефремова (1907–1972), русского геолога и писателя-фантаста. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5368/1 (рис. 1.15).

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



Рисунок 1.15 – Мелкие бесцветные кубические кристаллы ферроэфремовита с белым мелкозернистым хайзингитом-(Al). Поле зрения 1.8 мм

**Натроафтиталит** Natroapthitalite IMA 2018-091.

$\text{KNa}_3(\text{SO}_4)_2$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва БТТИ, Толбачинский Дол, Камчатка, Россия. Тригональный, пр.гр.  $P\bar{3}m1$ ,  $a = 5.6014(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 7.1507(5) \text{ \AA}$ ,  $V = 194.30(2) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 1$ . Минерал изоструктурен с афтиталитом [3] и назван по составу, из-за преобладания Na над K, в отличие от афтиталита. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5254/1 (рис. 1.16).

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

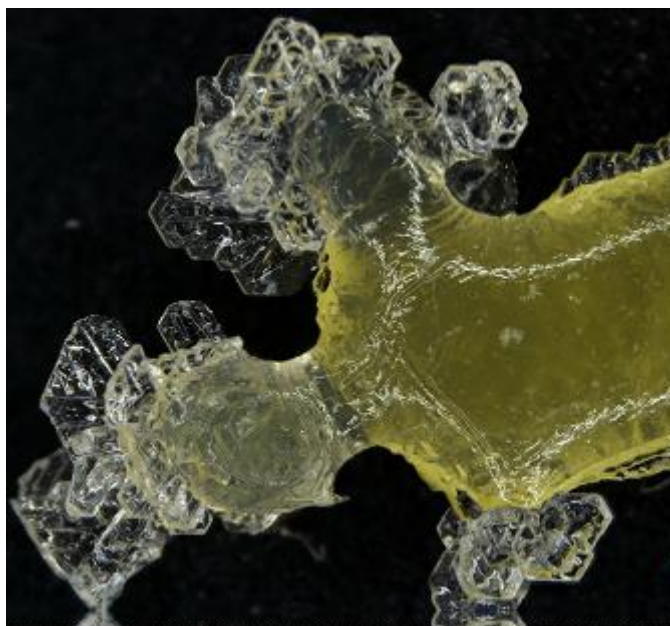


Рисунок 1.16 – Агрегаты хорошо образованных бесцветных прозрачных шестиугольных таблитчатых кристаллов натроафтиталита. Поле зрения 15 мм

***Минералы других классов:***

**Чийокоит Chiyokoite IMA 2019-054.**

$\text{Ca}_3\text{Si}(\text{CO}_3)[\text{B}(\text{OH})_4]\text{O}(\text{OH})_5 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Найден в шахте Fuka, Bicchu-cho, Takahashi, префектура Окаяма, Япония. Минерал из низкотемпературных бороносных скарнов, принадлежит группе этtringита. Гексагональный, пр.гр.  $R\bar{6}_3$ ,  $a = 11.0119(5) \text{ \AA}$ ,  $c = 10.5252(13) \text{ \AA}$ ,  $V = 1105.31(9) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Назван в честь профессора Чийоко Хенми (1949–2018), сделавшего значительный вклад в изучение минералогии Японии. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5412/1 (рис. 1.17).

Авторы: Лыкова И.С., Чуканов Н.В., Пеков И.В., Япаскур В.О., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Белаковский Д.И., Варламов Д.А., Бритвин С.Н., Scheidl K.S. [4].

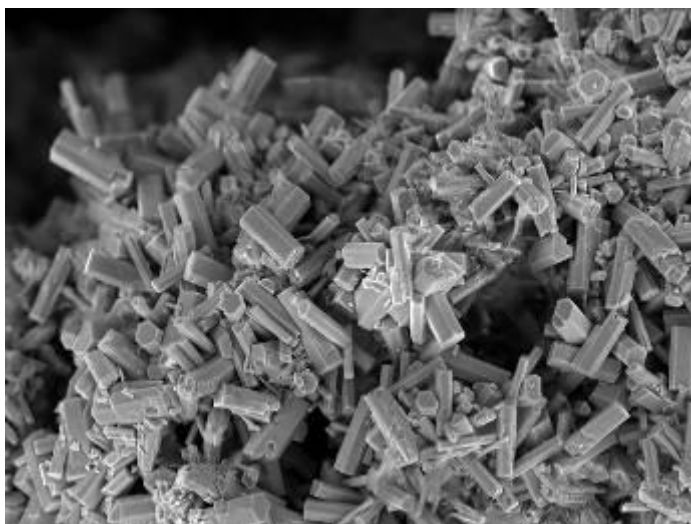


Рисунок 1.17 – Агрегаты кристаллов чийокоита. BSE-изображение. Поле зрения 0.4 мм

**Гмалимит** Gmalimite. IMA 2019-007.

$K_6Fe^{2+}_{23}Cu^{+2}S_{27}$ . Река Halamish, формация Хатрурим, пустыня Негёв близ Арада, Израиль. Относится к группе джерфишерита и является К-аналогом зохарита  $(Ba,K)_6(Fe,Cu,Ni)_{25}S_{27}$ . Кубический, пр.гр.  $Pm\bar{3}m$ ,  $a = 10.34863 (8) \text{ \AA}$ ,  $V = 1108.28 (3) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 1$ . Название дано по притоку реки Халамиш, пустыня Негёв, Израиль. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5297/1.

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

**Дрицит** Dritsite IMA 2019-017.

$Li_2Al_4(OH)_{12}Cl_2 \cdot 3(H_2O)$ . Найден в скважине № 2001, Романовский район, Верхнекамское месторождение каменной соли, Пермская область, Россия. Минерал надгруппы гидроталькита с бруситоподобной структурой. Гексагональный, пр.гр.  $R\bar{6}_3/mc$ ,  $a = 5.0960(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 15.3578(13) \text{ \AA}$ ,  $V = 345.4(5) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 1$ . Назван в честь русского кристаллографа и минералога Виктора Анатольевича Дрица (1932 г. р.). Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5380/1.

Авторы: Житова Е.С., Пеков И.В., Чайковский И.И., Чиркова Е.П., Япаскур В.О., Белаковский Д.И., Чуканов Н.В., Зубкова Н.В., Бритвин С.Н., Бочаров В.Н. [5].

## **2 Минералогия природных объектов**

В 2019 году сотрудники Музея проводили исследования минералогии природных объектов Камчатки [6–12], Архангельской обл. [13, 14], Предуралья [5], Урала [15–17], Сибири [2 и др.], Северного и Западного Кавказа [18], Закавказья [19], Таджикистана, Киргизии [17, 20, 21 и др.] и других регионов.

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

Продолжалась работа по фумарольной минералогии влк. Толбачик, Камчатка, Россия. Фумарольные поля вулкана Толбачик на Камчатке – минералогический объект мирового значения [22]. В минералого-геохимическом и генетическом аспектах этот объект уникален, в первую очередь по масштабам концентрации в наземных эксгалиационных системах малораспространенных и редких элементов (Cu, Zn, Pb, As, V, Sn, Se, Au, Cs, Tl и др.), а

также по многообразию и необычности ассоциаций химических элементов. Разнообразие и своеобразие минерализации толбачинских фумарол обусловлено уникальным для природных объектов сочетанием физико-химических условий и механизмов ее формирования: это высокие температуры (до 700–800 °С), атмосферное давление, очень высокая фугитивность кислорода (в результате смешения вулканического газа с атмосферным воздухом на стадии, предшествующей минералообразованию), газовый транспорт большинства компонентов, прямое осаждение многих высокотемпературных минералов (известно 146) из вулканических газов, обладающих специфической геохимией, включая сильную обогащенность щелочными и халькофильными («рудными») элементами, широкое проявление газового метасоматоза (взаимодействие горячего газа с породами, слагающими стенки фумарольных камер), развитие процессов «горячего гипергенеза» (минералообразование в верхних частях фумарольных систем при температурах 50–150 °С в результате сложных взаимодействий между вулканическим газом, атмосферной влагой и ранее образованными минералами). Фумарольные поля Толбачика – самый яркий в мире пример наземных эксгаляционных минералообразующих систем окислительного типа. По минеральному и геохимическому разнообразию они намного превосходят сходные объекты не только в Курило-Камчатском регионе, но и на Везувии (Италия), Изалько (Сальвадор), вулканах Японии, Индонезии, Исландии и др. Нет сомнения, что именно Толбачик следует сегодня рассматривать как эталонный для данного геохимико-минералогического и генетического типов объект. В музейно-минералогическом аспекте фумарольные поля Толбачика являются уникальным объектом. Это заключается не только в широчайшем разнообразии минералов, включая большое число редких, подчас эндемичных видов, которые особенно интересны с точки зрения включения в музейные коллекции классического систематического направления, но и в том, что здесь, в отличие от фумарол большинства других вулканов, многие экзотические минералы образуют крупные

обособления, известны в эффектных образцах, которые могут украсить витрину любого музея.

В 2019 году из фумарольных образований Толбачика изучены и утверждены в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA **пять новых минеральных видов**: полиарсит, юргенсоноит, алевсит, нишанбаевит, натроафтиталит (описаны в разделе 1).

Также из фумарольных образований, но уже вулкана Solfatara di Pozzuoli, Италия, был изучен и утвержден в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA еще один новый минерал – ферроефремовит.

За 2019 год по теме минералогии фумарольных образований и возгонов влк. Толбачик, Камчатка, Россия, опубликовано восемь статей [3, 6–12] и сделан доклад на международной конференции [22].

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

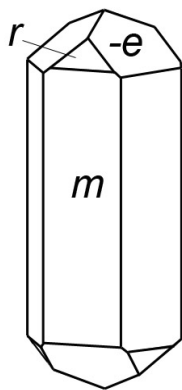
Подземные пожары продолжаются здесь многие сотни лет, и месторождение представляет собой уникальную природную лабораторию, где непрерывно образуется минеральное вещество.

В рамках изучения минерализации возгонов на угольном пожаре Фан-Ягнобского месторождения каменного угля (~100 км к северу от г. Душанбе), являющегося одним из крупнейших в Центральной Азии месторождений коксующихся углей, установлен ряд редких минералов, недиагностированных фаз, а также продолжено доизучение ранее выявленных минералов. Месторождение приурочено к Фан-Ягнобской синклинали, вытянутой на 24 км в северо-западном направлении, в сложении которой принимают участие породы триаса, угленосные толщи юрского возраста и перекрывающие их осадочные отложения мелового, палеогенового и неогенового возраста [23, 24]. Относительно средних содержаний микроэлементов в углях Центральной Азии (регионального геохимического фона, РГФ) угленосные породы Фан-Ягнобского месторождения характеризуются повышенными концентрациями V, Sn, Ag, W, Cu, Mo, Pb, Zn, Cr, Be, Cd [24]. На площади месторождения известны многочисленные подземные пожары, как уже потухшие, так и действующие поныне, не связанные с деятельностью человека, из которых наиболее известен пожар на правом борту р. Ягноб близ бывшего кишлака Рават в верховьях урочища Кухи-Малик, где располагается множество выходов газовых струй с температурой от 40 до



590 °C [25]. Минералогии возгонов посвящены многочисленные статьи [23, 26, 25, 27–31 и др.], а продукты пирогенного метаморфизма пород, включая паралавы, описаны в работах [32, 33 и др.]. Наши исследования несут не только новые данные по минералогии возгонов, но и обобщают представления о механизмах минералообразования из газовой фазы.

### Самородный теллур



Самородный теллур известен в fumarольных отложениях некоторых вулканов: Толбачик, Качатка, Россия; La Fossa, Италия; Усу, Япония, [34–36]. Впервые теллур встречен в сублиматах высокотемпературных fumarол природного угольного пожара.

Он представлен призматическими кристаллами (0.1 мм), наиболее развиты формы  $m \{10\bar{1}0\}$ ,  $\bar{e} \{01\bar{1}2\}$ ,  $r \{10\bar{1}1\}$ , реже  $c \{0001\}$  и ряд неидентифицированных форм (рис. 2.2.1, 2.2.2).

Рисунок 2.2.1 – Чертеж идеализированного кристалла теллура с наиболее характерными развитыми формами

В ассоциации сульфаты Fe и K, Tl и K, англезит. Химический состав самородного теллура изучался на сканирующем электронном микроскопе JSM-35FC с Si(Li)-энергодисперсионным спектрометром и системой анализа ISIS при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА. Состав минерала изменчив в пределах кристалла (рис. 2.2.3). Источником селена в возгонах пожара в урочище Кухи-Малик являются угленосные породы месторождения, содержащие его примесь [25]. Кристаллы теллура зональные, центральная часть обогащена Se (до 9 мас.%). Определены физические свойства, получена рентгеновская порошкограмма [37]. Одним из объяснений возникновения зональных по содержанию Se кристаллов является возможное изменение локальной термической обстановки на участке роста кристаллов теллура, что повлекло последующий дальнейший рост обедненного селеном теллура вплоть до чистого теллура.

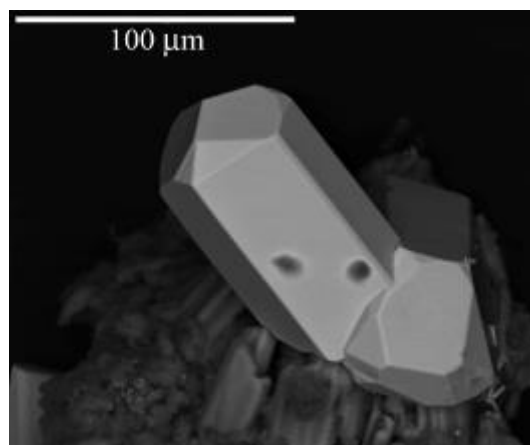
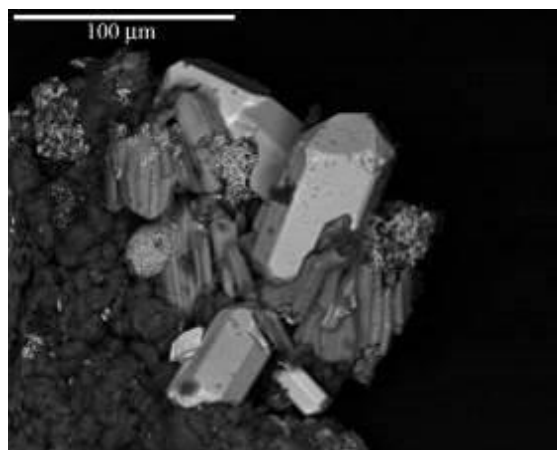
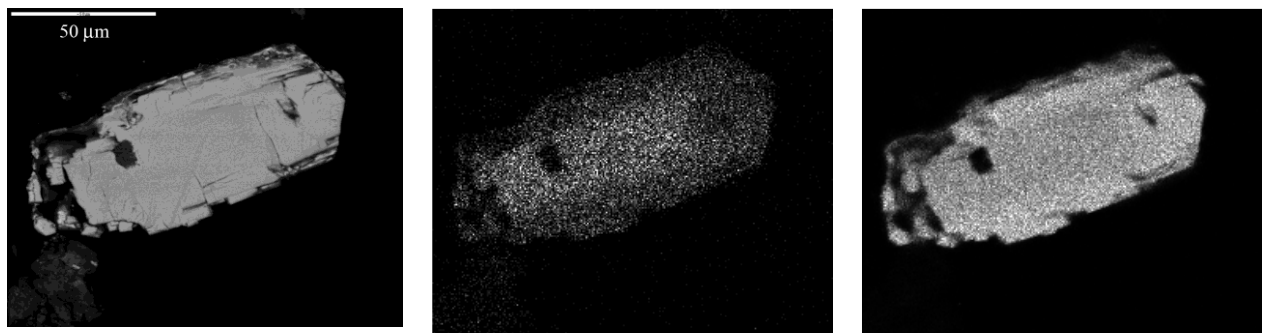


Рисунок 2.2.2 – Самородный теллур: сростки призматических кристаллов (BSE)



BSE

SeK $\alpha$

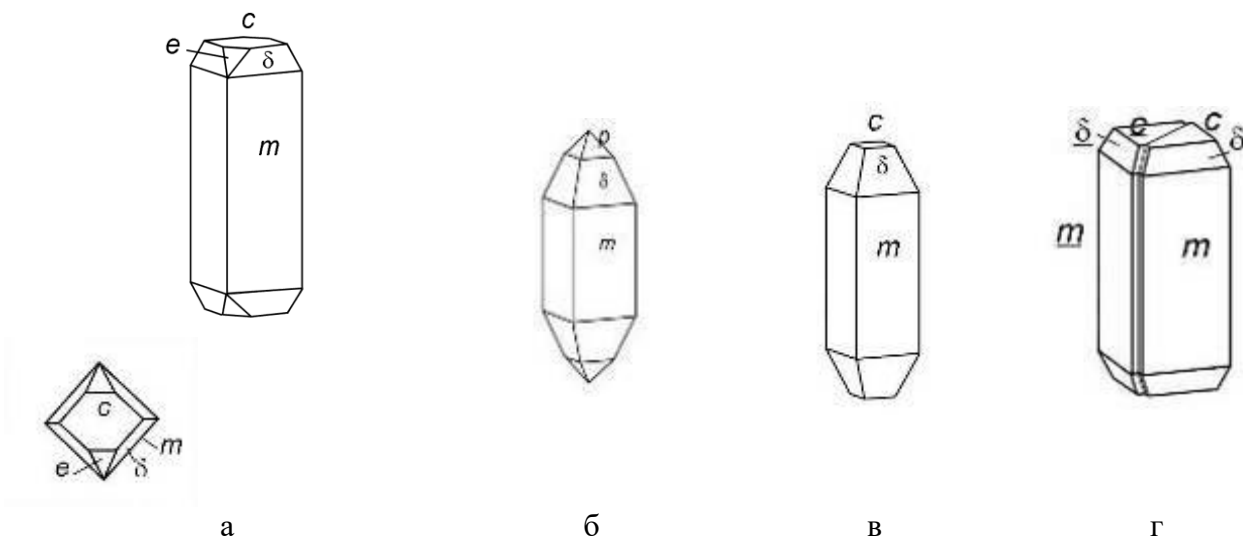
TeL $\alpha$

Рисунок 2.2.3 – Изображение среза кристалла самородного теллура из возгонов подземного пожара в режиме BSE и характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов

В сублиматах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик кристаллизация самородного теллура проходила из газовой фазы. Вероятно, это первая находка теллура в возгонах угольных пожаров. Большинство находок самородного теллура связано с продуктами гидротермальных процессов, кристаллизация же теллура из газовой фазы – явление в природе редкое, и кроме настоящей находки известны только единичные такие примеры – находки теллура в отложениях вулканических фумарол [35, 36].

#### Пауфлерит $\beta$ -VO(SO<sub>4</sub>)

Впервые минерал описан в возгонах высокотемпературных фумарол (500–600 °С) на 1-м шлаковом конусе Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка, Россия) [38]. Пауфлерит отмечен в карбонатитах Montviel (Канада) и сублиматах вулкана Colima, Мексика [39, 40], однако аналитические данные по минералу не приводятся либо же являются неоднозначными. Пауфлерит диагностирован в образцах возгонов высокотемпературных выходов газов, собранных авторами при полевых работах в 2019 г. Встречен в виде сростков и одиночных хорошо образованных кристаллов размерами от 40 до 100 мкм по удлинению. Идеализированные кристаллы пауфлерита представлены на рис. 2.2.4.



а

б

в

г

Рисунок 2.2.4 – Идеализированные кристаллы пауфлерита (а–в) и двойник по (010) (г)

Габитус кристаллов удлиненно-призматический, с хорошо развитой призмой  $m$  (110), в огранке головки участвуют формы  $c$  (001),  $e$  (101),  $p$  (111),  $\delta$  (221). Нередки двойники с характерными входящими углами, одним из вероятных является двойникование по (010) (рис. 2.2.5). Прозрачный, зеленого цвета. Блеск стеклянный. Хрупкий. Черта белая. Двуосный,  $2V$  близок к  $90^\circ$ . Дисперсия осей очень слабая  $v > r$ . Плоскость оптических осей перпендикулярна удлинению кристаллов,  $n_p = 1.733(2)$ ,  $n_m = 1.778(3)$ ,  $n_g \text{ расч} = 1.823(4)$ . Плеохроизм: по  $N_g$  – зеленая, по  $N_m$  – светло-зеленая, по  $N_p$  – светло-зеленая. Формула абсорбции  $N_g > N_m > N_p$ . Состав (ср. по 3 ан., м.з., вес.%):  $\text{VO}_2$  49.87,  $\text{SO}_3$  50.01, формула  $\text{V}_{0.97}\text{O}(\text{S}_{1.02}\text{O}_4)$ . Получена порошкограмма минерала, соответствующая таковой голотипного образца.

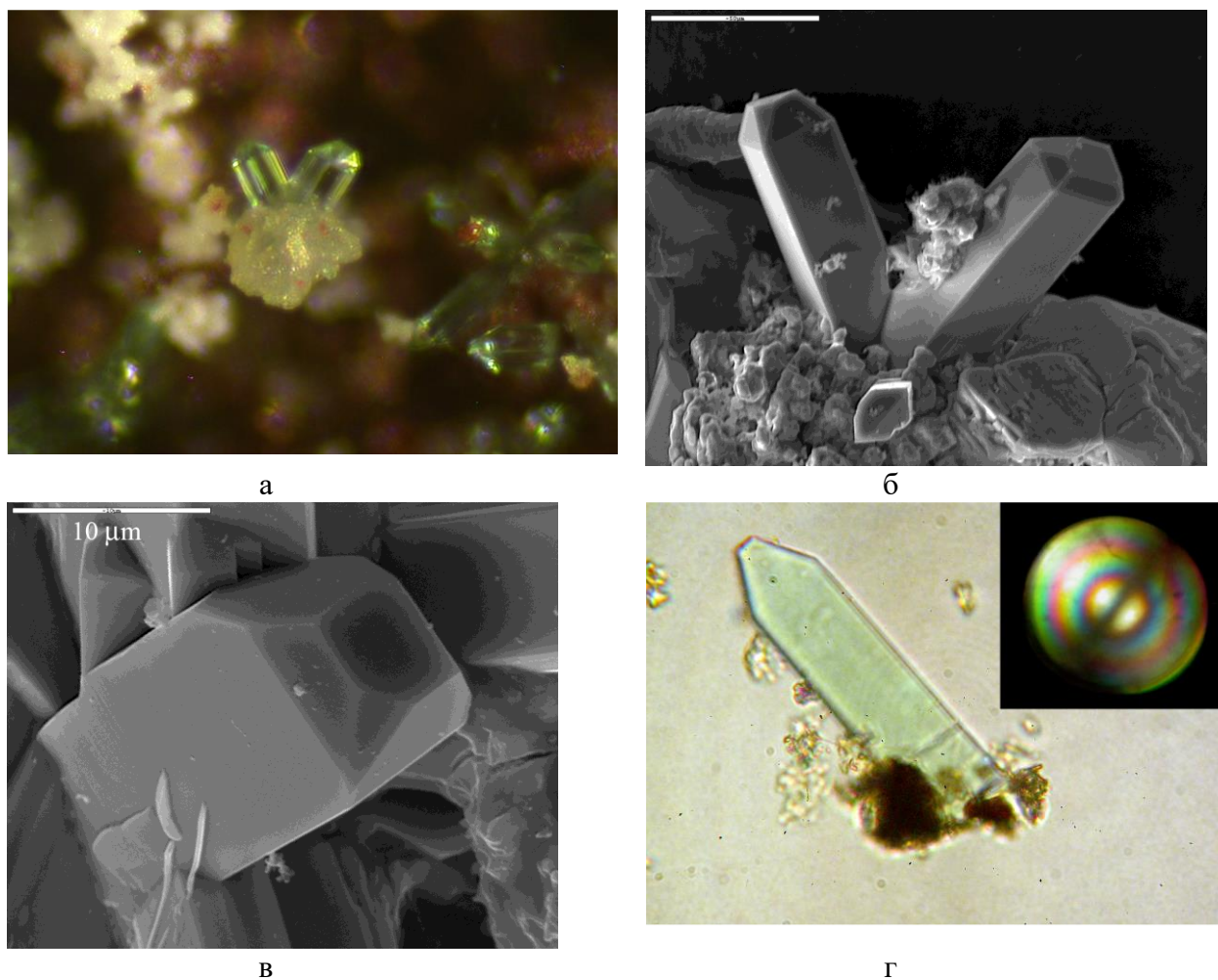


Рисунок 2.2.5 – Пауфлерит: кристаллы и их сростки. Изображение под бинокулярным микроскопом (а), в режимах SEI и BSE (б, в), в проходящем свете с врезкой коноскопической фигуры при данной ориентировке (г)

#### **Бонациит $\text{As}_4\text{S}_4$ , $C2/c$ и**

#### **Реальгар $\text{As}_4\text{S}_4$ , $P2_1/n$**

Бонациит – редкий природный аналог  $\beta\text{-As}_4\text{S}_4$ , впервые описанный в из Alacran (Чили) и Хайдаркана (Киргизия) [41]. Других достоверных находок минерала,

подкрепленных инструментальными данными, неизвестно. В возгонах, богатых мышьяковыми соединениями, встречен бонацциит на Кухи-Малике. Минерал образует перьевидные, часто скелетные кристаллы на щетках призматических кристаллов реальгара, последний также нередко образует скелетные кристаллы (рис. 2.2.6). Для бонацциита характерна небольшая, но постоянная примесь Se (до 0.65 вес.%), формула  $As_4(S_{4.03}Se_{0.03})_{4.06}$  (9 м.з. анализов). Напротив, кристаллы реальгара, на которые нарастает бонацциит, свободны от примесей Se, формула  $As_4S_{4.08}$ . Диагностика бонацциита и реальгара подтверждена порошковым рентгеновским методом. Тесную ассоциацию двух диморфов  $As_4S_4$  можно объяснить, вероятнее всего, быстрой сменой локальной обстановки на выходе газовых струй.

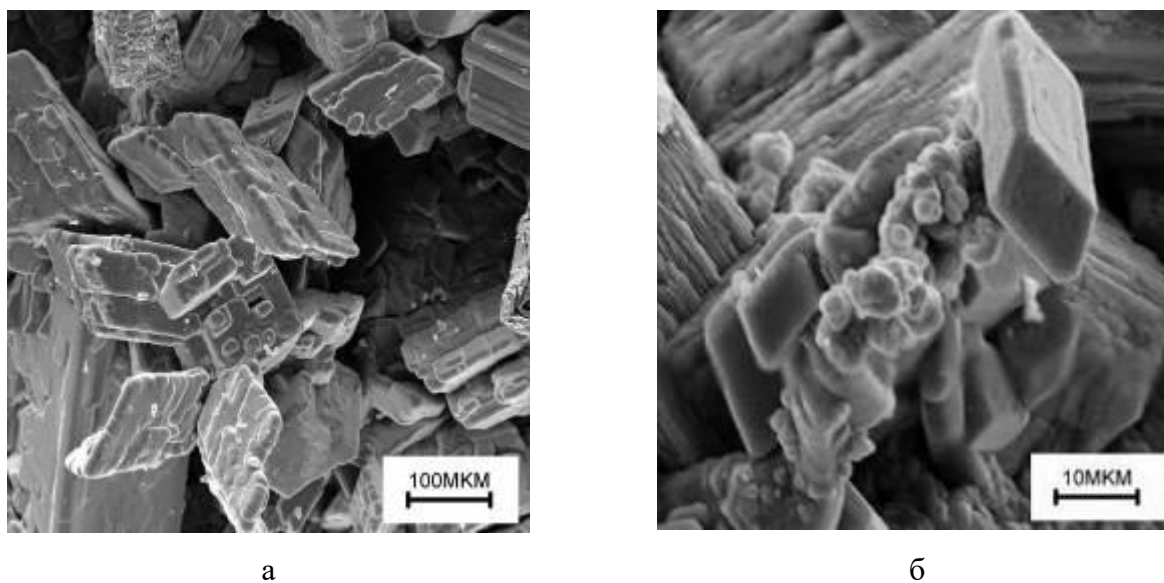
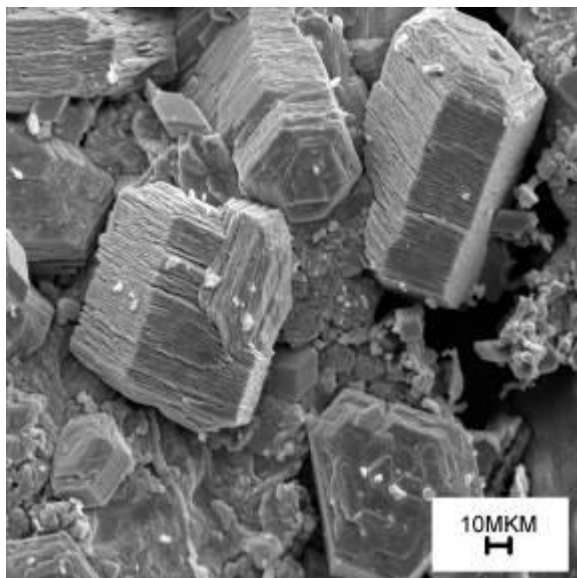


Рисунок 2.2.6 – Ромбовидные кристаллы бонацциита, нарастающие на реальгар (а), оксидбромид аммония и мышьяка (б)

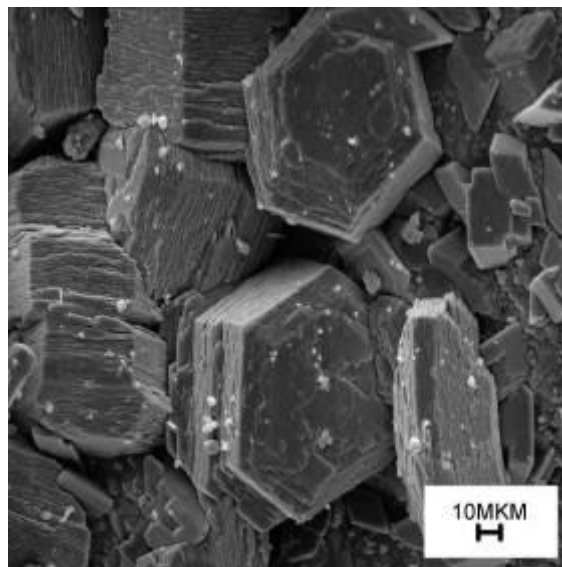
#### Незванный $(NH_4)$ –As-оксидбромид $(NH_4)As_2O_6(Br, Cl, F)$ , гекс.с.

Среди низко-среднетемпературных возгонов, богатых сульфидами мышьяка (реальгар, бонацциит), встречен оксидбромид аммония и мышьяка, Br-аналог недавно открытого в Чили маурицийдинита (Kampf et al., 2020, в печати) и находящегося в стадии изучения. Минерал встречен в виде желтоватых кристаллов призматического и таблитчатого габитуса, таблитчатые кристаллы часто образуют сростки в виде сферолитов. Предварительный состав минерала (микронзонд, EDS)  $(NH_4)_{0.97}As_{3.77}Sb_{0.04}S_{0.19}O_{5.55}(Br_{0.85}Cl_{0.10}F_{0.09})$ , параметры ячейки (расчет по порошкограмме)  $a = 5.257(1)$ ,  $c = 9.14(1)$  Å,  $\alpha = \beta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 120^\circ$ ,  $V = 218.7(1)$  Å<sup>3</sup>. Измеренная плотность (3.59 г/см<sup>3</sup>) близка к теоретической (3.65 г/см<sup>3</sup>). Спайность минерала совершенная, по (001). Микротвердость в плоскости спайности ~ 40 кгс/мм<sup>2</sup> (1.5 по Моосу). Структурный тип аналогичен таковому для синтетических соединений типа  $(NH_4)As_4O_6X$ , где X = (Br, Cl, I).

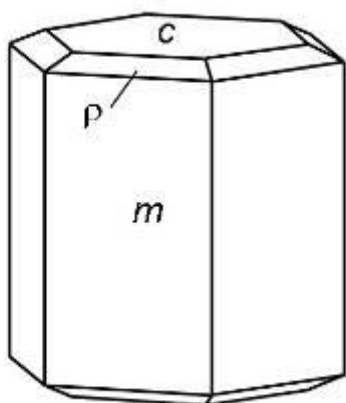
Кроме реальгара и бонацциита в ассоциации находятся сера, нашатырь. Материалы готовятся для подачи в Комиссию по номенклатуре и названиям новых минералов ММА.



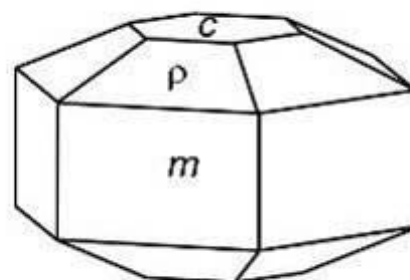
а



б



в



г

Рисунок 2.2.7 – Кристаллы  $\text{NH}_4\text{-As-оксиброма}$  – изображение в режиме SEI (а, б) и чертежи идеализированных кристаллов (в, г)

### **Нашатырь бромсодержащий**

В нашатыре, собранном сотрудником Минмузея РАН Ю.Д. Гриценко и Я. Ланцевым в апреле 2019 г., обнаружены повышенные содержания брома (0.19 вес.% Br, метод РФА, аналитик Л.А. Паутов). Бромсодержащий нашатырь представляет собой щетки необычного коричневатого-желтого цвета и происходит из относительно низкотемпературной зоны разгрузки. Образцы переданы в коллекцию Минмузея РАН.

### **Основные итоги:**

1) Обнаружение редких минералов в возгонах угольного пожара интересно не только с точки зрения находок очередных экзотических фаз, но является как бы демонстрацией механизма природной дифференциации и концентрирования редких элементов, что связано в свою очередь, вероятно, с изменением локальных условий кристаллизации из возгонов (температуры, скорости потока и др.).

2) Впервые для угольных пожаров выявлена бромовая минерализация. Бром, несмотря на сопоставимый с йодом кларк, образует в два раза меньше собственных минералов, а также он выступает в качестве примесного компонента в силу геохимических, кристаллохимических особенностей, потому любая новая информация по минералогии брома имеет фундаментальное значение.

3) Результаты изучения представлены в статьях [37, 42].

### **2.3 Конституционные характеристики и закономерности формирования алмазов Архангельской и Якутской алмазоносных провинций**

В настоящее время проблема уточнения генезиса природных алмазов заключается не только в поисках новых свидетельств их глубинного происхождения, но и в определении термодинамических условий их возможного генезиса. Экспериментально показано, что алмазная фаза может кристаллизоваться практически в любых насыщенных углеродом средах с соответствующими термодинамическими параметрами. Это подтверждено на сегодня и новыми данными по изучению природного алмаза и включений в нем, а также и экспериментальными работами в области синтеза алмаза.

Необходимо прежде всего определить закономерности кристаллизации и эволюции природного алмазного вещества в зависимости от типа породы. Ведь хорошо известно, что спектр химизма кимберлитовой породы достаточно большой: от магнезиальных, через железо-титанистые к титано-кальциевым составам. Три компонента в составе кимберлитовых и родственных им пород важнейшие: магнезиальность, титанистость/железистость и кальциевость.

При изучении огромного количества валовых химических анализов по кимберлитовым трубкам Якутии было выявлено по результатам кластерного анализа, что можно все химические анализы разделить четко на три группы. Было показано также, что химизм связан с петрологией пород и минералогией, в том числе и разнообразных оксидных минералов [43]. Далее уже стали появляться работы, в которых делалась попытка выявить связь алмазоносности с вещественным составом кимберлитовых пород [44].

По этой причине рассмотрим те новые результаты, которые касаются выделения петрохимических типов пород и их связи с алмазонасностью на примере месторождений алмаза ААП [45].

### **Петрохимические типы кимберлитов**

Алмазонасность кимберлитов коррелирует с их химическим составом. Вариации состава кимберлитов, а также их потенциальная алмазонасность обусловлены в первую очередь неоднородностью мантии и их источников, которые существовали в регионе. На сохранность алмаза и в конечном итоге на реальную алмазонасность оказывают влияние вторичные факторы, обуславливающие перераспределение химических компонентов кимберлитов, к которым относятся все процессы фракционирования кимберлитового расплава при его восхождении с мантийных глубин.

Современные исследователи (Богатиков, Кононова, Косторовицкий, Третьяченко [46], Гаранин [43] и др.) при выделении разновидностей кимберлитов отдают предпочтение индикаторной роли  $TiO_2$ , т.к. его низкое содержание отражает высокое давление формирования кимберлитов. Предложена общая петрологическая классификация, в основе которой лежит разделение кимберлитов на три петрогеохимических типа, условно названных низкотитанистыми ( $TiO_2 < 1.0$  мас.%, НТТ), умеренно-титанистыми ( $1.0 < TiO_2 < 2.5$  мас.%, УТТ) и высокотитанистыми ( $TiO_2 > 2,5$  мас.%, ВТТ). В эти выделенные типы нами добавлена краткая минералогическая характеристика, которая дает ясное представление об их принципиальных отличиях в петрологическом, геохимическом и минералогическом плане.

**Первая группа** тел с наибольшим алмазным потенциалом наиболее магнезиальна с низким содержанием титана в породе (обычно  $< 1$  мас.%  $TiO_2$ ): высокомагнезиальные (до 35 мас.% MgO) низкотитанистые. Среди ксенолитов преимущественно распространены перидотиты, практически отсутствуют ильменитовые разности мантийных пород, также представлены и магнезиальные, и магнезиально-железистые эклогиты, широко представлен парагенезис пироп–хромит, выход минералов тяжелой фракции низок при повышенной доли в ней хромита. Породы вообще характеризуются низким выходом минералов тяжелой фракции. В тяжелой фракции очень высок процент пироба и хромита алмазного парагенезиса, особенно последнего. Общее содержание микрокристаллических оксидов в кимберлитовых породах низкое, особенно в ураганно алмазонасных породах ( $< 1$  об.%). В высокоалмазонасных телах наиболее распространены Ti-хромиты (до 95%) с высоким содержанием хрома (50–55 мас.%  $Cr_2O_3$ ) и низким титана (менее 2–3 мас.%  $TiO_2$ ), в небольшом количестве встречаются железистый и марганцовистый ильменит (от 0–10 до 40–60%).

Кристаллы алмаза из кимберлитов низкотитанистого типа (НТТ, менее 1 мас.%  $\text{TiO}_2$ ) из месторождения им. М.В. Ломоносова (ААП) и трубок Ботубинская, Нюрбинская, Интернациональная (ЯАП) характеризуются широким диапазоном концентраций азота ( $50 < N_{\text{tot}} < 3000 \text{ at.ppm}$ ) с низкой степенью агрегации (в среднем  $NB \leq 30\%$ ), отмечены низкие коэффициенты поглощения плейтелетс ( $2 < P < 5 \text{ см}^{-1}$ ) при сдвиге положения максимума полосы поглощения в коротковолновую область ИК-спектра ( $1364\text{--}1370 \text{ см}^{-1}$ ), что свидетельствует об относительно пониженных температурах формирования кристаллов алмаза [47], непродолжительности высокотемпературного посткристаллизационного отжига, при котором возможна трансформация дефектов. Характерны высокие концентрации примеси водорода ( $3107 \text{ см}^{-1}$ ), отмечается наличие карбонатов ( $1340 \text{ см}^{-1}$ ). Содержание примеси водорода в кристаллах связано с механизмом их роста. В кристаллах алмаза, сформировавшихся по тангенциальному механизму, водородные центры присутствуют в незначительных количествах, что типично для алмазов месторождений Якутии. Алмазы с волокнистым и зонально-секториальным внутренним строением распространены в месторождении им. М.В. Ломоносова и отличаются максимально высокими концентрациями водорода. Эти особенности строения проявляются в вариациях интенсивности желтой и серой окрасок, зонально-секториальном строении с нормальным и тангенциальным механизмами роста [48].

**Вторая группа кимберлитовых тел**, наиболее распространенная, с умеренным содержанием титана (1–3 мас.%  $\text{TiO}_2$ ) и умеренной магнезиальностью (до 25–27 мас.%  $\text{MgO}$ ): магнезиальные умереннотитанистые. Среди ксенолитов широко распространены ильменитовые гипербазиты, широко представлен парагенезис пироп–альмандин–пикроильменит, высокий выход минералов тяжелой фракции, в которой ильменит наиболее распространен. Общее содержание микрокристаллических оксидов в кимберлитовой матрице повышено (до 5–20 об.%). Наиболее близкое соотношение микрокристаллических выделений этих минералов (шпинели 35–55%, ильменит 35–50%) характерно для матрицы высокоалмазоносных кимберлитов с низким содержанием перовскита (< 10–15%) и рутила (< 15%). В матрице менее алмазоносных кимберлитов содержание перовскита повышено (от 20–30 до 80–85%), распространенность ильменитовых фаз заметно ниже (ильменит от 5–10 до 30%), шпинели от 10–15 до 50–70%). Для связующей массы высоко-, и среднеалмазоносных кимберлитов типоморфны высокохромистые пикрохромиты, содержащие 43.1–52.6 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 3.7–7 мас.%  $\text{TiO}_2$ , 7.7–13.6 мас.%  $\text{MgO}$ , 1.5–10.1 мас.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0–1.3 мас.%  $\text{MnO}$ , 4–17 мас.%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Алмазы из кимберлитов умеренно-титанистого типа (УТТ, 1–1.5 мас.%  $\text{TiO}_2$ ) (трубки Удачная, Комсомольская, Юбилейная, Мир, ЯАП, и трубка им. В. Гриба, ААП) образовались



преимущественно при послойном росте. Послойный рост кристаллов происходит при более высоких температурах. Для них типичны пониженные концентрации азота ( $N_{tot} < 500$  at.ppm.), бесцветные или с незначительным желтым нацветом октаэдрические кристаллы. Алмазы претерпели длительный посткристаллизационный отжиг: большая доля азота находится в агрегированной В-форме ( $50 < NB < 95\%$ ). Модельный возраст обогащения кимберлитов УТТ алмазосодержащими породами под трубками Далдыно-Алакитского района составляет 600–700 млн лет.

Высокий коэффициент поглощения плейтелетс ( $0-44$ , в среднем  $8-10$   $\text{cm}^{-1}$ ) и расположение его максимума в ИК-спектре ( $\sim 1364$   $\text{cm}^{-1}$ ) в алмазах Далдыно-Алакитского района являются показателями роста алмаза в наиболее высокотемпературных условиях [Криулина и др., 2013]. Такой вывод подтвержден изучением химического состава хромитов (увеличение содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 66 мас.%) во включениях в алмазах (по данным Н.В. Соболева). Алмазы характеризуются низкой концентрацией примеси водорода ( $3107$   $\text{cm}^{-1}$ ) и наличием гидроксильной группы (широкий пик  $\sim 3440$   $\text{cm}^{-1}$ ).

Алмазы преимущественно представлены октаэдрами. К этой группе тел относятся известные месторождения Мир, Удачная, им. В. Гриба и др. Их алмазный потенциал несколько ниже по сравнению с алмазными телами первой группы, но весьма значительный. К ним примыкают и тела кимберлитов Кепинского поля ААП с низкой алмазоносностью и высоким выходом пикроильменита, а также подобные тела из ЯАП, например, Дальняя, Моркока и др.

**Третья группа** тел расположена в пределах северной части ЯАП (Нижне-Оленекский и Куонапский районы). Для них характерно заметное отклонение по петрохимическому составу от типичных кимберлитов ЯАП: высокие содержания титана ( $> 2$  мас.%  $\text{TiO}_2$ ) и тяжелых редких земель (HREEEr–Lu 1.7–6.6 ppm). В большом количестве распространен пикроильменит. Также отмечено высокое содержание микрокристаллических оксидных минералов (до 20 об.% в дайке Монтичеллитовая), которые представлены исключительно шпинелями и перовскитом примерно в равных количествах. Характерная черта ансамбля микрокристаллических шпинелей из связующей массы названных пород – резкое преобладание ульвошпинелей и титаномагнетитов широкого спектра составов. Хромшпинели либо отсутствуют вовсе, либо встречаются в резко подчиненном количестве. Среди хромшпинелей практически отсутствуют высокохромистые разновидности с низким содержанием титана (более 40–42 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $< 6$  мас.%  $\text{TiO}_2$ ), характерные для матрицы алмазоносных кимберлитов. Алмазоносность крайне низкая, в большинстве своем трубки неалмазоносные, в отдельных трубках отмечены рудные столбы с низким содержанием

алмаза, достаточно сильно корродированного [43]. Подобной группы тел в ААП пока не зафиксировано.

**В каждой из этих групп тел** по мере увеличения длительности подъема кимберлитовой колонны активно происходит растворение алмаза и образование округлых кристаллов, алмазный потенциал падает, в связующей массе пород начинают кристаллизоваться твердые растворы хромит–ульвошпинель–магнетит в широком диапазоне составов. В большом масштабе в матрице кимберлитовых пород с низкой алмазоносностью кристаллизуется перовскит.

Сравнительный анализ характеристик алмаза и вмещающих их кимберлитовых пород из месторождений Архангельской АО и Якутской алмазоносной провинции, который был выполнен нами и другими исследователями вещества ранее, позволил установить взаимосвязь между типоморфными группами алмаза и определенным петрохимическим типом кимберлитовых пород. Наиболее близкими параметрами обладают алмазы из одного поля и одного петрохимического типа кимберлитовых пород [47, 44]. В целом наблюдается закономерное снижение возраста обогащения кимберлитов с увеличением содержания оксида титана в них и уменьшением алмазоносности этих кимберлитовых пород. Кроме того, увеличивается содержание алмазов с высокой степенью агрегации азота в В-форме и концентрацией плеителетс. Иными словами, существует определенная взаимосвязь между свойствами и качеством алмаза и вмещающими кимберлитовыми породами.

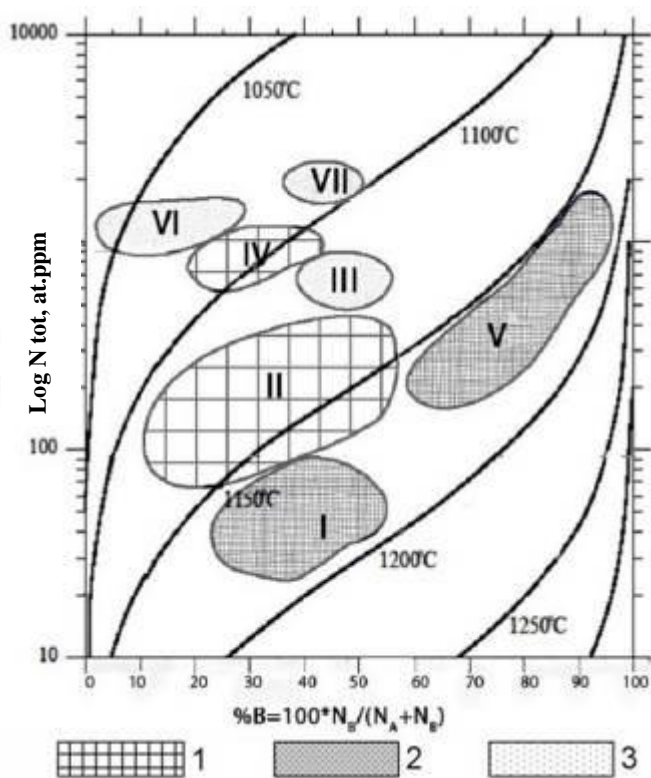
При оценке запасов важно учитывать не только количество (млн карат), содержание (карат на тонну руды), но и качество алмазного сырья, что позволит более точно определять стоимостные характеристики добываемого сырья.

### **Морфогенетические группы алмаза из месторождений Архангельской и Якутской алмазоносных провинций**

На основе огромного фактического материала по изучению распределений примеси азота в алмазах с включениями различного парагенезиса, в том числе из мантийных ксенолитов, появилась возможность идентифицировать кристаллы, сформировавшиеся в мантийном субстрате определенного состава. Концентрация примеси азота в алмазах ультраосновного типа обычно не превышает 500 at.ppm с модой 100–200 at.ppm. Алмазы эклогитового парагенезиса характеризуются более размытым бимодальным распределением азота (от 0 до 1500 at.ppm), с максимумами 0–100 at.ppm и 300–600 at.ppm. Нами проведен анализ содержания дефектно-примесных центров в алмазах из кимберлитов НТТ и УТТ [44 и др.].

Для кимберлитовых месторождений алмаза России выделены семь морфогенетических групп алмаза, отличающихся физико-химическими, термобарическими условиями и длительностью формирования [44, 48 и др.]. Выделение групп установлено эмпирически и подтверждено кластерным анализом с учетом минералогических особенностей алмаза в соответствии с петрохимическими типами кимберлитов. Это проиллюстрировано на диаграмме соотношения концентрации суммарного азота и доли азота, агрегированного в В-форму (рис. 2.3.1). Выявленные закономерности определяют алмазоносность кимберлитовых тел, помогают косвенно оценить качество алмазного сырья.

В кимберлитах НТТ безазотные алмазы редки, их количество не превышает 3% как в трубках ААП, так и в Якутии. В кимберлитах УТТ количество безазотных кристаллов немного выше (до 8%).



Расчетный возраст алмаза – 3 млрд лет. Нанесены морфогенетические группы алмаза ААП и ЯАП:  
 I – безазотные,  
 II – низкоазотные,  
 III – умеренноазотные,  
 IV – среднеазотные низкоагрегированные,  
 V – среднеазотные высокоагрегированные,  
 VI – высокоазотные низкоагрегированные,  
 VII – высокоазотные умеренноагрегированные.

Рисунок 2.3.1 – Концентрации азота для кристаллов алмаза типа IaAB ЯАП и ААП, с использованием данных [44].

Выделены группы алмаза: 1 – характерные для НТТ и УТТ, 2 – типичные для УТТ, 3 – типичные для НТТ

Кристаллы II, IV групп распространены в кимберлитах двух типов. Для трубок Удачная, Комсомольская, им. Гриба главной является II группа алмаза (IV второстепенная), а для трубок Архангельская, Снегурочка, Ботубинская, Интернациональная, Мир основной является IV, а второстепенной II.

**I группа алмаза** условно определена нами как «безазотная», в нее выделены кристаллы с суммарным содержанием азота не более 100 at.ppm ( $20 \leq \%N_B \leq 55$ ,  $P \leq 4 \text{ см}^{-1}$  и

$N \leq 1 \text{ см}^{-1}$ ). Такие алмазы наиболее характерны для плоскогранных алмазов ультраосновного парагенезиса трубок Удачная, Юбилейная, распространены в трубке Мир и им. Гриба (рис. 2.3.2). Посткристаллизационный отжиг данной группы кристаллов происходил в диапазоне 1150–1200 °С. Преимущественно это бесцветные или со слабым оттенком октаэдрические кристаллы. Алмаз этой группы не характерен для месторождения им. М.В. Ломоносова и других трубок НТТ.

**Кристаллы алмаза II группы** (низкоазотные), представляющей ультраосновной парагенезис, типичны для всех кимберлитов мира, объединяют кристаллы с высокими качественными показателями (геммологическими) октаэдрического, додекаэдрического и комбинационного габитуса. Для них типичны низкие содержания азота ( $N_{\text{tot}} < 500 \text{ at.ppm}$ ) широкий диапазон степени агрегации в В-форму ( $\%N_{\text{В}} \sim 13\text{--}58$ ), средние значения для водорода и плейтелетс  $H < 3 \text{ см}^{-1}$ ,  $P < 5 \text{ см}^{-1}$ . Такие алмазы распространены в кимберлитах НТТ и УТТ. Значительно их содержание в трубке Архангельская; встречаются в трубках Снегурочка (где они содержат чуть больше водорода ( $H 2.5$ ) по сравнению с  $0.4\text{--}0.7 \text{ см}^{-1}$  для других изученных трубок) и Ботуобинская (для которой, как и для всех трубок Якутии, характерно отсутствие или минимальное содержание водорода). Группа является главной в кимберлитовых трубках УТТ (им. Гриба, Комсомольская, Юбилейная, Удачная). По литературным данным, в перечисленных трубках преобладают кристаллы алмаза с включениями минералов ультраосновного парагенезиса, но имеются и кристаллы с эклогитовым парагенезисом включений. Отметим оптимальное соотношение дефектов, благодаря которому кристаллы из трубок Удачная, Юбилейная, Комсомольская отличаются повышенными прочностными свойствами.

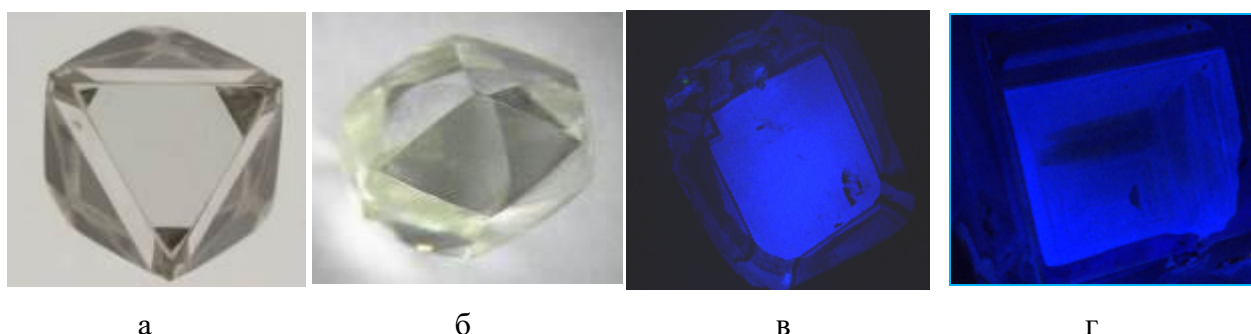


Рисунок 2.3.2 – Кристаллы I группы из трубок Мир (а, в), им. Гриба (б, г). Морфология кристаллов: а – октаэдр, б – додекаэдр; внутреннее строение: в – однородное, г – прямолинейная октаэдрическая зональность

**III группа** (умеренноазотные алмазы) немногочисленна и установлена только среди бесцветных и с серым оттенком кристаллов комбинационного и додекаэдрического габитуса из трубок Архангельская и Снегурочка. Аналогичные индивиды отмечаются в трубках

Кольцовская и Первомайская Золотицкого поля. Среди кристаллов алмаза из месторождений ЯАП данная группа не установлена.

**Кристаллы IV группы** (среднеазотные низкоагрегированные) характеризуются повышенным содержанием азота:  $400 < N_{tot} < 1500 \text{ at.ppm}$ ,  $10 < \%N_v < 40$  (в среднем 23–25%) и низкими содержаниями водорода ( $H \sim 0.5 \text{ cm}^{-1}$ ) и плейтелетс ( $P \sim 3.5 \text{ cm}^{-1}$ ). Эта группа алмазов доминирует в трубках, сложенных кимберлитами НТТ (Архангельская, Интернациональная, Ботуобинская), и встречается в трубках УТТ (им. Гриба, Мир и частично Комсомольская). Кристаллы характеризуются высокой степенью закалки, сохранением октаэдрического габитуса часто с полицентрическим характером роста и отсутствием следов травления (рис. 2.3.3). Исходя из полученных данных (рис. 2.3.1) можно предположить, что отжиг алмазов высокоалмазоносных тел был непродолжительным в малом интервале температур, от 1050 до 1100 °С. По данным [Гаранин и др., 2009], магматические алмазоносные очаги трубок Ботуобинская, Интернациональная и Мир самые глубинные и подъем кимберлитовой магмы был наиболее стремительным; эти условия, возможно, способствовали сохранению октаэдрического облика и малой степени агрегации дефектов. Тангенциальный механизм роста, послойно-зональное внутреннее строение и минимум водорода свидетельствуют о росте алмазов в спокойных условиях.

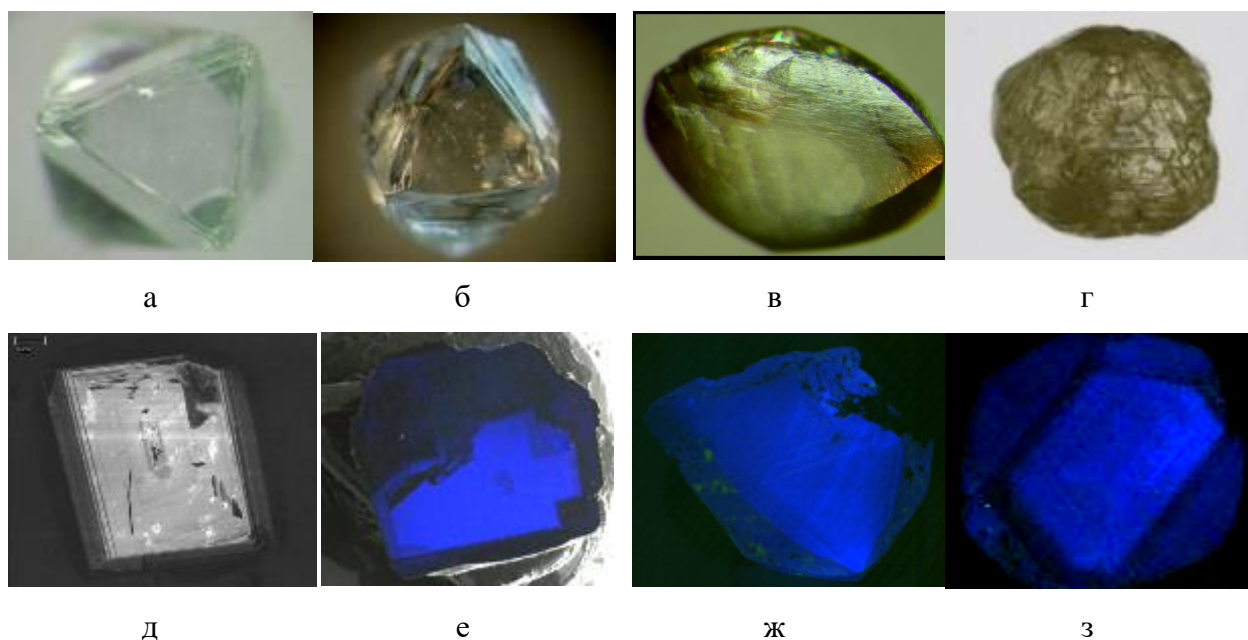


Рисунок 2.3.3 – Кристаллы IV группы. Морфология кристаллов (а–г) и их внутреннее строение (д–з): а, д – октаэдр с прямолинейной октаэдрической зональностью (тр. им. Гриба); б, е – кристалл комбинационной формы с гранями октаэдра и поверхностями додекаэдроида с прямолинейной ступенчатой зональностью (тр. Архангельская); в, ж – додекаэдр со следами пластической деформации и сложным внутренним строением (тр. им. Карпинского-1); г, з – кристалл IV разновидности комбинационной формы со сменой механизмов роста с тангенциального на нормальный



Рисунок 2.3.4 – Кристаллы V группы из трубок Комсомольская (а), Юбилейная (б, в), Удачная (г)

В нижних границах этой группы расположены алмазы со следами пластической деформации. Связующим звеном при переходе от среднеазотных к высокоазотным кристаллам (на диаграмме, рис. 2.3.1, верхняя область IV группы) являются алмазы IV разновидности: прозрачные и просвечивающие октаэдры и комбинационные формы кристаллов доминируют в трубке Ботуобинская, кубы и додекаэдрониды непрозрачные в трубке Архангельская.

**V группа кристаллов алмаза** (среднеазотная высокоагрегированная) характерна только для многофазных трубок со сложной эволюцией, сложенных УТТ кимберлитом: Удачная, Юбилейная, Комсомольская. В этих трубках присутствуют алмазы с различным содержанием азота в форме А- и В-центров при высокой доле В-центров ( $200 < N_{tot} < 1500$  at.ppm,  $60 < \%N_B < 90$  (в среднем 65%), с высокими для ЯАП содержаниями водорода ( $N_{ср.знач.} 2.5 \text{ см}^{-1}$ ) и плейтелетс ( $P \sim 18 \text{ см}^{-1}$ ).

Преимущественно однородное внутреннее строение алмаза из трубок Удачная и Комсомольская (рис. 2.3.4) говорит о его росте в достаточно спокойных (равновесных) условиях, длительном высокотемпературном (1150–1200 °С) посткристаллизационном отжиге, определившем трансформацию значительной доли азота в В-форму.

Для алмазов этой группы отмечается большее распространение кривогранных форм, акцессориев локального растворения, что косвенно свидетельствует о постепенном подъеме кимберлитовой магмы при формировании трубки.

Во всех трубках Золотицкого поля доминируют **алмазы VI группы** (высокоазотные низкоагрегированные) (рис. 2.3.5). Эмпирически установлено, что эти кристаллы относятся к эклогитовому парагенезису. Снижение температуры (высокий температурный градиент) и сохранение высокопересыщенных углеводородами условий при алмазообразовании в трубках месторождения им. М.В. Ломоносова способствовали формированию кубических кристаллов с нормальным и смешанным механизмами роста. В трубках Архангельская и им. Карпинского-1 кристаллы с данными характеристиками имеют кубический или тетрагексаэдрический габитус. Скорость роста таких кристаллов максимальна, при этом

высок и захват примесей: высокие концентрации азотных дефектов ( $N_{tot}$  800–1500 at.ppm) и водорода ( $H > 1 \text{ см}^{-1}$ ) при отсутствии или низком содержании В (%N<sub>В</sub> от 0 до 30%) и плейтелетс ( $P < 5 \text{ см}^{-1}$ ). Важно подчеркнуть, что кристаллы данной группы весьма высокоазотные и не характерны для других кимберлитовых трубок мира. Посткристаллизационный отжиг кристаллов данной группы был весьма кратковременный и при пониженных температурах  $\sim 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Специфические кристаллы (рис. 2.3.6) из трубок Архангельская и Снегурочка додекаэдрического (реже октаэдрического) габитуса с серой окраской выделены в **VII группу** (высокоазотные умеренноагрегированные), они не имеют аналогов среди алмазов из других трубок. Большое количество включений, примесей и дефектов обусловлено структурой данных кристаллов: самые высокие содержания азота, водорода и плейтелетс ( $N_{tot} > 1000 \text{ at.ppm}$ , до 3000 at. ppm; %N<sub>В</sub> 25–65,  $P$  12–32 $\text{см}^{-1}$ ,  $0.6 < H < 22 \text{ см}^{-1}$ ).

Наблюдается закономерность: с увеличением содержания и размера плейтелетс уменьшается содержание примеси водорода. Визуально эти алмазы можно отнести к V разновидности по классификации Ю.Л. Орлова, но при изучении внутреннего строения среди макроскопически однотипных индивидов выявлены зонально-секториальные и

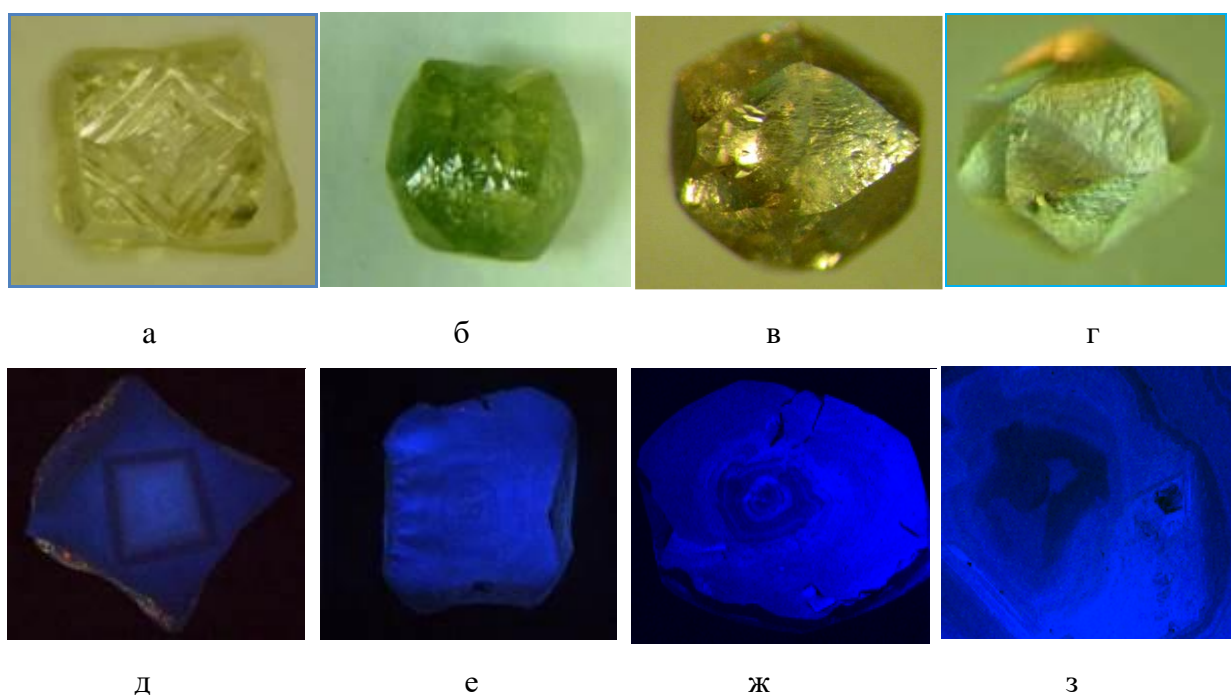


Рисунок 2.3.5 – Кристаллы VI группы. Морфология кристаллов (а–г) и их внутренне строение (д–з): а, д – куб с седловидными гранями с октаэдрическим зародышем, со сменой тангенциального механизма роста на нормальный (тр. Архангельская); б – кристалл комбинационной формы с гранями куба и тетрагексаэдроид (тр. Архангельская); в – додекаэдроид с каплевидной скульптурой (им. Карпинского-1), г – тетрагексаэдроид (им. Карпинского-1); е–з – сложное зональное строение с многократной сменой тангенциального и нормального механизмов роста.

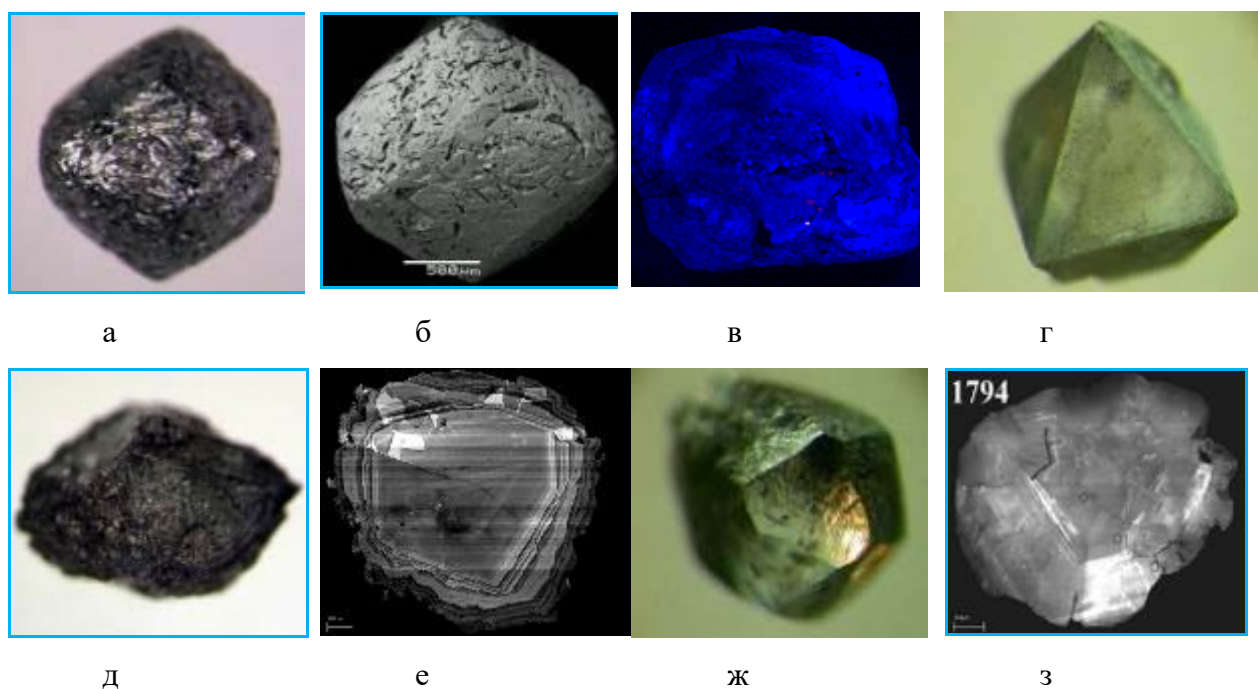


Рисунок 2.3.6 – Кристаллы VII группы: а–в – додекаэдр (а) с поверхностью, покрытой каналами травления и мелкими фигурами травления (б), смешанный и нормальный механизмы роста образуют зонально-секториальное строение (в); г – октаэдр с «графитизированной» поверхностью; д, е – комбинационный кристалл с гранями октаэдра и псевдоромбододекаэдра с «графитизированной» поверхностью, послышной зональностью в центральной зоне и со сменой послышного строения на волокнистое (?) на периферии алмаза; ж, з – додекаэдр с дефектной приповерхностной зоной и сложным зонально-секториальным строением

послойно-зональные кристаллы с различным изотопным составом углерода ( $\delta^{13}\text{C}$  от –10 до –25‰). Рост индивидов данной группы, возможно, связан не только с максимальными пересыщениями в алмазообразующей среде, но и с динамическими процессами, сопровождающимися резким возрастанием РТ-параметров, способствовавших, с одной стороны, частичной графитизации поверхности кристаллов, с другой – возникновению планарных дефектов, микроблочности и сильной трещиноватости.

#### 2.4 Новые данные по минералогии Восточного Памира, Алайского хребта (Таджикистан) и Туркестанского хребта (Киргизия)

Продолжались работы по Желисуйскому, Ходжаачканскому, Матчинскому массивам (Киргизия), *Дарай-Пиёзскому щелочному массиву* (Таджикистан) с *уникальной цезиевой минерализацией*. В результате этих работ обнаружены два Cs-минерала из ассоциации минерала ридмержнерита. Кроме того, в этом году изучены и утверждены в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA два **новых минеральных вида**: фторапофиллит-(Cs) и крейтерит, также цезиевые (описаны в разделе 1) [17].



### 2.4.1 Новые данные по минералогии редкометалльных гранитных пегматитов

Продолжены исследования минералогии *миароловых пегматитов Восточного Памира* (Горно-Бадахшанская АО Республики Таджикистан). Проведено доизучение **бадахшанита-(Y)**  $Y_2Mn_4Al(Si_2B_7BeO_{24})$ , открытого в 2018 году в пегматите Дорожный (Кукуртское пегматитовое поле) с редкометальной, в том числе скандиевой минерализацией. Обнаружена и изучена зональность минерала, связанная с содержаниями Mn, Fe, Sc, Y, Yb, Eb (рис. 2.4.1).

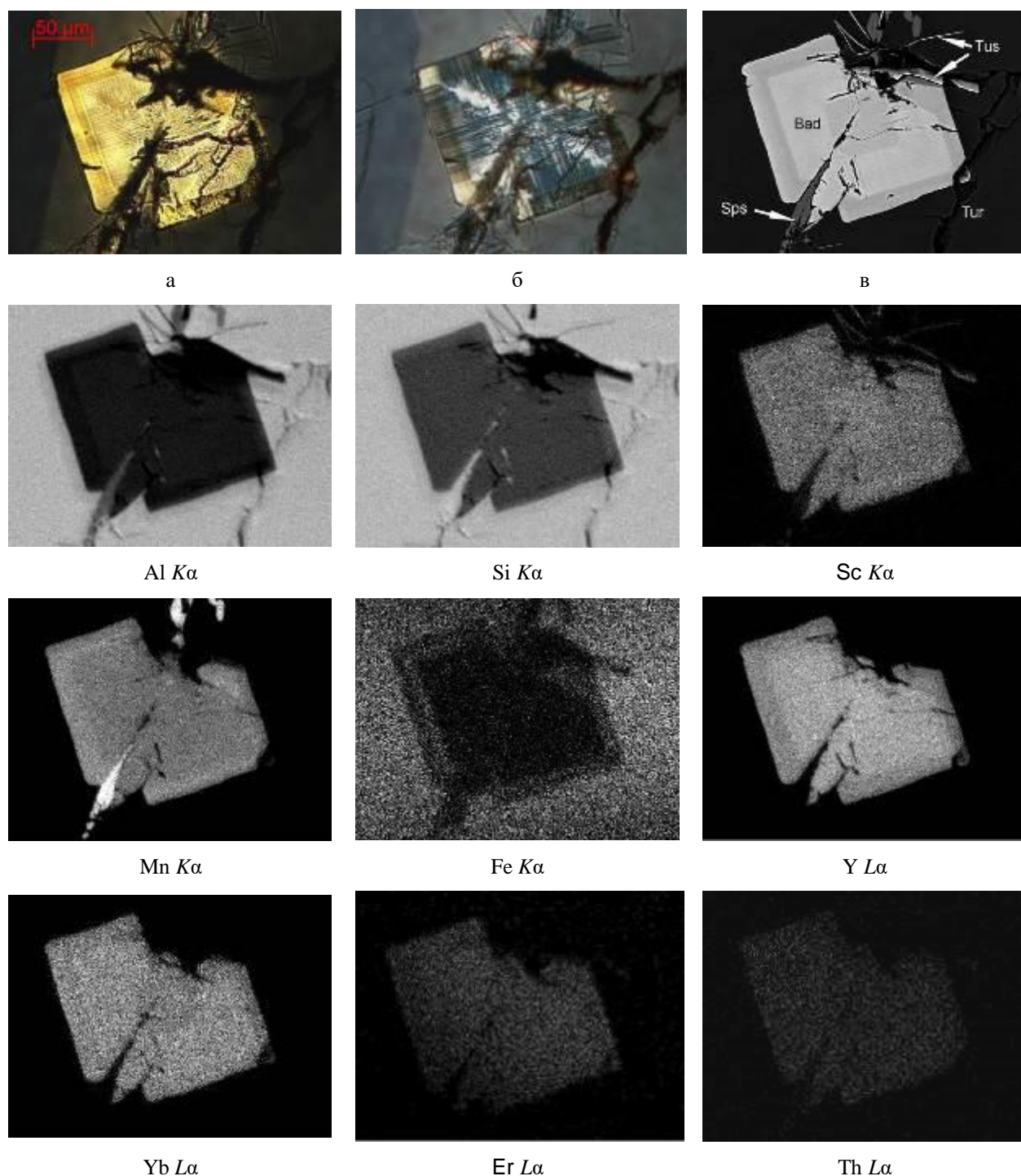


Рисунок 2.4.1.1 – Сечение кристалла бадахшанита-(Y), изображение в проходящем свете при одном николе (а), в скрещенных николях (б), в режиме BSE (в) и характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов. Bad – бадахшанит-(Y), Tur – турмалин, Sps – спессартин, Tus – тусионит

Продолжено изучение минералогии *олово-бериллиевых пегматитов Карасу-Каравшинского месторождения* (Туркестанский хр., Киргизия).

Проведена серия экспериментов по избирательному растворению **акоповаита**  $\text{Li}_2\text{Al}_4(\text{OH})_{12}(\text{CO}_3)(\text{H}_2\text{O})_3$ , открытого нами в 2018 году из Li-пегматитов месторождения. Это позволило найти оптимальную концентрацию  $\text{HNO}_3$  с целью отделения от минерала примесей  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и, следовательно, уточнения состава чистой фазы. Выполнено дополнительное изучение ассоциации, в которой встречен минерал (рис. 2.4.1.2, 2.4.1.3).

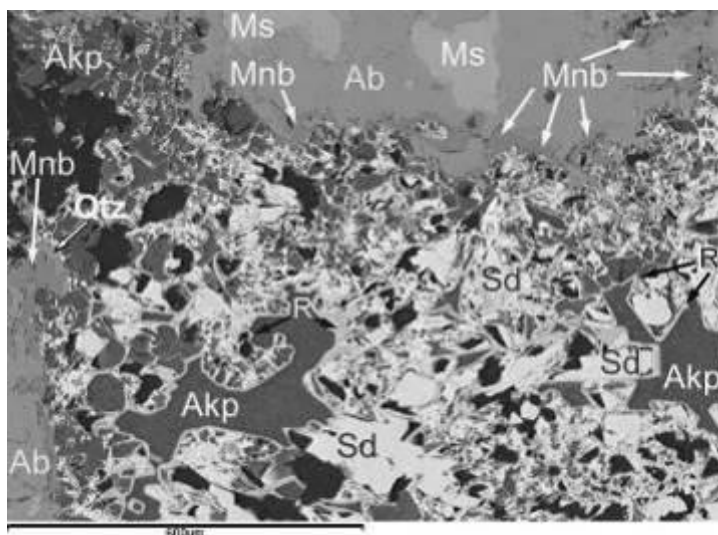
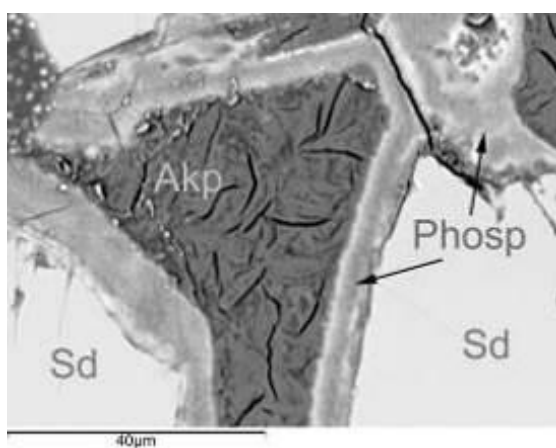
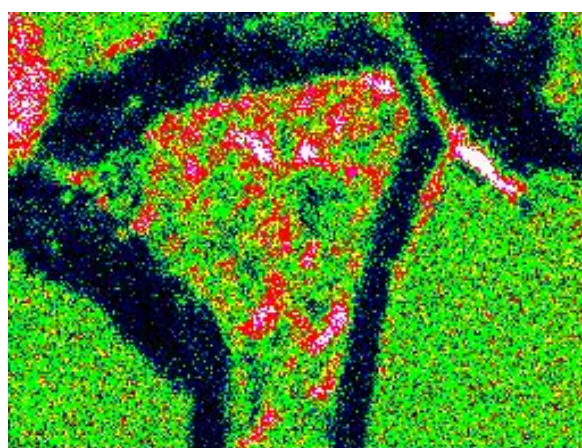


Рисунок 2.4.1.2 – Фрагмент участка выщелачивания, предположительно, Fe-Mn-фосфатов в мусковит (Ms)-альбитовом (Ab) агрегате, заполненный высокомарганцевым сидеритом (Sd) и акоповаитом (Akp). Участки с акоповаитом окружены по контуру каймой (rim, R) многофазного строения, сложенной Fe-Mn-оксидами (гидроксидами), Fe-Al-фосфатом, монтебразитом. Сам участок окаймлен узкой зоной монтебразита (Mnb); Qtz – кварц. Изображение в режиме BSE, прибор CamScan-4D



BSE



C Ka1\_2

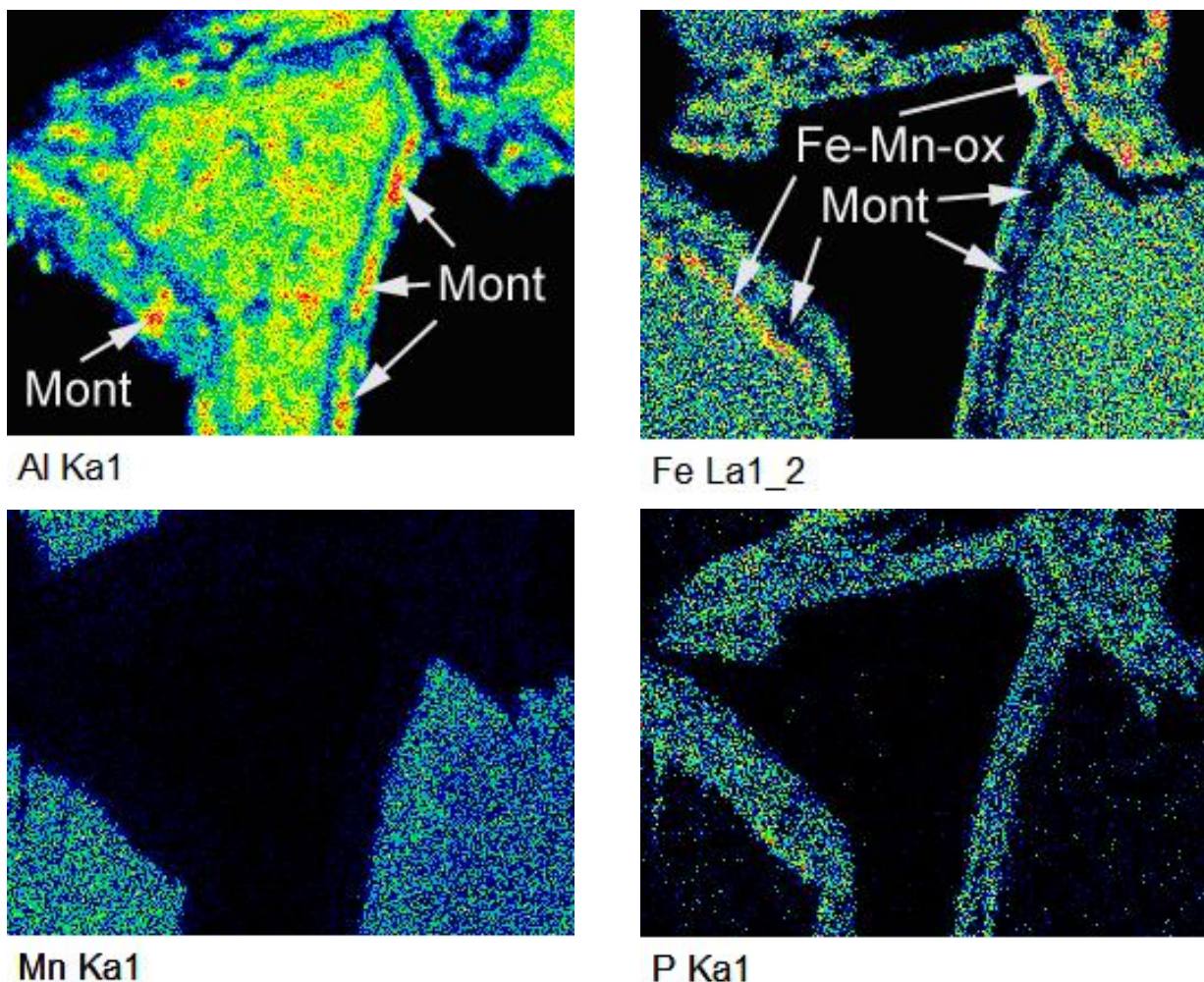


Рисунок 2.4.1.3 – Детализация строения участка, сложенного агрегатами акоповаита, в режиме BSE и в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов. Акр – акоповаит, Sd – сидерит, Phosp – Al-Fe-фосфаты, Mont – монтебразит, Fe-Mn-ox – Fe-Mn-оксиды (гидроксиды). Черный участок в режиме BSE и красный на карте распределения в излучении SKα – эпоксидный клей

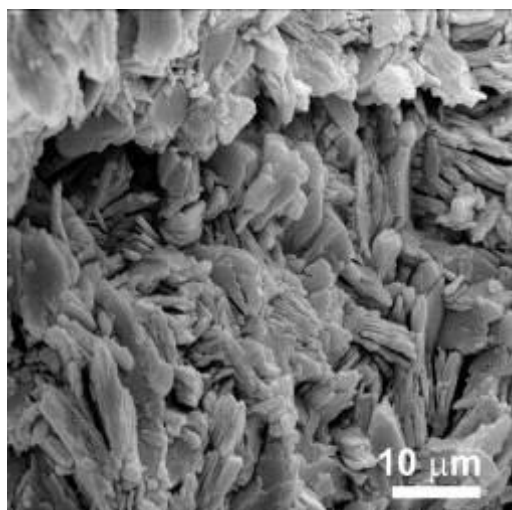
При изучении образцов из редкометальных пегматитов Пакистана (Пешавар) открыт и исследован **новый редкоземельный бериллосиликат хинганит-(Nd)** (описан в разделе 1), минерал из супергруппы гадолинита.

#### 2.4.2 Новые данные по минералогии зоны окисления урановых месторождений

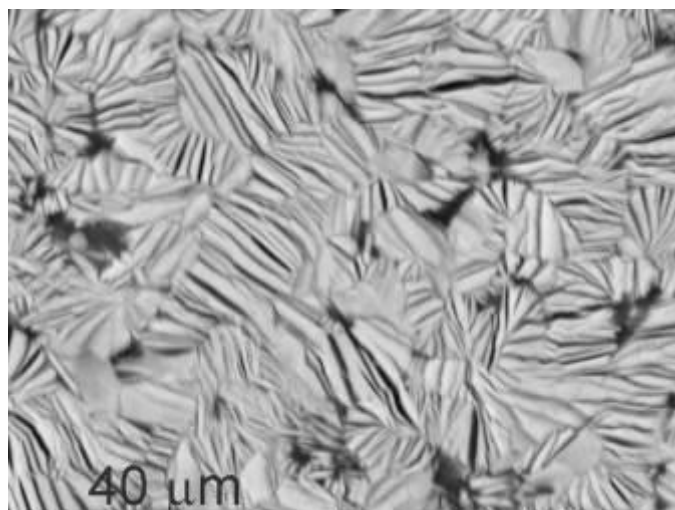
Описана находка кокониноита  $\text{Fe}_2\text{Al}_2(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ , сделанная в 2018 году на **урановом проявлении Зор-Ярчи-Чак** (правый берег р. Ак-Байтал-Южный, В. Памир, Таджикистан) в зоне окисления урансодержащих метасоматитов – продуктов кислотного и субщелочного метасоматоза [49].

Встречен в существенно кварцевой породе в виде плотных глиноподобных масс желтоватого цвета. Пластинчатые индивиды размером 5–10 мкм (рис. 2.4.2.1),  $n_{\text{сред}} = 1.589\text{--}1.590$  (на разрезах, близких перпендикулярно к оптической оси). Состав, вес.% (м.з., среднее

по 24 анализам; H<sub>2</sub>O – CNH-анализ, среднее по 2 анализам): Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6.86 (5.44–7.70), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10.99 (9.77–12.91), UO<sub>3</sub> 37.38, CaO 0.87, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 18.27, SO<sub>3</sub> 4.22, H<sub>2</sub>O<sub>общ</sub> 22.1, сумма 102.17. Завышение суммы связано с присутствием H<sub>2</sub>O<sub>абсорбц.</sub> 16.1 вес.%. Параметры ячейки, Å:  $a = 12.45(1)$ ,  $b = 12.87(1)$ ,  $c = 22.75(1)$ ,  $\beta = 105.66(4)$ . Вариации Al и Fe в кокониноите (рис. 2.4.5, а также обнаружение высокоалюминиевого кокониноита в Ц. Кызылкумах [50] позволяют предположить существование природного ряда минералов с крайними Al- и Fe-доминантными членами.



а



б

Рисунок 2.4.2.1 – а – тонкокристаллический агрегат кокониноита на изломе, режим SEI; б – полированный препарат коконинита, режим BSE

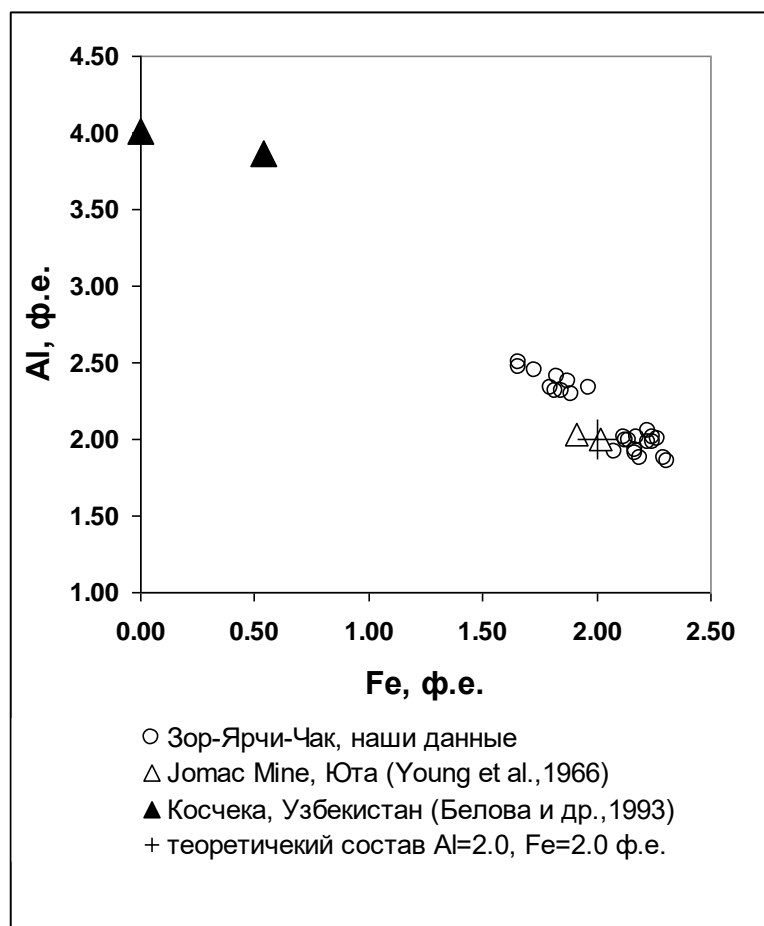


Рисунок 2.4.2.2 – График корреляционной зависимости Al/Fe в корундоиде (расчет формулы на 25 катионов) по [49], [51] и [50]

Настоящее исследование представляется, интересным с точки зрения не только расширения информации по топоминералогии Памира, но и получения новых аналитических данных для этого минерала. Не исключено, что под названием «корундоид» кроется два минерала – Al- и Fe- доминантные члены. [49].

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

В отчетном году значительно продвинулась работа по изучению редкоземельной минерализации Мочалина Лога (Потанины горы, южная часть Вишневогорского массива). Данное проявление возникло в результате фенитизации, связанной с гранитными пегматитами, локализованными среди гранито-гнейсов в экзоконтакте щелочной интрузии Потаниных гор Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса. Мочалин Лог известен более всего своей уникальной редкоземельной минерализацией, и первая работа, посвященная ей, была опубликована уже в 1861 году [52]. Однако, несмотря на почтенную историю исследования месторождения, минералы Мочалина Лога все еще нельзя считать достаточно хорошо изученными. Это связано с тем, что представленные полиминеральными

гальками редкоземельные минералы очень часто образуют тонкие сростания и во многих случаях характеризуются значительной внутрифазовой неоднородностью, в частности, широкими вариациями соотношений лантаноидов. Поскольку большинство минералогических исследований Мочалина Лога проводилось в 1927–1930 гг. [53] и в середине 50-х – начале 60-х гг. [54], аналитические возможности не позволяли детально изучить богатую минерализацию. Современные работы, несомненно, расширили наши представления по редкоземельной минерализации Мочалина Лога [55 и другие], но пока они малочисленны и не дают полной картины по геохимии и минералогии данного объекта.

За этот год на месторождении Мочалин Лог были изучены и утверждены в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA **три новых минеральных вида**: перклевеит-(La), радекшкодаит-(Ce), алекскузнецовит-(La), – описанные в первом разделе. Тем самым число открытых на проявлении с участием авторов отчета новых минералов увеличилось до шести, причем пять из них пополнили список минералов редкой лантановой минерализации.

По материалам изучения *уникальной таллиевой минерализации Воронцовского золоторудного месторождения (Сев. Урал)* опубликована статья о гладковскиите, открытой нами в 2018 году новой таллиевой сульфосоли [17].

## **2.6 Новые данные по минералогии Дашкесанского скарнового месторождения (Азербайджан)**

Изучен титансодержащий гранат с северо-восточного участка знаменитого своей минералогией Дашкесанского скарнового железорудного месторождения (Закавказье, Азербайджан). Со скарнами связаны крупнейшие месторождения железа, вольфрама, свинца, цинка и других полезных ископаемых, их изучение имеет большую значимость.

«Прямое» датирование скарнов представляет собой сложную задачу в связи с отсутствием надежных первичных минералов-геохронометров. Геохронологические исследования были сфокусированы главным образом на датировании рудных минералов скарнов: молибденита, сфена, вольфрамита, пирротина, ретроградных минералов (флогопит, мусковит), редких аксессуарных минералов – ортита и везувиана, а также минералов гидротермального генезиса – циркона и бадделеита. Следует отметить, что сульфидная минерализация, в отличие от магнетитовой, чаще всего относится к наложенному типу, а значит, процессы оруденения оторваны во времени от процессов скарнообразования. Однако наряду с пироксеном гранат ряда грассуляр–андрадит является первичным породообразующим минералом рудных скарнов.

Результаты проведенных в последние годы исследований [56–58] свидетельствуют, что кальциевые гранаты могут выступать в качестве надежных **U–Pb-минералов-геохронометров** для определения возраста магматических и гидротермально-метасоматических пород. В изученных гранатах помимо основных компонентов – андрадита (60–86%) и грюссюляра (10–36%) – наблюдается присутствие в незначительных количествах спессартина (2–3%), моримотоита (0.1–4.0%), шорломита-Al (0.1–3.4%) и альмандина (0.1–3.8%).

Изученный гранат характеризуется сравнительно высокими для гранатов воспроизводимыми содержаниями U (8–8,5 мкг/г), низким содержанием Pb (0.2–0.3 мкг/г) и низкой долей обыкновенного Pb ( $Pb\ c / Pb\ t = 0,01–0,17$ ). Точки изотопного состава граната располагаются на конкордии, величина конкордантного возраста составляет  $147 \pm 2$  млн лет, СКВО = 0.87, вероятность конкордантности 0.35. Среднее значение возраста ( $206\ Pb / 238\ U$ ), рассчитанное для трех проанализированных микронавесок граната, составляет  $147 \pm 3$  млн лет (СКВО = 4.5) и совпадает с их конкордантной оценкой возраста. Полученная **оценка U–Pb-возраста гранатов из скарнов Дашкесанского месторождения** ( $147 \pm 2$  млн лет) согласуется с позднеюрским возрастом полифазного Дашкесанского магматического комплекса [59] и свидетельствует о **формировании рудной ассоциации месторождения на рубеже юрского и мелового этапов** эндогенной активности региона [19].

## 2.7 Новые данные по жадеиту и циркону Большого Кавказа

В августе 2019 были проведены плановые полевые работы на Северном Кавказе, при поддержке ПАО «КАВКАЗГЕОЛСЪЕМКА» (г. Ессентуки). Основное внимание уделялось петрологическим, минералогическим и изотопно-геохронологическим исследованиям кристаллического фундамента Большого Кавказа. Были отобраны наиболее интересные и информативные образцы минералов и горных пород из бассейнов рек Малка, Зеленчук, Кубань, Худес, Теберда. Среди них гигантозернистые пластинчатые агрегаты *бастита* из серпентинитов Малкинского массива, слюдяные сланцы Бечасынской зоны кристалликума Кавказа из бассейна р. Кубань, гранат-кордиеритовые гнейсы с *ретроградным кианитом* из зон мигматизации долины р. София. Ретроградный кианит в глиноземистых гнейсах с первичным кордиеритом и силлиманитом является индикатором субизобарического остывания метаморфических комплексов на ретроградном этапе регионального метаморфизма. Собрана коллекция гигантских септарий из аптских глин Скалистого хребта в бассейне р. Подкумок. Некоторые конкреции содержат жеоды с кальцитом и остатками фауны мелового возраста. Часть образцов полевых сборов уже передана в коллекцию Минмузея РАН.

## 2.7.1 Исследование проявлений жадеита в Кавказском регионе

Проведены петрографические и микрозондовые исследования кавказского жадеита, сделаны прогнозные оценки по коренным источникам жадеитового сырья в Кавказском регионе. Крупнейшее в стране месторождение жадеита, Боруское, с которого, собственно, и известен этот камень поделочного и иногда ювелирного качества, находится на юге Красноярского края (Зап. Саян, Присяянье). Кавказский регион ввиду развития гипербазитовых массивов является **перспективным жадеитоносным**. На Северном Кавказе в 70-е годы были найдены жадеитовые аллювиальные россыпи. На Западном Кавказе находки жадеита известны в бассейнах рек Белая и Ходзь. Коренные выходы жадеита связаны с небольшими массивами ультрамафитов в истоках рек Киша и Ачешбок. В последней жиле жадеит зеленовато-серого цвета с редкими небольшими обособлениями яркой зелени и ограниченно пригодный, как низкосортный поделочный камень. Недавно жадеитовые породы были обнаружены в серпентинитах **Беденского массива**. Ультрамафиты Беденского массива вскрыты в долине р. Б. Лаба на площади около 9 км<sup>2</sup> (рис. 2.7.1.1). С севера массив ограничен выходами метагранитоидов Бескесского кристаллического выступа. Контакты серпентинитов с вмещающими кристаллическими породами тектонизированы. Желваки жадеита мощностью до 20 см встречаются в серпентинитовом меланже на южном обрамлении массива, в зоне контакта с девонскими метаморфитами Урупского комплекса Передового хребта. Образцы жадеита были отобраны и приполированы. Цветовая гамма от серовато- и синевато-зеленого практически до глубокого зеленовато-синего декоративна. Но трещиноватость затрудняет выбор подходящего для камнерезного использования фрагмента (рис. 2.7.1.2, 2.7.1.3). В составе жадеита фиксируется примесь Са, Fe и Mg. (рис. 2.7.1.4, 2.7.1.5).

В структуре кристаллического фундамента Большого Кавказа массивы ультрамафитов занимают особое место. Обычно они образуют вытянутые тела, протрузии, которые трассируют шовные зоны, ориентированные параллельно основным осевым структурам Главного хребта. Горячие контакты отсутствуют. По минеральному составу массивы гипербазитов на Северном Кавказе достаточно однородны, они сложены в основном альпинотипными серпентинитами с реликтами лерцолитов, гарцбургитов, дунитов и пироксенитов. По петрохимическим особенностям они близки к хромитоносному формационному типу гипербазитов Урала [60]. Но в составе крупных протрузий ультрабазитов в платформенной зоне кристаллического фундамента Кавказа, таких как Малкинский массив ультрабазитов, признаков высокобарной эклогитовой и жадеитовой минерализации не обнаружено.



В то же время много мелких протрузий ультрабазитов рассредоточено вдоль Пшекиш-Тырныузской шовной зоны. Они трассируют древнюю зону палеосубдукции в структуре Передового хребта. Там же сосредоточены и мелкие тела эклогитов в составе Блыбского и Лабарданского высокобарных метаморфических комплексов. Эклогиты часто пространственно связаны с телами серпентинитов, но не входят в них непосредственно, образуя тектонический меланж. Возраст высокобарного метаморфизма оценивается как ордовикский (380 Ма), возраста эксгумации эклогитов соответствует карбону [61]. Эклогиты содержат омфациит – натровый пироксен с большим содержанием жадеитовой молекулы, что является признаком высоких давлений. Находки жадеита на Западном Кавказе связаны с массивами серпентинитов, которые тектонически приурочены к оперяющим разломам Пшекиш-Тырныузской шовной зоны. Таким образом, **образование жадеита в серпентинитах генетически связано с зонами высокобарного метаморфизма.**



Рисунок 2.7.1.1 – Русло реки Большая Лаба в зоне южного контакта Беденского массива ультрабазитов с девонскими метаморфитами Урупского комплекса Передового хребта



Рисунок 2.7.1.2 – Полированный шар из жадеита Беденского массива, отчетливо видна система трещин, которая значительно снижает качество поделочного сырья



Рисунок 2.7.1.3 – Пришлифовка образца жадеита из Беденского массива ультрабазитов

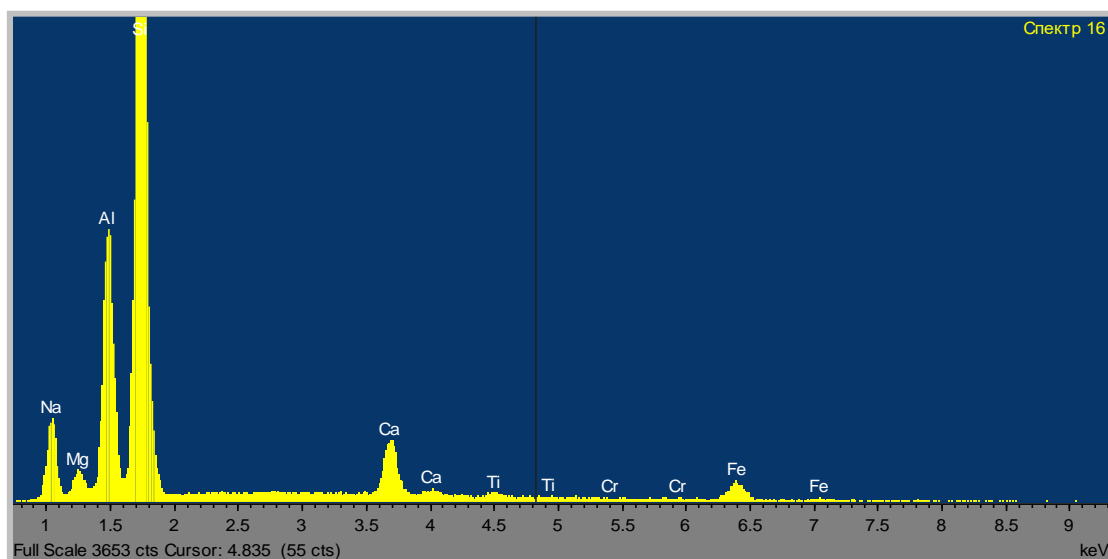


Рисунок 2.7.1.4 – Линии рентгеновского спектра жадеитового пироксена из Беденского массива серпентинитов по данным МРСА

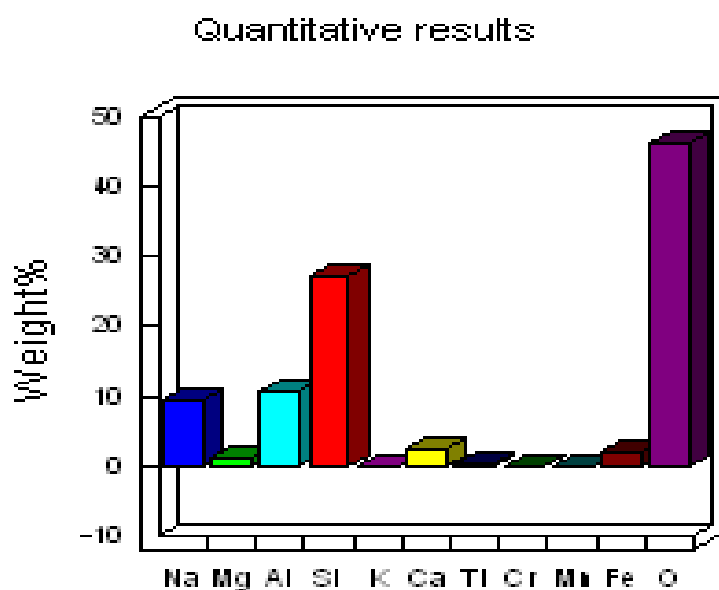


Рисунок 2.7.1.5 – Гистограмма количественного элементного анализа (вес.%) жадеитового пироксена из Беденского массива Западного Кавказа

## 2.7.2 Новые данные по цирконометрии мигматитов кристаллического фундамента Большого Кавказа

Получены новые данные по *цирконометрии* мигматитов кристаллического фундамента Большого Кавказа. В зоне Главного хребта, в долине р. Адылсу, была отобрана проба гранат-биотитовых гнейсов с признаками мигматизации. Зона мигматизации примыкает к восточному контакту массива метагранитоидов Адырсу, для которых ранее нами была получена датировка 460 Ма (Отчет Минмузея РАН, 2017 г.) и установлено, что

это возраст кристаллизации расплава гранодиоритов на стадии инициального магматизма, который непосредственно предшествовал палеозойскому региональному метаморфизму на Северном Кавказе [62]. Мигматиты Адылсу характеризуют стадию высокотемпературного регионального метаморфизма амфиболитовой фации в зоне Главного хребта Большого Кавказа. Петрологические исследования показывают, что максимальные значения термодинамических параметров регионального метаморфизма в этой зоне оцениваются на уровне  $T = 650\text{--}720\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 3\text{--}5$  кбар [60].

Из мигматитов Адылсу была извлечена фракция **кристаллов циркона** размерностью порядка 100 мкм. Морфология кристаллов исследована с помощью оптической микроскопии. Внутреннее строение кристаллов – с помощью катодоллюминесценции на электронном микроскопе (рис. 2.7.2.1).

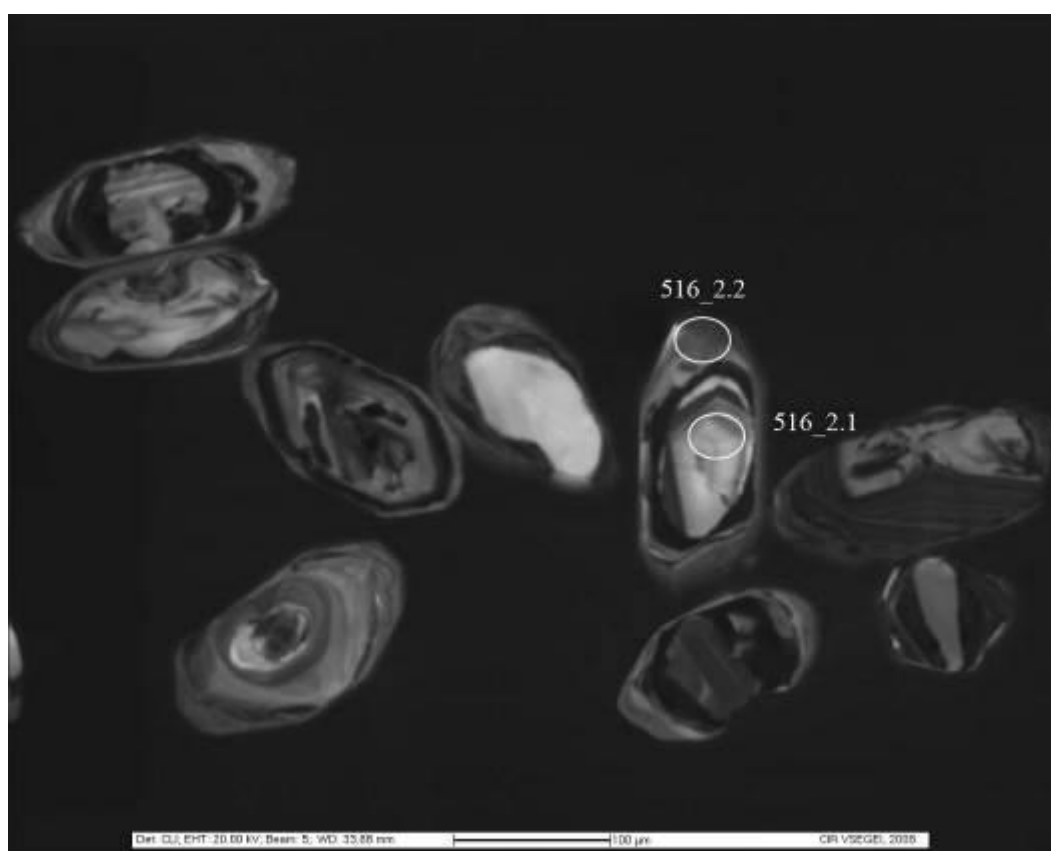


Рисунок 2.7.2.1 – Изображение в катодоллюминесценции внутреннего строения зональных зерен циркона из мигматитов Адылсу. Отчетливо видны древние кластогенные ядра и регенерационные каймы новообразованных внешних зон кристаллов. Точки зондирования обозначены светлыми кружками. Точка 2.1 попадает на древнее ядро с возрастом 946 Ма, точка 2.2. с возрастом 303 Ма находится в привершинной части новообразованного кристалла, она отражает изотопный состав регенерационной каймы

Измерение *изотопного состава цирконов* выполнялось на ионном микрозонде SHRIMP-II в ЦИИ ВСЕГЕИ. Исследованные зерна циркона из гнейсов пробы № 516 имеют зональное строение и часто содержат древние обломочные ядра. Практически все U-Pb

изотопные датировки лежат на конкордии и демонстрируют широкий возрастной спектр 300–1040 Ма (рис. 2.7.2.2, 2.7.2.3), частично унаследованный от кластогенных зерен циркона исходных метапелитов. Наиболее молодые возраста фиксируют момент образования регенерационных кайм (315 Ма) при перекристаллизации детритовых цирконов на стадии анатексиса и мигматизации. Остальные точки образуют возрастной спектр 560–1040 Ма, который характеризует возраст различных источников сноса вещества при формировании протометаморфического субстрата. Панафриканский возраст отдельных зерен циркона, несомненно, указывает на палеозойский возраст протолита, который ранее традиционно считался более древним – протерозойским и даже архейским. Возраст регенерационных кайм кристаллов циркона (315 Ма) совпадает с возрастом постметаморфических гранитоидов Кавказа.

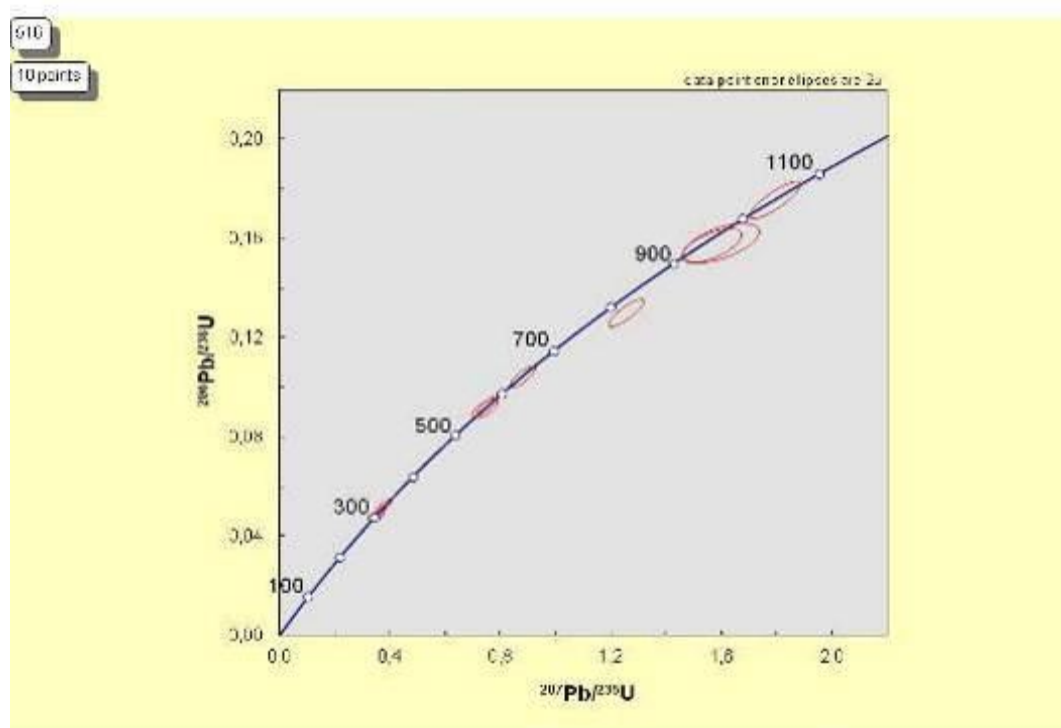


Рисунок 2.7.2.2 – Результаты датирования цирконов из мигматитов пробы № 516 нанесены на диаграмму с конкордией с табулированными значениями возраста, млн лет (Ма). Датировки кристаллов циркона образуют широкий возрастной спектр 300–1040 Ма. Древние датировки характеризуют возраст первоначальных источников сноса вещества в период накопления протометаморфических осадков. Молодые датировки с возрастом около 300 Ма фиксируют момент образования регенерационных кайм при перекристаллизации цирконов на стадии мигматизации. Диаметр эллипсов равен удвоенной ошибке измерения (2 сигма)

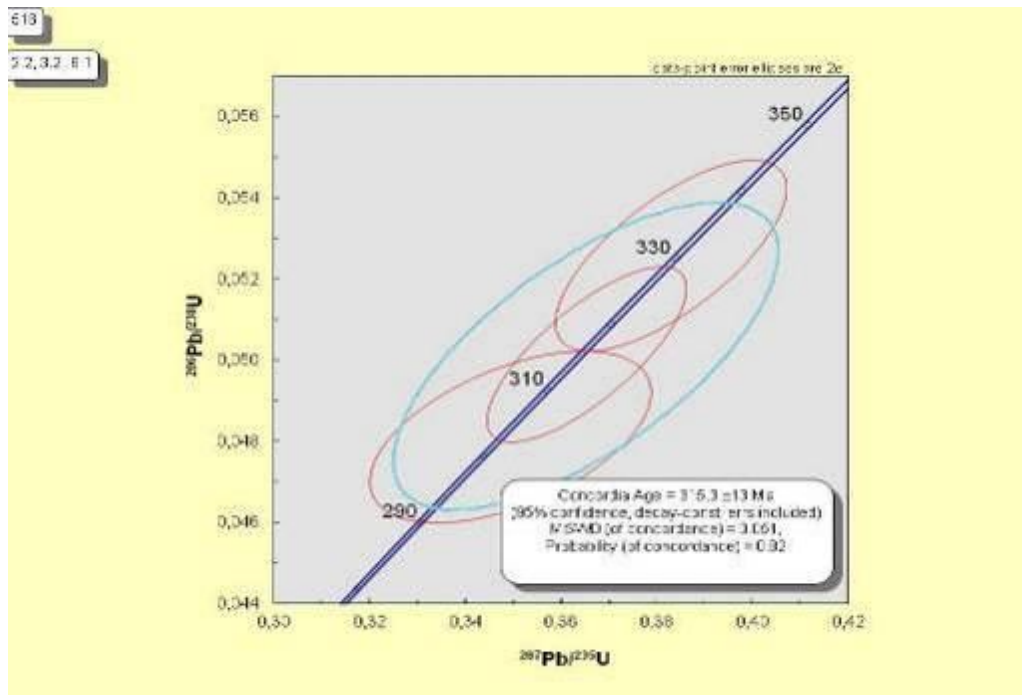


Рисунок 2.7.2.3 – Результаты датирования регенерационных кайм кристаллов циркона из мигматитов Адылсу (проба № 516) нанесены на диаграмму с конкордией с табулированными значениями возраста, млн лет (Ma). Датировки кристаллов циркона образуют небольшой кластер с возрастом около 315 Ma, который характеризует этап кристаллизации мигматитов. Диаметр эллипсов равен удвоенной ошибке измерения (2 сигма). Кластер имеет вероятность конкордантности около 82% и малую величину отклонения от конкордии

Древние ядра в цирконах часто являются причиной дискордантных датировок. Если при анализе вещества происходит смешение U-Pb-изотопных систем двух конкордантных датировок циркона по зернам разного возраста, то на диаграмме с конкордией возникают «ложные» дискордии. Но их появление не связано с диффузионными потерями свинца в ходе термальных событий, а обусловлено только механическим смешением двух изотопных составов циркона. Такие явления очень типичны для мигматитов и магматических пород. Расшифровка подобных нарушений становится возможной при использовании ионного зонда в масс-спектрометрических исследованиях.

### 3 Изучение вариаций химического состава и генезиса ряда породообразующих минералов

#### 3.1 Супергруппа эпидота

Изучены вариации химического состава минералов надгруппы эпидота (МНЭ) (рис. 3.1.1) из различных магматических, метасоматических и метаморфических формаций Пелагонийского массива (Македония), Урала и Айфеля (Германия) и получены новые данные о закономерностях изоморфных замещений в этих минералах [63]. Выявлены девять потенциально новых минеральных видов, относящихся к надгруппе эпидота, включая

минералы, в которых видообразующими компонентами являются Cr, Ga, La, Ce, Nd и Pb, а также ряд разновидностей с необычно высоким содержанием Zn и Cu. Обсуждается связь химического состава МНЭ с их КР-спектрами (рис. 3.1.2, 3.1.3).

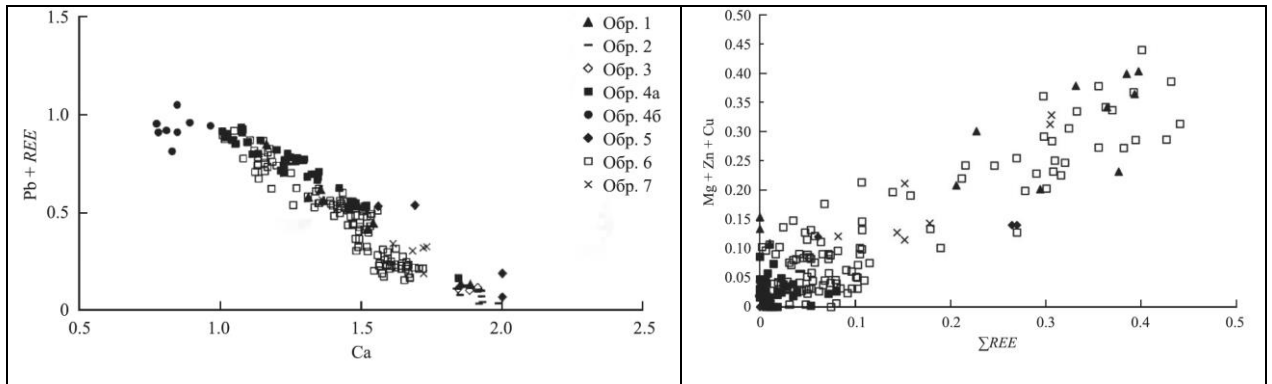


Рисунок 3.1.1 – Корреляции между содержанием различных катионов (а.ф.) в исследованных минералах группы эпидота Пелагонийского массива

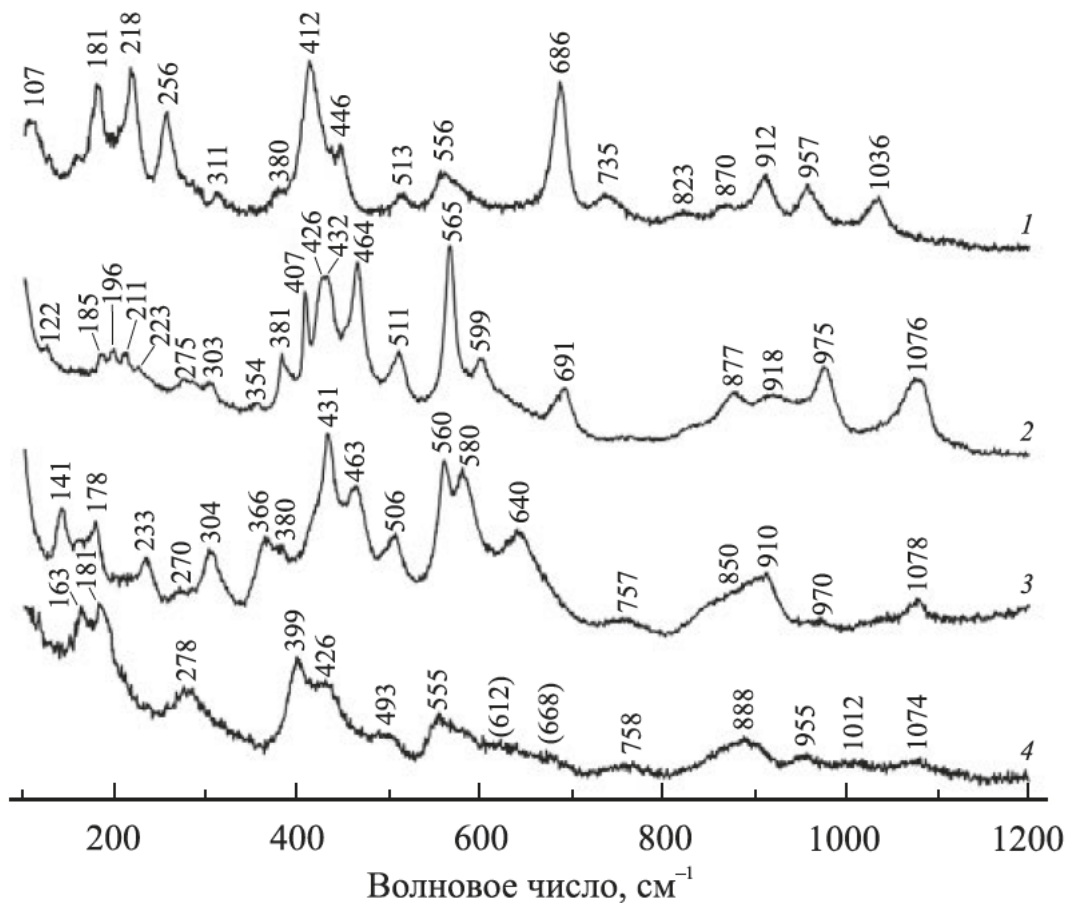


Рисунок 3.1.2 – Спектры хромового минерала группы алланита, обр. 15 (1), галлиевого МНЭ из обр. 14 (2), пьомонтита из обр. 12 (3) и голотипного образца пьомонтита-(Pb), обр. 4 (4)

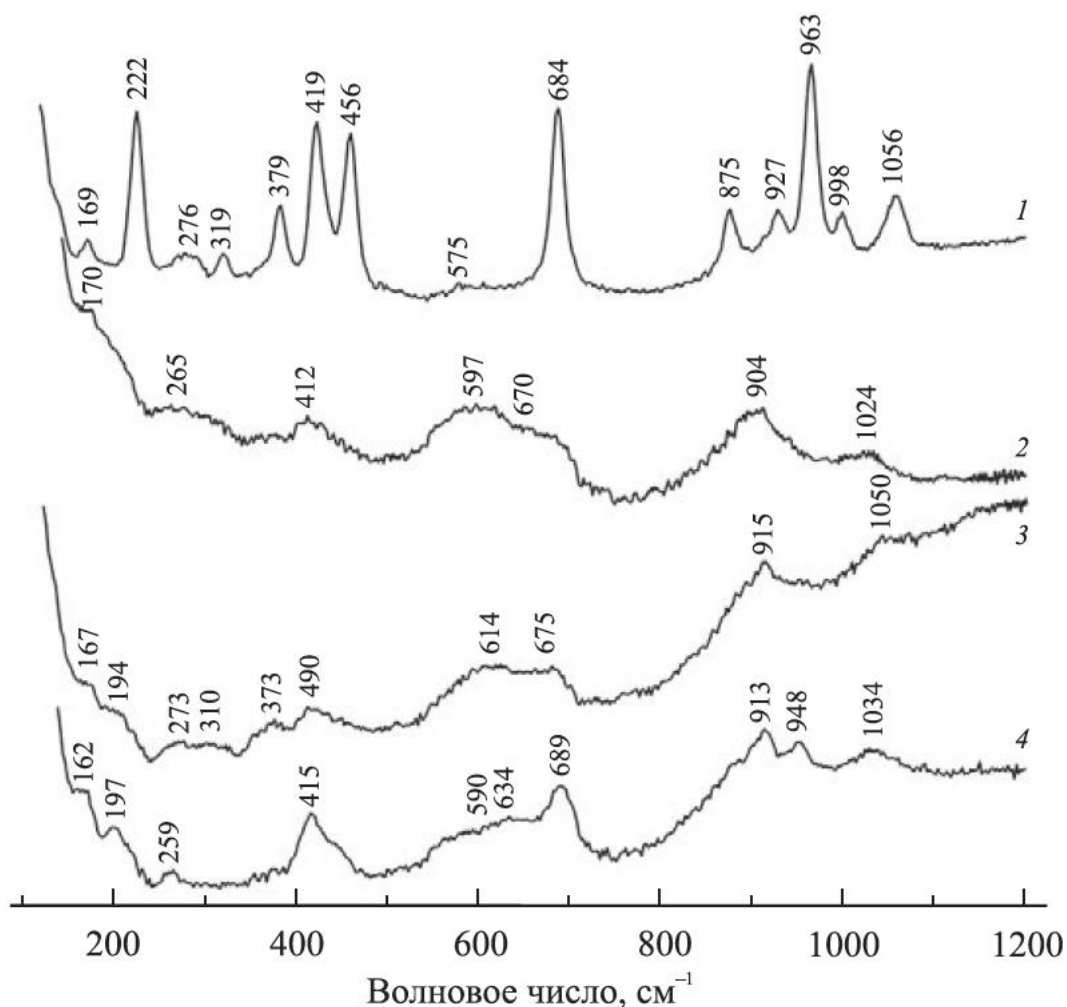


Рисунок 3.1.3 – КР-спектры диссакисита-(Ce) из обр. 13 (1), ферриалланита-(La) из обр. 11 (2), ферриалланита-(La/Ce) из обр. 9 (3) и ферриакасакаита-(La) из обр. 10 (4)

### 3.2 Группа мелилита

Были изучены *образцы минералов группы мелилита из коллекции Минмузея РАН* (№ 90274, 41299, 51045, FN 97, FN 282–285). Минералы изоморфных серий **геленит–акерманит** и **акерманит–алюмоакерманит** исследованы с помощью рентгеноспектрального анализа (рис. 3.2.1), инфракрасной и рамановской спектроскопии (рис. 3.2.2), рентгеновской дифракции (рис. 3.2.3). Проведено термохимическое исследование с помощью высокотемпературного микрокалориметра Тянь-Кальве с тепловым потоком. Энтальпии образования веществ из элементов впервые были найдены методом калориметрии в расплавленном растворе.



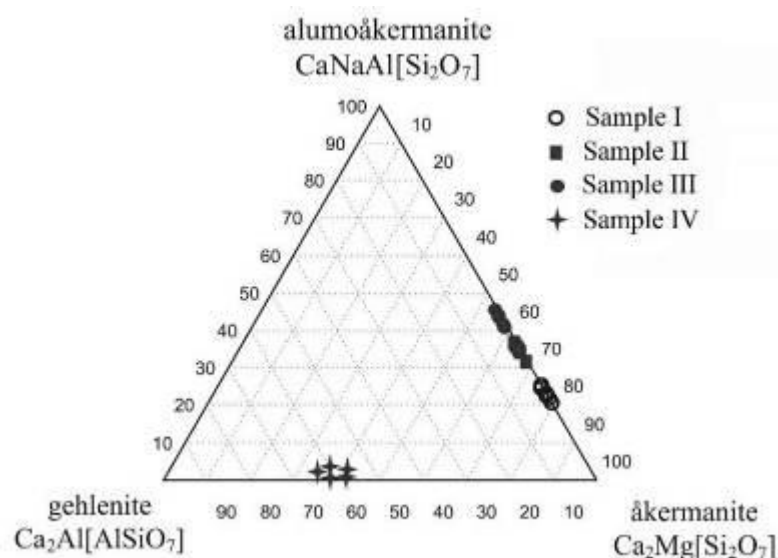
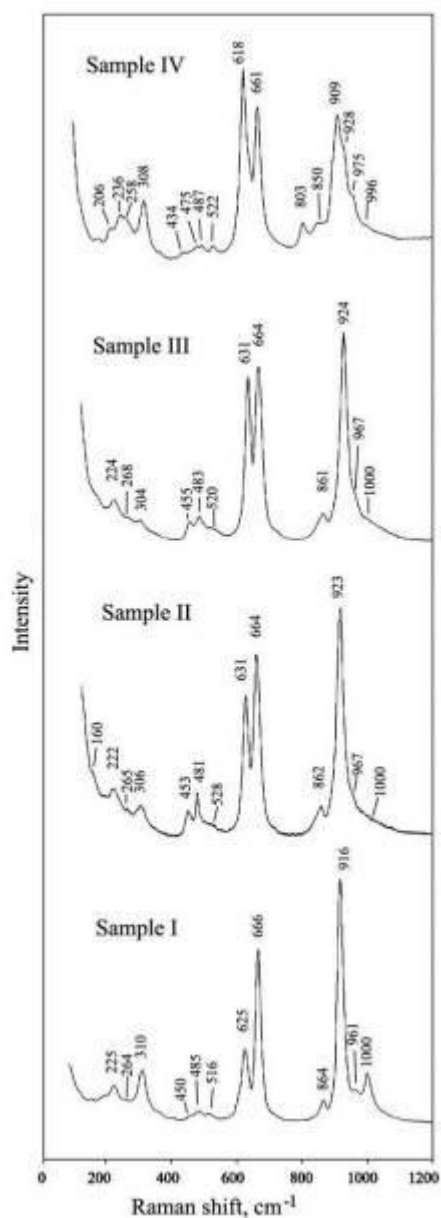


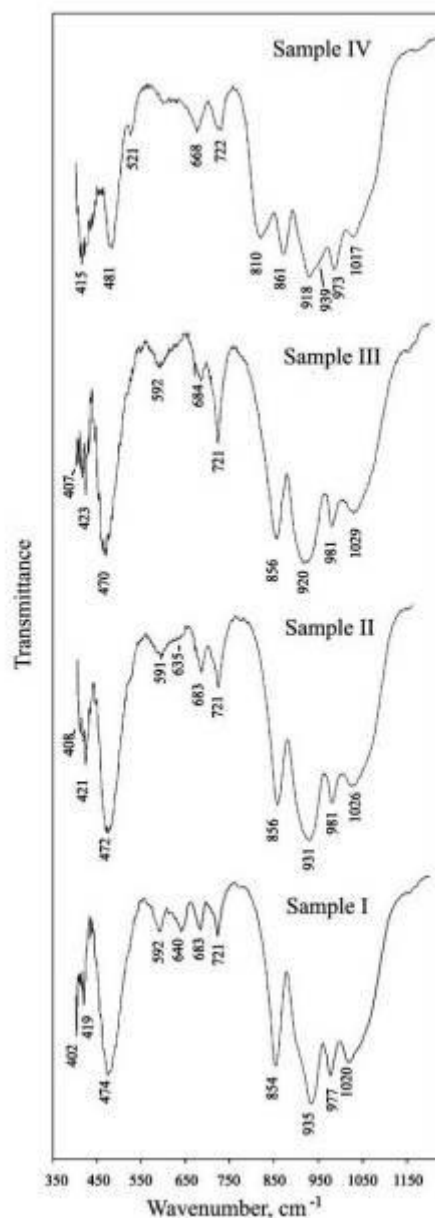
Рисунок 3.2.1 – Состав изученных минералов группы мелилита

В КР-спектрах мелилитов можно выделить две спектральные области (рис. 3.2.2а). Высокочастотная область ( $1000\text{--}600\text{ см}^{-1}$ ) включает линии рассеяния, соответствующие преимущественно валентным колебаниям структурных единиц  $\text{Si}_2\text{O}_7$  (обр. I–III),  $(\text{Si,Al})_2\text{O}_7$  (обр. IV) и тетраэдрических анионов  $\text{AlO}_4$ ,  $\text{MgO}_4$ . При вхождении Al в позицию Si в двоянных тетраэдрах число спектральных компонент в этом диапазоне увеличивается с шести (обр. I–III) до десяти (обр. IV). Наибольшая интенсивность в этом диапазоне отмечается у линий рассеяния: 1) – с максимумами около  $916$ ,  $923$ ,  $924$  и  $909\text{ см}^{-1}$ , приписываемым валентным симметричным колебаниям групп  $\text{SiO}_3$  из кремнекислородных димеров  $\text{Si}_2\text{O}_7$ , 2) – у линий с максимумами около  $666$ ,  $664$ ,  $664$  и  $618\text{ см}^{-1}$ , соответствующим валентным симметричным колебаниям мостиков  $(\text{Si,Al})\text{--O--Si}$ , и 3) – у линий с максимумами около  $625$ ,  $631$ ,  $631$  и  $618\text{ см}^{-1}$ , которые приписываются симметричным валентным колебаниям тетраэдров  $\text{MgO}_4$  (обр. I–III) и  $\text{AlO}_4$  (обр. IV).

В низкочастотной области ( $600\text{--}200\text{ см}^{-1}$ ) группируются линии рассеяния, соответствующие деформационным колебаниям различного типа и трансляционным колебаниям крупных структурных единиц и катионов. Так, линии слабой интенсивности с частотами в диапазоне от  $528$  до  $434\text{ см}^{-1}$  относятся к деформационным колебаниям  $\text{O--(Si,Al)--O}$  в структурных группах  $(\text{Si,Al})\text{O}_3$ , линии с частотами от  $310$  до  $236\text{ см}^{-1}$  связываются с торсионными колебаниями групп  $(\text{Si,Al})\text{O}_3$ , линии с еще меньшими частотами приписываются трансляционным колебаниям катионов и решеточным модам [Sharma et al., 1988].



а



б

Рисунок 3.2.2 – Рамановские (а) и инфракрасные (б) спектры изученных мелилитов

**ИК-спектроскопическое исследование** проведено на фурье-спектрометре ФСМ-1201 (ЛОМО, Россия) в диапазоне от 400 до 4000  $\text{cm}^{-1}$  с точностью определения частот  $\pm 2 \text{ cm}^{-1}$  в режиме пропускания при комнатной температуре на воздухе; образцы приготовлены в виде суспензии в вазелиновом масле.

Среди спектров ИК-поглощения изученных мелилитов (рис. 3.2.2б) также отмечается принципиальное сходство профилей спектров для образцов со сходным химическим составом (обр. I–III) и увеличение числа спектральных компонент в диапазоне от 1017 до 810  $\text{cm}^{-1}$  в спектре образца с присутствием Al в позиции Si в двойных тетраэдрах (обр. IV).

Отнесение полос поглощения в ИК-спектрах аналогично отнесению линий рассеяния в спектрах КР. Для ИК-спектров образцов I и IV отмечается совпадение со спектрами мелилитов близких составов, приведенными в [64]: так, спектр образца I близок к спектру акерманита (Sid27), а образец IV имеет спектр, схожий со спектром геленита (Sid18).

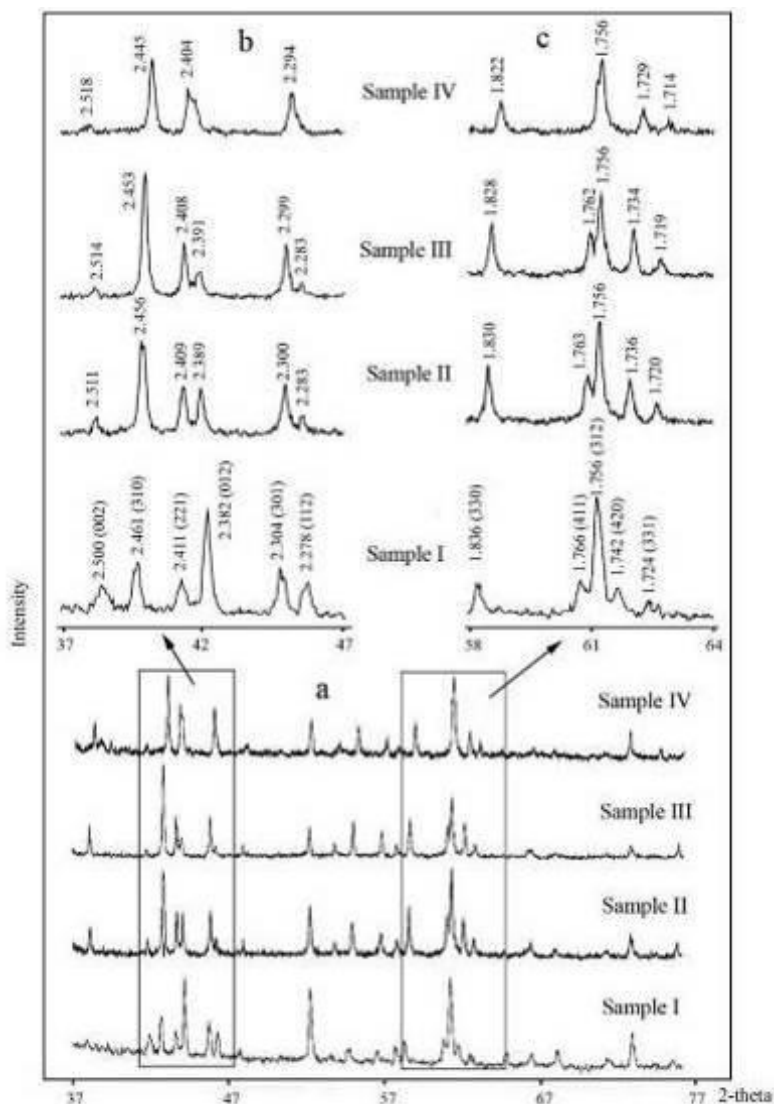


Рисунок 3.2.3 – X-ray-характеристики изученных мелилитов

**Рентгенографическая диагностика** образцов выполнена на порошковом дифрактометре STOE-STADI MP (Германия) с изогнутым Ge(III)-монохроматором, обеспечивающим строго монохроматическое  $\text{CoK}\alpha_1$ -излучение ( $\lambda = 0.178897\text{\AA}$ ). Полученные рентгendifракционные спектры всех четырех мелилитов чрезвычайно похожи между собой (рис. 3.2.3а) и согласуются с данными ICDD (база данных The International Centre for Diffraction Data, 2013) и RRUFF (Database of Raman spectroscopy, X-ray diffraction and chemistry of minerals). Тем не менее на больших углах  $2\theta$  наблюдается смещение пиков. На рисунках 3b и 3c приведены участки X-ray спектров, на которых проявлено наибольшее различие. Для геленита (образец IV) характерно небольшое смещение пиков в область

больших углов  $2\theta$  относительно мелилитов ряда акерманит–алюмоакерманит (образцы I–III). Различие в диффрактограммах для образцов I–III проявляется главным образом в различной интенсивности пиков при практически одинаковом их положении. Для мелилитов, содержащих алюмоакерманитовый минал (образцы I–III), характерно появление дополнительных пиков (012), (112) в районе  $43\text{--}46^\circ 2\theta$  и пика (411) в районе  $42^\circ 2\theta$  (рис. 3.2.3), которые установил D. Wiedenmann для алюмоакерманита [65]. Появление их, вероятно, связано с вхождением нового катиона – натрия – в кристаллическую решетку мелилита. Параметры элементарной ячейки мелилитов ряда акерманит–алюмоакерманит изменяются в зависимости от содержания алюмоакерманитового минала, при увеличении которого параметр  $a$  уменьшается,  $c$  остается практически без изменений. Геленит характеризуется наименьшим значением  $a$  и наибольшим  $c$ .

На основании экспериментальных данных по растворению исследованных мелилитов рассчитаны значения стандартных энтальпий их образования из элементов. Для расчета значений энергии Гиббса образования изученных мелилитов из элементов проведена оценка отсутствующих в литературе величин их стандартных энтропий. Были использованы значения  $S^\circ$  (298.15 К) синтетических мелилитов, полученные из результатов измерения низкотемпературной теплоемкости акерманита для образцов I–III и геленита для образца IV. Расчет выполняли по аддитивной схеме на основании метода оценки энтропий силикатов с помощью значений энтропийных вкладов оксидов ( $S-V$ ) с учетом координации соответствующих катионов в структуре минерала (табл. 3.2.1).

Таблица 3.2.1 – Термодинамические данные при  $T = 298.15$  К для изученных мелилитов

Состав минерала	$\Delta H_f^\circ$ , kJ/mol	$S^\circ$ , J/(K mol)	$\Delta G_f^\circ$ , kJ/mol
Природные мелилиты			
$\text{Ca}_{1.8}\text{Na}_{0.2}(\text{Mg}_{0.7}\text{Al}_{0.2}\text{Fe}^{2+}_{0.1})\text{Si}_2\text{O}_7$ (Обр. I)	$-3795.8 \pm 4.1$	$213.0 \pm 0.6$	$-3598.6 \pm 4.1$
$\text{Ca}_{1.6}\text{Na}_{0.4}(\text{Mg}_{0.5}\text{Al}_{0.4}\text{Fe}^{2+}_{0.1})\text{Si}_2\text{O}_7$ (Обр. II)	$-3753.1 \pm 5.2$	$212.3 \pm 1.3$	$-3555.5 \pm 5.2$
$\text{Ca}_{1.6}\text{Na}_{0.4}(\text{Mg}_{0.4}\text{Al}_{0.4}\text{Fe}^{2+}_{0.2})\text{Si}_2\text{O}_7$ (Обр. III)	$-3735.3 \pm 3.7$	$213.5 \pm 1.4$	$-3538.2 \pm 3.7$
$\text{Ca}_2(\text{Mg}_{0.4}\text{Al}_{0.6})[\text{Si}_{1.4}\text{Al}_{0.6}\text{O}_7]$ (Обр. IV)	$-3929.2 \pm 3.8$	$213.0 \pm 1.0$	$-3731.2 \pm 3.8$
Мелилиты теоретического состава			
$\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_7]$ акерманит Мол.масса = 272.64 г/моль	$-3853.9 \pm 4.3$	$212.5 \pm 0.4$	$-3656.6 \pm 4.3$
$\text{Ca}_2\text{Al}[\text{SiAlO}_7]$ геленит Мол.масса = 274.20 г/моль	$-3982.4 \pm 3.9$	$210.1 \pm 0.6$	$-3782.9 \pm 3.9$
$\text{CaNaAl}[\text{Si}_2\text{O}_7]$ алюмоакерманит Мол.масса = 258.22 г/моль	$-3668.4 \pm 5.1$ $-3665.5 \pm 3.6$		
	Средн.: $-3667.0 \pm 3.1$	$209.0 \pm 2.8$	$-3467.4 \pm 3.2$

Природные мелилиты имеют сложный состав, но в настоящее время термодинамические параметры известны только для чистых конечных членов изоморфных рядов твердых растворов акерманит–геленит. *Полученные нами энтальпии образования различных природных мелилитов служат основой для разработки термодинамических моделей твердых растворов мелилита, где состав мелилита может служить индикатором состояния его образования.*

*Определение энтальпий и энергий Гиббса образования мелилитов позволяет количественно термодинамически моделировать фазовые равновесия в системе (Mg,Ca)O–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>–CO<sub>2</sub> по основным реакциям, связанным с образованием контактно-метасоматических пород и известковых скарнов, включающих силикаты и кальцит.*

Расчет этих равновесий проводился с помощью программного обеспечения NCh software с использованием термодинамических параметров (База данных Holland and Powell 1998) для мелилитов и других минералов. Результаты расчетов приведены на рис. 3.2.4.

Устойчивость мелилитов с естественным составом оценивали с помощью уравнений с добавлением альбита и фаялита с использованием полученных нами термодинамических свойств мелилитов. Мелилиты могут образовываться при реакции кальцита с силикатами при температуре выше 400 °С. Стабильность образцов I и IV (линии 7 и 5 соответственно) близки к идеальному твердому раствору акерманит–геленит. Образцы II и III (линии 4 и 6 соответственно) из карбонатитов стабильны при меньшей температуре из-за большого количества алюмоакерманитовой составляющей.

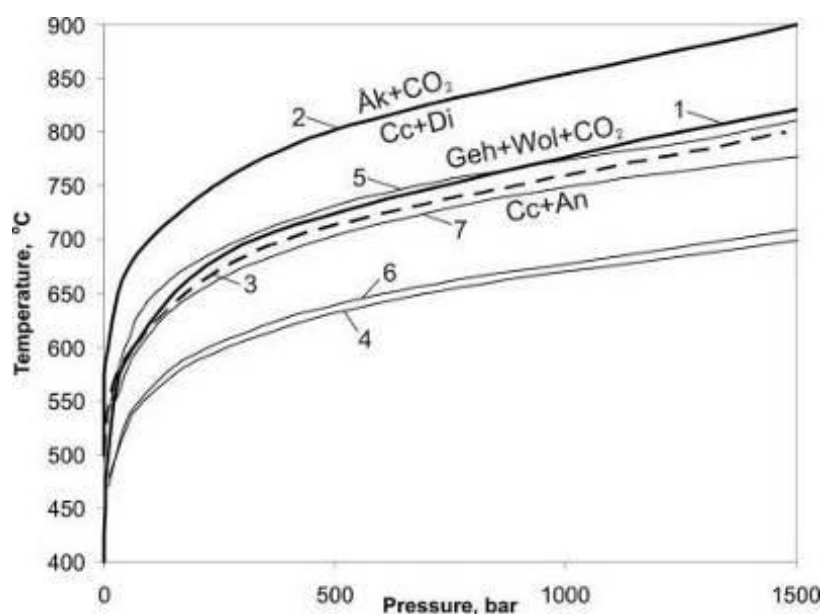


Рисунок 3.2.4 – Поля устойчивости мелилитов при контактно-метаморфическом взаимодействии кальцита с силикатами. Жирные линии – нижняя граница устойчивости геленита (1) и экерманита (2). Пунктирная линия 3 – нижняя граница устойчивости для идеального твердого раствора из них. Тонкие линии – нижние границы стабильности исследуемых образцов в равновесии

с кальцитом, диопсидом, альбитом, анортитом, фаялитом, волластонитом и диоксидом углерода:  
образец I – линия 7, образец II – линия 4, образец III – линия 6, образец IV – строка 5

### 3.3 Монтичеллит

Проведено термохимическое изучение природного ортосиликата кальция и магния монтичеллита  $\text{Ca}_{1.00}\text{Mg}_{0.95}[\text{SiO}_4]$ , (Хабаровский край, Россия) на микрокалориметре Тиана-Кальве [66]. Методом высокотемпературной расплавной калориметрии растворения определена энтальпия образования из элементов  $\Delta_f H_{el}^0(298.15 \text{ K}) = -2238.4 \pm 4.5$  кДж/моль. Рассчитаны энтальпия и энергия Гиббса образования монтичеллита теоретического состава  $\text{CaMg}[\text{SiO}_4]$ :  $\Delta_f H_{el}^0(298.15 \text{ K}) = -2248.4 \pm 4.5$  кДж/моль и  $\Delta_f G_{el}^0(298.15 \text{ K}) = -2130.5 \pm 4.5$  кДж/моль.

Полученные термодинамические характеристики природного монтичеллита расширяют существующую базу данных по фундаментальным термодинамическим константам минералов, необходимым для определения полей устойчивости, расчета условий образования минеральных фаз, определения P–T-условий формирования парагенетических ассоциаций. Полученные значения энтальпии и энергии Гиббса образования монтичеллита позволяют проводить количественное термодинамическое моделирование устойчивости минералов в системе  $\text{MgO}–\text{CaO}–\text{SiO}_2–\text{CO}_2$ .

### 3.4 Расплавные и флюидные включения в минералах

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

Впервые были детально изучены расплавные включения в кварце из экструзии риолитов вулкана Базман (Иран) (рис. 3.4.1). Определение воды в расплавных включениях проводилось с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния и ее содержание варьирует в пределах 4.0–5.3 мас.%. При термометрических экспериментах гомогенизация достигалась при температуре ниже 700 °C.

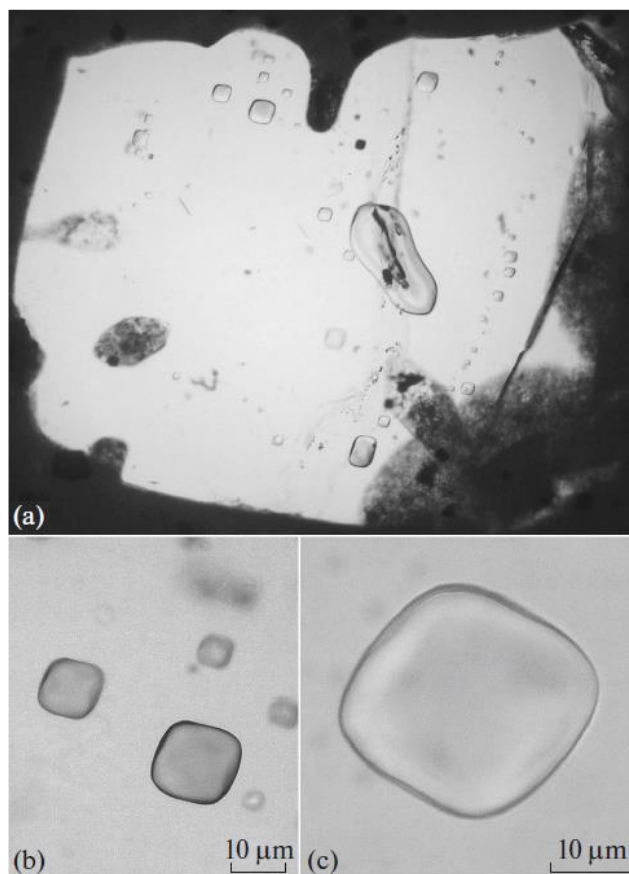


Рисунок 3.4.1 – Природно закаленные стекловатые расплавные включения в кварце из риолитов вулкана Базман (Иран) [67]

Вулканический массив Карадаг расположен в юго-восточной части Крымского полуострова и представляет собой мощную вулканогенную толщу, подвергшуюся значительным вторичным изменениям. С помощью изучения расплавных включений, локальной геохимии стекол и минералов и Ar–Ar изотопии нам удалось [68] выявить влияние вторичных изменений, оценить первичные химические составы пород и состав расплава (включая геохимическую характеристику) по включениям в плагиоклазе, клино- и ортопироксене. Полученные результаты свидетельствуют о двух различных магматических сериях в пределах Карадагского вулканического массива. Первая является типично островодужной и относится к умереннокалиевым известково-щелочным сериями с обогащением мобильных LILE, U, Th и LREE относительно HREE, Y, Zr, Hf, Nb и Ta. Большинство пород Карадага относится к этой серии. Ar–Ar изотопные данные по вкрапленникам плагиоклаза и стекловатой основной массе позволили определить возраст этих пород как среднеюрский:  $172.8 \pm 4.5$  Ма. Другая серия представлена единичными потоками и относится к обогащенным Nb надсубдукционным вулканитам.

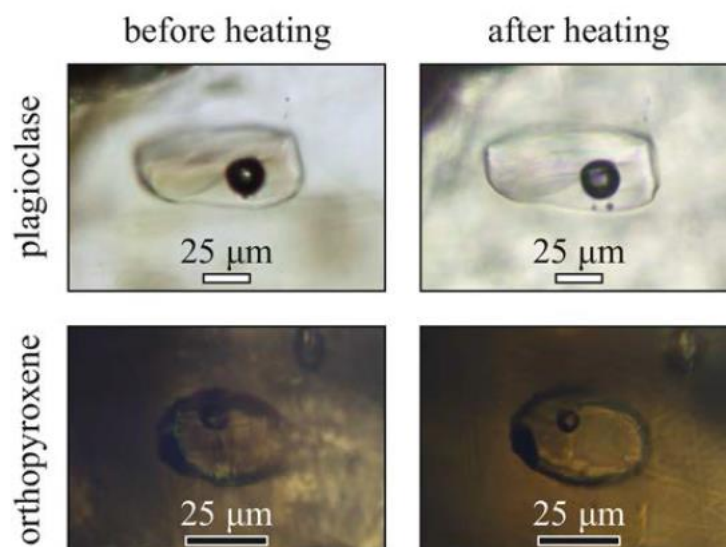


Рисунок 3.4.2 – Представительные стекловатые расплавные включения в плагиоклазе (верхний ряд) и ортопироксене (нижний ряд) из андезитов вулкана Карадаг (Крым)

Были получены результаты по природно и экспериментально закаленным расплавным включениям в магнезиальном оливине ( $Fo_{77-89}$ ) из образца базальта Карымского вулканического центра, расположенного в центральном сегменте Восточного вулканического фронта Камчатки [69]. Условия образования родоначальных магм оценены с помощью современных методов микроэлементной термометрии. Используя данные прямого измерения  $H_2O$  во включениях и данные термометрии сосуществующих оливина и шпинели, показано, что родоначальные расплавы содержали не менее 4.5 мас.%  $H_2O$ , кристаллизовались при  $1114 \pm 27$  °C, летучести кислорода  $\Delta QFM = 1.5 \pm 0.4$ . Полученные оценки содержания  $H_2O$  и температур кристаллизации являются одними из первых и в настоящий момент самыми надежными данными для Восточного вулканического фронта Камчатки. Первичный расплав Карымского вулканического центра имеет перидотитовый источник и мог быть получен в результате ~12–17 %-го плавления обогащенного источника MORB (E-DMM) при ~1230–1250 °C, ~1.5 ГПа. Установленные нами оценки температур плавления мантии под Камчаткой несколько ниже, чем полученные ранее, и свидетельствуют о температурах плавления мантии под Камчаткой до 50 °C ниже солидуса «сухого» перидотита под воздействием водосодержащего расплава из субдуцирующей плиты. Комплексный подход к оценке исходного содержания  $H_2O$  в расплавах, применяемый в настоящей работе, позволит получить более надежные результаты в будущих исследованиях и, возможно, понизит значения температур в мантийном клине над зонами субдукции.



## 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 2019 года сотрудниками Минмузея РАН и с их участием было открыто и изучено **17 новых минеральных видов**: перклевеит-(La), радекшодаит-(Ce), алекскузнецовит-(La), нишанбаевит, полиарсит, юргенсонит, алевсит, ферроефремовит, фторапофиллит-(Cs), крейтерит, патынит, хинганит-(Nd), гмалимит, виттинкеит, дрицит, натроафтиталит, чийокоит. Утверждены в 2019 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 обширные данные о **современном минералообразовании, связанном с поствулканическими процессами**. При изучении фумарольных возгонов было открыто и утверждено пять новых минеральных видов с Тобачика: полиарсит, юргенсонит, алевсит, нишанбаевит, натроафтиталит – плюс ферроефремовит из Италии (влк. Solfatara di Pozzuoli).

Проведенные на **Фан-Ягнобском угольном месторождении (Ц. Таджикистан)** исследования несут не только **новые данные по минералогии возгонов**, но и обогащают представления о **механизмах минералообразования из газовой фазы**.

Работы по сравнительному анализу **конституционных характеристик и закономерностей формирования алмазов Архангельской и Якутской алмазоносных провинций** позволили получить новые данные о взаимосвязи вещественных особенностей основных типов кимберлитовых руд ААП и ЯАП со степенью их алмазоносности и качественными характеристиками алмазов.

Проведены работы на уникальных объектах исследований музея в Таджикистане и Киргизии. Получены новые результаты по **минералогии щелочного массива Дарай-Пиёз (Алайский хр., Таджикистан)**, где открыты **два новых цезиевых минерала**: крейтерит и

фторапофиллит-(Cs). Получены новые данные по **минералам редкометальных гранитных пегматитов** Кукуртского пегматитового поля (Вост. Памир, Таджикистан), Карасу-Каравшинского месторождения Туркестанского хребта (Киргизия), а также Пакистана. Исследование зоны окисления урансодержащих метасоматитов на **урановом проявлении Зор-Ярчи-Чак** (В. Памир, Таджикистан) не только расширило информацию по топоминералогии Памира, но и выявило новые аналитические данные для сложного в изучении уранового минерала кокониинита.

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

**Оценка U–Pb-возраста изученных гранатов из скарнов Дашкесанского месторождения** свидетельствует о формировании рудной ассоциации месторождения на рубеже юрского и мелового этапов эндогенной активности региона.

**Работы в регионе Большого Кавказа** выявили **новые данные по его жадеитоносности и жадеиту** из серпентинитов Беденского гипербазитового массива. **Изучение цирконов из мигматитов кристаллического фундамента Западного Кавказа** с определением их изотопного состава позволило определить возраст главных стадий формирования этих пород.

3 Проведены систематические работы по изучению **вариаций состава порообразующих минералов в группах эпидота, мелилита и монтichelлита**. Для минералов группы мелилита и монтichelлита определены энтальпии их образования из элементов и рассчитаны значения энергии Гиббса, что позволяет количественно термодинамически моделировать фазовые равновесия в системах образования контактно-метасоматических пород и известковых скарнов, включающих силикаты и кальцит.

4. Продолжены систематические работы по изучению расплавных и флюидных включений в порообразующих минералах (**оливин, плагиоклаз, ортопироксен, клинопироксен, кварц**). Впервые получены данные по составу и содержанию летучих в расплавах для вулкана Базман (Иран), Карадаг (Крым), Карымский (Камчатка). С помощью прямых измерений определено содержание воды в стеклах расплавных включений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Konev A., Pasero M., Pushcharovsky D., Merlino S., Kashaev A., Suvorova L., Ushchapovskaya Z., Nartova N., Lebedeva Y., Chukanov N. Biraite-(Ce),  $\text{Ce}_2\text{Fe}_2+(\text{CO}_3)(\text{Si}_2\text{O}_7)$ , a new mineral from Siberia with a novel structure type // *Eur. J. Mineral.*, 2005. V. 17. P. 715–721.
- 2 Kasatkin A.V., Camara F., Chukanov N.V., Skoda R., Nestola F., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Lednyov V.S. Patynite,  $\text{NaKCa}_4[\text{Si}_9\text{O}_{23}]$ , a New Mineral from the Patynskiy Massif, Southern Siberia, Russia // *Minerals*. V. 9. Iss. 10. № 611. P. 1–19.
- 3 Pekov I.V., Shchipalkina N.V., Zubkova N.V., Gurzhiy V.V., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Chukanov N.V., Lykova I.S., Vigasina M.F., Koshlyakova N.N., Sidorov E.G., Giester G. Alkali sulfates with a phthalite-like structures from fumaroles of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. I. Metathenardite, a natural high-temperature modification of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  // *Canadian Mineralogist*. 2019. V. 57. Iss. 6. P. 885–901.
- 4 Lykova I., Chukanov N.V., Pekov I.V., Yapaskurt V.O., Pautov L.A., Karpenko V.Y., Belakovskiy D.I., Varlamov D.A., Britvin S.N., Scheidl K.S. Chiyokoite, IMA 2019-054. CNMNC Newsletter No. 52 // *Mineralogical Magazine*. 2019. Vol. 83.
- 5 Zhitova E.S., Pekov I.V., Chaikovskiy I.I., Chirkova E.P. Yapaskurt V.O., Bychkova Y.V., Belakovskiy D.I., Chukanov N.V., Zubkova N.V., Krivovichev S.V., Bocharov V.N. Dritsite,  $\text{Li}_2\text{Al}_4(\text{OH})(12)\text{Cl}_2$  center dot  $3\text{H}_2\text{O}$ , a New Gibbsite-Based Hydrotalcite Supergroup Mineral // *Minerals*. 2019. V. 9. Iss. 8. № 492. P. 1–15.
- 6 Pekov I.V., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Yapaskurt V.O., Sidorov E.G., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. IX. Arsenatotitanite,  $\text{NaTiO}(\text{AsO}_4)$  // *Mineral. Magaz.* 2019. V. 83. № 3. P. 453–458.
- 7 Pekov I.V., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Ksenofontov D.A., Pautov L.A., Sidorov E.G., Britvin S.N., Vigasina M.F., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. X. Edtollite,  $\text{K}_2\text{NaCu}_5\text{Fe}_3+\text{O}_2(\text{AsO}_4)(4)$ , and alumoedtollite,  $\text{K}_2\text{NaCu}_5\text{AlO}_2(\text{AsO}_4)(4)$  // *Mineralogical Magazine*. 2019. V. 83. Iss. 4. P. 485–495.
- 8 Pekov I.V., Britvin S.N., Agakhanov A.A., Vigasina M.F., Sidorov E.G. Elasmochloite,  $\text{Na}_3\text{Cu}_6\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5$ , a new fumarolic mineral from the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia // *European Journal of Mineralogy*. 2019. V. 31. № 5/6. P. 1025–1032.
- 9 Pekov I.V., Shchipalkina N.V., Zubkova N.V., Gurzhiy V.V., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Chukanov N.V., Lykova I.S., Vigasina M.F., Koshlyakova N.N., Sidorov E.G., Giester G. Alkali sulfates with a phthalite-like structures from fumaroles of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. I. Metathenardite, a natural high-temperature modification of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  // *Canadian Mineralogist*. 2019. V. 57. Iss. 6. P. 885–901.

- 10 Pekov I.V., Lykova I.S., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Britvin S.N., Turchkova A.G., Sidorov E.G., Scheidl K.S. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. XII. Zubkovaite,  $\text{Ca}_3\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_4$  // Mineralogical Magazine. 2019. V. 83. Iss. 6. P. 879–886.
- 11 Okrugin V.M., Kudaeva S.S., Karimova O.V., Yakubovich O.V., Belakovskiy D.I., Chukanov N.V., Zolotarev A.A., Gurzhiy V.V., Zinovieva N.G., Shiryayev A.A. The new mineral novograbenovite,  $(\text{NH}_4, \text{K})\text{MgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  from the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia: mineral description and crystal structure // Mineralogical Magazine. 2019. V. 83. Iss. 2. P. 223–231.
- 12 Siidra O.I., Nazarchuk E.V., Agakhanov A.A., Polekhovskiy Y.S. Aleutite  $[\text{Cu}_5\text{O}_2](\text{AsO}_4)(\text{VO}_4) \cdot (\text{Cu}_{0.5} \square_{0.5})\text{Cl}$ , a new complex salt-inclusion mineral with  $\text{Cu}^{2+}$  substructure derived from a Kagome-net // Mineralogical Magazine. 2019. V. 83. Iss. 6. P. 847–853.
- 13 Kriulina G.Yu., Iskrina A.V., Zedgenizov D.A., Bobrov A.V., Garanin V.K. The Compositional Peculiarities of Microinclusions in Diamonds from the Lomonosov Deposit (Arkhangelsk Province) // Geochemistry International. 2019. V. 57. Iss. 9. P. 973–980.
- 14 Kriulina G.Yu., Vasiliev E.A., Garanin V.K. Structural and Mineralogical Features of Diamonds from the Lomonosov Deposit (Arkhangelsk Province): New Data and Interpretation // Doklady Earth Sciences. V. 486. № 2. P. 627–629.
- 15 Касаткин А.В., Шкода Р., Нестола Ф., Кузнецов А.М., Белогуб Е.В., Агаханов А.А. Рентгенит-(Се) и другие фторкарбонаты РЗЭ из жилы № 35, Вишневые горы, Южный Урал // Минералогия. 2019. Т. 5. Вып. 2. С. 10–22.
- 16 Касаткин А.В., Бритвин С.Н., Чуканов Н.В., Шкода Р., Агаханов А.А., Белаковский Д.И. Белогубит – новый минерал группы халькантита из Гайского месторождения, Южный Урал, Россия // ЗРМО. 2019. Т. 148. №3. С. 30–43.
- 17 Kasatkin A.V., Makovicky E., Plasil J., Škoda R., Chukanov N.V., Stepanov S.Y., Agakhanov A.A., Nestola F. Gladkovskyite,  $\text{MnTlAs}_3\text{S}_6$ , a new thallium sulfosalt from the Vorontsovskoe gold deposit, Northern Urals, Russia // Journal of Geosciences. 2019. Vol. 64. P. 207–218.
- 18 Герасимов В.Ю. Особенности Ar-Ar метода изотопного датирования калиевых минералов в прозрачных шлифах, с использованием импульсного лазера // Межвузовский научный конгресс «Высшая школа: научные исследования». М.: Инфинити, 2019. С. 113–123.
- 19 Stifeeva M.V., Salnikova E.B., Samsonov A.V., Kotov A.B., Gritsenko Y.D. Garnet U-Pb Age of Skarns from Dashkesan Deposit (Lesser Caucasus) // Doklady Earth Sciences. 2019. V. 487. № 2. P. 953–956.

- 20 Hawthorne F.C., Sokolova E., Agakhanov A.A., Pautov L.A., Karpenko V.Y. The crystal structure of Polyolithionite-1M from Darai-Pioz, Tajikistan: the role of short-range order in driving symmetry reduction in 1m Li-rich mica // *Canadian Mineralogist*. 2019. V. 57. Iss. 4. P. 519–528.
- 21 Pautov L.A., Agakhanov A.A., Karpenko V.Y., Uvarova Y.A., Sokolova E., Hawthorne F.C. Rinkite-(Y),  $\text{Na}_2\text{Ca}_4\text{YTi}(\text{Si}_2\text{O}_7)(2)\text{OF}_3$ , a seidozerite-supergroup TS-block mineral from the Darai-Pioz alkaline massif, Tien-Shan mountains, Tajikistan: Description and crystal structure // *Mineralogical Magazine*. 2019. V. 83. Iss. 3. P. 373–380.
- 22 Пеков И.В., Агаханов А.А., Зубкова Н.В., Щипалкина Н.В., Кошлякова Н.Н., Сандалов Ф.Д., Япаскурт В.О., Турчкова А.Г., Сидоров Е.Г. Фумарольные поля вулкана Толбачик на Камчатке – минералогический объект мирового значения // *Минералогические музеи – 2019. Минералогия вчера, сегодня, завтра*. СПб., СПбГУ, 2019. С. 145–146.
- 23 Ермаков Н.П. Пасруд-Ягнобское месторождение углей и горящие копи г. Кан-Таг // *К геологии каменноугольных месторождений Таджикистана / Под ред. А.Р. Бурачека и П.П. Чуенко. Материалы Таджикско-Памирской экспедиции 1933 г. 1935. Вып. XII*. Л.: Химтеорет. С. 47–66.
- 24 Охунов Р.В., Ёров З.Ё., Негматов И.И. Атлас-справочник угольного месторождения Фон-Ягноб. Душанбе. 2017. 170 с.
- 25 Новиков В.П., Супрычев В.В. Условия современного минералообразования в процессе подземного горения углей на Фан-Ягнобском месторождении // *Минералогия Таджикистана*. 1986. № 7. С. 91–104.
- 26 Новиков В.П., Супрычев В.В., Бабаев М.А. Нашатырь из возгонов подземного пожара на Раватском угольном месторождении (Центральный Таджикистан) // *Доклады АН Таджикской ССР*. 1979. Т. 22. № 11. С. 687–690.
- 27 Белаковский Д.И., Новиков В.П., Паутов Л.А., Супрычев В.В. Первая находка летовицита на территории СССР (Центральный Таджикистан) // *Доклады Академии наук Таджикской ССР*. 1988. Т. 31. № 9. С. 603–606.
- 28 Мираков М.А., Файзиев А.Р., Паутов Л.А. Самородный селен в продуктах подземного пожара Фан-Ягнобского угольного месторождения (Центральный Таджикистан) // *Доклады Академии наук Республики Таджикистан*. 2017. Т. 60. №. 9. С. 456–460.
- 29 Belakovski D.I. Die Mineralien der brennenden Kohleflöze von Ravat in Tadshikistan // *Lapis*. 1990. B. 15 (12). S. 21–26 (на нем. яз.).
- 30 Nasdala L., Pekov I.V. Ravatite,  $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ , a new organic mineral species from Ravat, Tadzhikistan // *Europ. Journ. Mineral*. 1993. Vol. 5. P. 699–705.

- 31 Pautov L.A., Mirakov M.A., Siidra O.I., Nazarchuk E.V., Faiziev A.R., Karpenko V.Y. Falgarite, IMA 2018-069. CNMNC Newsletter No. 45, October 2018, page 1042 // *European Journal of Mineralogy*. 2018. Vol. 30. P. 1037–1043.
- 32 Сокол Э.В., Максимова Н.В., Нигматулина Е.Н., Шарыгин В.В., Калугин В.М. Пирогенный метаморфизм. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 307 с.
- 33 Шарыгин В.В., Сокол Э.В., Белаковский Д.И. Фаялит-секанинаитовые паралавы Раватского угольного пожара (Центральный Таджикистан) // *Геология и геофизика*. 2009. Т. 50. №. 8. С. 910–932.
- 34 Fulignati P., Sbrana A. Presence of native gold and tellurium in the active high-sulfidation hydrothermal system of the La Fossa volcano (Vulcano, Italy) // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1998. 86 (1/4). P. 187–198.
- 35 Africano F., Bernard A. Acid alteration in the fumarolic environment of Usu volcano, Hokkaido, Japan // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2000. Vol. 97 (1/4). P. 475–495.
- 36 Главатских С.Ф., Трубкин Н.В. Самородный теллур и никель из высокотемпературных газовых возгонов Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // *Доклады Академии наук*. 2003. Т. 389. №. 2. С. 231–234.
- 37 Паутов Л.А., Мираков М.А., Махмадшариф С., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р. Находка самородного теллура в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Таджикистан) // *Новые данные о минералах*. 2019. Вып. 4. С. 95–99.
- 38 Krivovichev S.V., Vergasova L.P., Britvin S.N., Filatov S.K., Kahlenberg V., Ananiev V.V. Pauflerite,  $\beta$ -VO (SO<sub>4</sub>), a new mineral species from the Tolbachik Volcano, Kamchatka Peninsula, Russia // *Can. Mineral*. 2007. Vol. 45. № 4. P. 921–927.
- 39 Nadeau O., Cayer A., Pelletier M., Stevenson R., Jébrak M. The Paleoproterozoic Montviel carbonatite-hosted REE–Nb deposit, Abitibi, Canada: Geology, mineralogy, geochemistry and genesis // *Ore Geology Reviews*. 2015. Vol. 67. P. 314–335.
- 40 Ostrooumov M., Taran Y. Discovery of native vanadium, a new mineral from the Colima Volcano, state of Colima (Mexico) // *Macla, Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*. 2015. № 20. P. 109–110.
- 41 Bindi L., Pratesi G., Muniz-Miranda M., Zoppi M., Chelazzi L., Lepore G. O., Menchetti S. From ancient pigments to modern optoelectronic applications of arsenic sulfides: bonazziite, the natural analogue of  $\beta$ -As<sub>4</sub>S<sub>4</sub> from Khaidarkan deposit, Kyrgyzstan // *Mineralogical Magazine*. 2015. Vol. 79 (1). P. 121–131.
- 42 Мираков М.А., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р., Махмадшариф С. Пауфлерит  $\beta$ -VO(SO<sub>4</sub>) 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.
- 43 Гаранин В.К., Бовкун А.В., Гаранин К.В., Ротман А.Я., Серов И.В. Микрористаллические оксиды из кимберлитов России. – М.: ГЕОС, 2009. – 498 с.
- 44 Криулина Г.Ю. Конституционные характеристики алмаза из месторождений Архангельской и Якутской алмазоносных провинций. Автореферат на соискание ученой степени к.г.-м.н., 2012.
- 45 Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) /Под ред. О.А. Богатикова, М.: МГУ, 1999. – 524 с.
- 46 Третьяченко В.В. Минерагеническое районирование кимберлитовой области Юго-Восточного Беломорья. Автореферат дис. к. г.-м. н., Москва, 2008. – 28 с.
- 47 Васильев Е.А. Планарные оптически-активные центры алмазов как индикаторы условий алмазообразования. Автореф. дисс... канд. геол.-мин. наук. Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова. СПб., 2007. – 21 с.
- 48 Криулина Г.Ю., Гаранин В.К., Самосоров Г.Г. Прогнозирование качества алмазного сырья в месторождениях различных петрохимических типов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2013. №6. С. 25–32.
- 49 Карпенко В.Ю., Паутов Л.А., Шодибеков М., Мираков М.М. Находка кокониноита на рудопроявлении Зор-Ярчи-Чак, В. Памир // Новые данные о минералах. 2019. Т. 53 (4). С. 123–128.
- 50 Белова Л.Н., Горшков А.И., Дойникова О.А., Мохов А.В., Трубкин Н.В., Сивцов А.В. Новые данные о кокониноите // Докл. АН СССР. 1993. Т. 329 (6). С. 772–775.
- 51 Young, E.J., Weeks A.D., Meyrowitz R. Coconinoite, a new uranium mineral from Utah and Arizona // Amer. Mineral. 1996. Vol. 51. P. 651–663.
- 52 Кораваев Ф. Кыштым-паризит, новый минерал // Горный журнал. 1861. Т. 4. Кн. 12. С. 445–454.
- 53 Зильберминц В.А. Редкоземельные минералы Кыштымской дачи // Тр. ИПМ. 1930. Вып. 44. С. 82.
- 54 Свяжин Н. В. Коренные месторождения редкометалльных и редкоземельных минералов Мочалина лога // Тр. Свердловского горн. ин-та. 1956. Вып. 28.
- 55 Пеков И.В., Алимова А.Н., Кононкова Н.Н., Канонеров А.А. К минералогии Мочалина лога на Южном Урале 1. Минералы семейства бастнезита: история изучения и новые данные // Урал. геол. журнал. 2002. № 4 (28).
- 56 Gevedon M., Seman S., Barnes J. D., Lackey J. S., Stockli D. F. // Earth and Planet. Sci. Lett. 2018. V. 498. P. 237–246.
- 57 Wafforn S., Seman S., Kyle J. R., Stockli D., Leys C., Sonbait D., Cloos M. // Econ. Geol. 2018. V. 113. № 3. P. 769–778.

- 58 Сальникова Е. Б., Стифеева М. В., Шахмурадян А. Р., Глебовицкий В. А., Регир Е. П. // ДАН. 2018. Т. 478. № 4. С. 443–446.
- 59 Керимов Р. Б., Ахмедова Т. Г. Тез. докл. IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика». Петропавловск-Камчатский, 2009.
- 60 Шенгелиа Д.М., Кориковский С.П. и др. Петрология метаморфических комплексов Большого Кавказа. М.: Наука, 1991. – 232 с.
- 61 Phillipot P., Perchuk A.L., Blichert-Toft J., Costa S., Gerasimov V.Yu., Lu-Hf and Ar-Ar geochronology confirms extreme rate of subduction zone metamorphism deduced from geospeedometry // ELSEVIER, Tectonophysics. 2001. 342. P. 23–38.
- 62 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. (ISBN 978-5-88919-048-7).
- 63 Варламов Д.А., Ермолаева В.Н., Чуканов Н.В., Янчев С., Вигасина М.Ф., Плечов П.Ю. Новое в минералогии надгруппы эпидота: необычные химические составы, типохимизм, КР-спектроскопия // ЗРМО. 2019. Т. 148. Вып. 1. С. 79–99.
- 64 Chukanov N.V. Infrared spectra of mineral species, Extended Library, Vol. 1 // Springer, Dordrecht. 2014. P. 1–1726.
- 65 Wiedenmann D., Zaitsev A.N., Britvin S.N., Krivovichev S.V., Kelle, J. Alumoakermanite, (Ca,Na)<sub>2</sub>(Al,Mg,Fe<sup>2+</sup>)(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), a new mineral from the active carbonatite-nephelinite-phonolite volcano Oldoinyo Lengai, Northern Tanzania // Mineralogical Magazine. 2009. Vol. 73. №3. P. 373–384.
- 66 Ogorodova L.P., Gritsenko Y.D., Vigasina M.F., Bychkov A.Y., Ksenofontov D.A., Melchakova L.V. Thermodynamic Properties of Montecellite // Geochemistry International. 2019. V. 53 (12). P. 1343–1348.
- 67 Прокофьев В.Ю., Наумов В.Б., Романько А.Е., Балашова А.Л., Плечов П.Ю., Имамвердиев Н.А. Низкотемпературные расплавы вулкана Базман, Иран // Доклады Академии наук. 2019. Т.485. № 5. С. 614–618.
- 68 Popov D.V., Brovchenko V.D., Nekrylov N.A., Plechov P.Y., Spikings R.A., Tyutyunnik O.A., Krigman L.V., Anosova M.O., Kostitsyn Y.A., Soloviev A.V. Removing a mask of alteration: Geochemistry and age of the Karadag volcanic sequence in SE Crimea // Lithos. 2019. V. 324. P. 371–384.
- 69 Tobelko D.P., Portnyagin M.V., Krashenninikov S.P., Grib E.N., Plechov P.Y. Compositions and Formation Conditions of Primitive Magmas of the Karymsky Volcanic Center, Kamchatka: Evidence from Melt Inclusions and Trace-Element Thermobarometry // Petrology. 2019. V. 27. Iss. 3. P. 243–264.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Список публикаций по теме

1. Бритвин С.Н., Пеков И.В., Кржижановская М.Г., Агаханов А.А., Тернес Б., Шюллер В., Чуканов Н.В. Самарскит-(Y), YFe<sub>3</sub>+Nb<sub>2</sub>O<sub>8</sub>: история, минералогия и кристаллохимия ниобата со структурой двойного вольфрамита // Минералогические музеи – 2019. Минералогия вчера, сегодня, завтра. СПб.: СПбГУ, 2019. С. 65–66.
2. Варламов Д.А., Ермолаева В.Н., Чуканов Н.В., Янчев С., Вигасина М.Ф., Плечов П.Ю. Новое в минералогии надгруппы эпидота: необычные химические составы, типохимизм, КР-спектроскопия // ЗРМО. 2019. Т. 148. Вып. 1. С. 79–99.
3. Герасимов В.Ю. Особенности Ag-Ag метода изотопного датирования калиевых минералов в прозрачных шлифах, с использованием импульсного лазера // Межвузовский научный конгресс «Высшая школа: научные исследования». М.: Инфинити, 2019. С. 113–123.
4. Карпенко В.Ю., Паутов Л.А., Шодибеков М., Мираков М.М. Находка кокониноита на рудопроявлении Зор-Ярчи-Чак, В. Памир // Новые данные о минералах. 2019. Т. 53 (4). С. 123–128.
5. Касаткин А.В., Бритвин С.Н., Чуканов Н.В., Шкода Р., Агаханов А.А., Белаковский Д.И. Белогубит – новый минерал группы халькантита из Гайского месторождения, Южный Урал, Россия // ЗРМО. 2019. Т. 148. Вып. 3. С. 30–43.
6. Касаткин А.В., Шкода Р. Находка киркиита на Березовском золоторудном месторождении (Средний Урал) // Новые данные о минералах. 2019. Т. 53 (3). С. 80–85.
7. Касаткин А.В., Шкода Р., Кузнецов А.М. Алланит-(Nd) из Сапфириновой копи, Южный Урал: первая находка в России // Минералогия. 2019. №1. С. 15–23.
8. Касаткин А.В., Шкода Р., Нестола Ф., Кузнецов А.М., Белогуб Е.В., Агаханов А.А. Рентгенит-(Ce) и другие фторкарбонаты РЗЭ из жилы № 35, Вишневые горы, Южный Урал // Минералогия. 2019. Т. 5. Вып. 2. С. 10–22.
9. Мираков М.А., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р., Махмадшариф С. Пауфлерит β-VO(SO<sub>4</sub>) 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.
10. Паутов Л.А., Мираков М.А., Махмадшариф С., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р. Находка самородного теллура в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-

- Малик на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2019. Вып. 4. С. 95–99.
11. Пеков И.В., Аникин Л.П., Чуканов Н.В., Белаковский Д.И., Япаскурт В.О., Сидоров Е.Г., Бритвин С.Н., Зубкова Н.В. Дельталюмит – новая природная модификация глинозема со шпинелеподобной структурой // ЗРМО. 2019. Т. 148. Вып. 5. С. 45–58.
  12. Плечов П.Ю., Белаковский Д.И., Паутов Л.А., Пеков И.В., Касаткин А.В., Агаханов А.А., Моисеев М.М., Карпенко В.Ю., Некрылов Н.А., Гриценко Ю.Д., Гаранин В.К. Разнообразие минералов и их парагенезисов: научные результаты Минералогического музея им. А.Е. Фермана РАН в 2018 году // НДМ. 2019. Т. 53 (2). С. 35–56.
  13. Попова В.И., Попов В.А., Блинов И.А., Касаткин А.В., Кузнецов А.М. Минералы группы эшинита из Вишнёвых гор (Южный Урал) // Минералогия. 2019. №3. С. 28–37.
  14. Попова В.И., Попов В.А., Блинов И.А., Котляров В.А., Касаткин А.В., Шкода Р., Лебедева С.М. Новые находки редких минералов в пегматитах Вишнёвых гор на Южном Урале // Минералогия. 2019. №1. С. 3–14.
  15. Прокофьев В.Ю., Наумов В.Б., Романько А.Е., Балашова А.Л., Плечов П.Ю., Имамвердиев Н.А. Низкотемпературные расплавы вулкана Базман, Иран // Доклады Академии наук. 2019. Т.485. № 5. С. 614–618.
  16. Щипалкина Н.В., Пеков И.В., Ксенофонов Д.А., Чуканов Н.В., Белаковский Д.И., Кошлякова Н.Н. Дальнегорскит  $\text{Ca}_5\text{Mn}(\text{Si}_3\text{O}_9)_2$  – новый пироксеноид со структурой бустамита, породообразующий минерал известковых скарнов Дальнегорского боросиликатного месторождения (Приморский край, Россия) // ЗРМО. 2019. Т. 148. Вып. 2. С. 61–75.
  17. Agakhanov A.A., Pautov L.A., Kasatkin A.V., Karpenko V.Y., Sokolova E., Day M.C., Hawthorne F.C., Muftakhov V.A., Pekov I.V., Cámara F., Britvin S.N. Fluorapophyllite-(Cs),  $\text{CsCa}_4(\text{Si}_8\text{O}_{20})\text{F}(\text{H}_2\text{O})_8$ , a new apophyllite-group mineral from the Darai-Pioz massif, Tien-Shan, Northern Tajikistan // Canadian Mineralogist. 2019. V. 57. Iss. 6. P. 965–971.
  18. Belakovskiy D.I., Cámara F., Uvarova Y. New Mineral Names // American Mineralogist. 2019. V. 104. Iss. 9. P. 1360–1364.
  19. Britvin S.N., Pekov I.V., Krzhizhanovskaya M.G., Agakhanov A.A., Ternes B., Schuller W., Chukanov N.V. Redefinition and crystal chemistry of samarskite-(Y),  $\text{YFe}_3+\text{Nb}_2\text{O}_8$ :

- cation-ordered niobate structurally related to layered double tungstates // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2019. V. 46. Iss. 7. P. 727–741.
20. Brovchenko V.D., Popov D.V., Nekrylov N., Shkurski B.B., Plechov P.Y. The Nature of the Protolith of the QuartzCarbonateDickite Metasomatites from the Bodrak and Alma Rivers Watershed and from the Trudolyubovka Area (Southwestern Crimea) // *Moscow University Geology Bulletin*. V. 74. Iss. 1. P. 44–49.
  21. Chukanov N.V., Aksenov S.M., Kasatkin A.V., Skoda R., Nestola F., Nodari L., Ryanskaya A.D., Rastsvetaeva R.K. 3T polytype of an iron-rich oxyphlogopite from the Bartoy volcanic field, Transbaikalia: Mossbauer, infrared, Raman spectroscopy, and crystal structure // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2019. V. 46. Iss. 10. P. 899–908.
  22. Chukanov N.V., Panikorovskii T.L., Goncharov A.G., Pekov I.V., Belakovskiy D.I., Britvin S.N., Mockel S., Vozchikova S.A. Milanriederite,  $(Ca,REE)(19)Fe_3+Al_4(Mg,Al,Fe^{3+})(8)Si_{18}O_{68}(OH,O)_{(10)}$ , a new vesuvianite-group mineral from the Kombat Mine, Namibia // *European Journal of Mineralogy*. 2019. V. 31. № 3. P. 637–646.
  23. Chukanov N.V., Pekov I.V., Sejkora J., Plasil J., Belakovskiy D.I., Britvin S.N. Ferrierite- $NH_4$ ,  $(NH_4,Mg_{0.5})_5(Al_5Si_{31}O_{72})_{22}H_2O$ , a new zeolite from Northern Bohemia, Czech Republic // *Canadian Mineralogist*. 2019. V. 57. Iss. 1. P. 81–90.
  24. Chukanov N.V., Zubkova N.V., Blass G., Pekov I.V., Varlamov D.A., Belakovskiy D.I., Ksenofontov D.A., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Y. Kruijenite,  $Ca_4Al_4(SO_4)F_2(OH)_{(16)} \cdot 2H_2O$ , a new mineral with microporous structure from the Eifel paleovolcanic region, Germany // *Mineralogy and Petrology*. 2019. V. 113. Iss. 2. P. 229–236.
  25. Chukanov N.V., Zubkova N.V., Pautov L.A., Gottlicher J., Kasatkin A.V., Van K.V., Ksenofontov D.A., Pekov I.V., Vozchikova S.A., Pushcharovsky D.Y. Jouravskite: refined data on the crystal structure, chemical composition and spectroscopic properties // *Physics and Chemistry of Minerals*. 2019. V. 46. Iss. 4. P. 417–425.
  26. Filina M.I., Aksenov S.M., Sorokhtina N.V., Chukanov N.V., Kononkova N.N., Belakovskiy D.I., Britvin S.N., Kogarko L.N., Chervonnyi A.D., Rastsvetaeva R.K. The new mineral fluorbarytolamprophyllite,  $(Ba,Sr,K)_2[(Na,Fe^{2+})_3TiF_2][Ti_2(Si_2O_7)_2O_2]$  and chemical evolution of lamprophyllite-group minerals in agpaitic syenites of the Kola Peninsula // *Mineralogy and Petrology*. 2019. V. 113. Iss. 4. P. 533–553.
  27. Gerasimova E.I., Prokofiev V.Y., Smirnov S.Z., Kovalskaya T.N. High-Temperature Beryl from Vugless Granite Pegmatites of the Suprunovskoye Deposit, Irkutsk Oblast, Russia // *Geochemistry International*. 2019. V. 57. Iss. 7. P. 829–834.

28. Gorelova L.A., Pakhomova A.S., Krivovichev S.V., Dubrovinsky L.S., Kasatkin A.V. High pressure phase transitions of paracelsian BaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> // *Scientific Reports*. V. 9. № 12652. P. 1–11.
29. Gurzhiy V.V., Kuporev I.V., Kovrugin V.M., Murashko M.N., Kasatkin A.V., Plášil, J. Crystal Chemistry and Structural Complexity of Natural and Synthetic Uranyl Selenites // *Crystals*. 2019. V. 9. Iss. 12. № 639.
30. Hawthorne F.C., Sokolova E., Agakhanov A.A., Pautov L.A., Karpenko V.Y. The crystal structure of Polyolithionite-1M from Darai-Pioz, Tajikistan: the role of short-range order in driving symmetry reduction in 1m Li-rich mica // *Canadian Mineralogist*. 2019. V. 57. Iss. 4. P. 519–528.
31. Kampf A.R., Alves P., Kasatkin A., Skoda R. Jahnsite-(MnMnZn), a new jahnsite-group mineral, and formal approval of the jahnsite group // *European Journal of Mineralogy*. 2019. V. 31. № 1. P. 167–172.
32. Kampf A.R., Plasil J., Kasatkin A.V., Nash B.P., Marty J. Magnesioleydetite and straßmannite, two new uranyl sulfate minerals with sheet structures from Red Canyon, Utah // *Mineralogical Magazine*. 2019. V. 83. Iss. 3. P. 349–360.
33. Kasatkin A.V., Camara F., Chukanov N.V., Skoda R., Nestola F., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Lednyov V.S. Patynite, NaKCa<sub>4</sub>[Si<sub>9</sub>O<sub>23</sub>], a New Mineral from the Patynskiy Massif, Southern Siberia, Russia // *Minerals*. V. 9. Iss. 10. № 611. P. 1–19.
34. Kasatkin A., Makovicky E., Plasil J., Skoda R., Chukanov N.V., Stepanov S.Y., Agakhanov A.A., Nestola F. Gladkovskyite, MnTlAs<sub>3</sub>S<sub>6</sub>, a new thallium sulfosalt from the Vorontsovskoe gold deposit, Northern Urals, Russia // *Journal of Geosciences*. 2019. V. 64. Iss. 3. P. 207–218.
35. Kriulina G.Yu., Iskrina A.V., Zedgenizov D.A., Bobrov A.V., Garanin V.K. The Compositional Peculiarities of Microinclusions in Diamonds from the Lomonosov Deposit (Arkhangelsk Province) // *Geochemistry International*. 2019. V. 57. Iss. 9. P. 973–980.
36. Krivovichev S.V., Panikorovskii T.L., Zolotarev A.A., Bocharov V.N., Kasatkin A.V., Skoda R. Jahn-Teller Distortion and Cation Ordering: The Crystal Structure of Paratooite-(La), a Superstructure of Carbocearnaite // *Minerals*. 2019. V. 9. Iss. 6. № 370. P. 1–11.
37. Kriulina G.Yu., Vasiliev E.A., Garanin V.K. Structural and Mineralogical Features of Diamonds from the Lomonosov Deposit (Arkhangelsk Province): New Data and Interpretation // *Doklady Earth Sciences*. V. 486. № 2. P. 627–629.
38. Ogorodova L.P., Gritsenko Y.D., Vigasina M.F., Bychkov A.Y., Ksenofontov D.A., Melchakova L.V. Thermodynamic Properties of Montecellite // *Geochemistry International*. 2019. V. 53. Iss. 12. P. 1343–1348.

39. Okrugin V.M., Kudaeva S.S., Karimova O.V., Yakubovich O.V., Belakovskiy D.I., Chukanov N.V., Zolotarev A.A., Gurzhiy V.V., Zinovieva N.G., Shiryaev A.A. The new mineral novograbenovite,  $(\text{NH}_4, \text{K})\text{MgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  from the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia: mineral description and crystal structure // *Mineralogical Magazine*. 2019. V. 83. Iss. 2. P. 223–231.
40. Pautov L.A., Agakhanov A.A., Karpenko V.Y., Uvarova Y.A., Sokolova E., Hawthorne F.C. Rinkite-(Y),  $\text{Na}_2\text{Ca}_4\text{YTi}(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{OF}_3$ , a seidozerite-supergroup TS-block mineral from the Darai-Pioz alkaline massif, Tien-Shan mountains, Tajikistan: Description and crystal structure // *Mineralogical Magazine*. 2019. V. 83. Iss. 3. P. 373–380.
41. Pekov I.V., Britvin S.N., Agakhanov A.A., Vigasina M.F., Sidorov E.G. Elasmochloite,  $\text{Na}_3\text{Cu}_6\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5$ , a new fumarolic mineral from the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia // *European Journal of Mineralogy*. 2019. V. 31. № 5/6. P. 1025–1032.
42. Pekov I.V., Kovrugin V.M., Siidra O.I., Chukanov N.V., Belakovskiy D.I., Koshlyakova N.N., Yapaskurt V.O., Turchkova A.G., Möhn G. Antofagastaite,  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral related to syngenite // *Mineralogical Magazine*. V. 83. Iss. 6. P. 781–790.
43. Pekov I.V., Lykova I.S., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Britvin S.N., Turchkova A.G., Sidorov E.G., Scheidl K.S. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. XII. Zubkovaite,  $\text{Ca}_3\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_4$  // *Mineralogical Magazine*. 2019. V. 83. Iss. 6. P. 879–886.
44. Pekov I.V., Lykova I.S., Yapaskurt V.O., Belakovskiy D.I., Turchkova A.G., Britvin S.N., Sidorov E.G., Scheidl K.S. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. XI. Anatolyite,  $\text{Na}_6(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_3\text{Al}(\text{AsO}_4)$ . *Mineralogical Magazine*. 2019. V. 83 (5). P. 633–638.
45. Pekov I.V., Shchipalkina N.V., Zubkova N.V., Gurzhiy V.V., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Chukanov N.V., Lykova I.S., Vigasina M.F., Koshlyakova N.N., Sidorov E.G., Giester G. Alkali sulfates with apthitalite-like structures from fumaroles of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. I. Metathenardite, a natural high-temperature modification of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  // *Canadian Mineralogist*. 2019. V. 57. Iss. 6. P. 885–901.
46. Pekov I.V., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Yapaskurt V.O., Sidorov E.G., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. IX. Arsenatotitanite,  $\text{NaTiO}(\text{AsO}_4)$  // *Mineralogical Magazine*. 2019. V. 83. Iss. 3. P. 435–458.
47. Pekov I.V., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Ksenofontov D.A., Pautov L.A., Sidorov E.G., Britvin S.N., Vigasina M.F., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the

- Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. X. Edtollite,  $K_2NaCu_5Fe_3+O_2(AsO_4)_4$ , and alumoedtollite,  $K_2NaCu_5AlO_2(AsO_4)_4$  // Mineralogical Magazine. 2019. V. 83. Iss. 4. P. 485–495.
48. Pekov I.V., Zubkova N.V., Chukanov N.V., Yapaskurt V.O., Britvin S.N., Kasatkin A.V., Pushcharovsky D.Y. Oyelite: new mineralogical data, crystal structure model and refined formula  $Ca_5BSi_4O_{13}(OH)_3 \cdot 4H_2O$  // European Journal of Mineralogy. 2019. V. 31. № 3. P. 595–608.
49. Pekov I.V., Zubkova N.V., Yapaskurt V.O., Belakovskiy D.I., Lykova I.S., Britvin S.N., Turchkova A.G., Pushcharovsky D.Y. Kamenevite,  $K_2TiSi_3O_9 \cdot H_2O$ , a new mineral with microporous titanosilicate framework from the Khibiny alkaline complex, Kola peninsula, Russia // European Journal of Mineralogy. 2019. V. 31. № 3. P. 557–564.
50. Pekov I.V., Zubkova N.V., Yapaskurt V.O., Lykova I.S., Chukanov N.V., Belakovskiy D.I., Britvin S.N., Turchkova A.G., Pushcharovsky D.Y. Alexkhomyakovite,  $K_6(Ca_2Na)(CO_3)_5Cl \cdot 6H_2O$ , a new mineral from the Khibiny alkaline complex, Kola peninsula, Russia // European Journal of Mineralogy. 2019. V. 31. № 1. P. 135–143.
51. Popov D.V., Brovchenko V.D., Nekrylov N.A., Plechov P.Y., Spikings R.A., Tyutyunnik O.A., Krigman L.V., Anosova M.O., Kostitsyn Y.A., Soloviev A.V. Removing a mask of alteration: Geochemistry and age of the Karadag volcanic sequence in SE Crimea // Lithos. 2019. V. 324. P. 371–384.
52. Sharygin V.V., Yakovlev G.A., Wirth R., Seryotkin Y.V., Sokol E.V., Nigmatulina E.N., Karmanov N.S., Pautov L.A. (2). Nataliakulikite,  $Ca_4Ti_2(Fe_3+,Fe_2+)(Si,Fe_3+,Al)O_{11}$ , a New Perovskite-Supergroup Mineral from Hatrurim Basin, Negev Desert, Israel // Minerals. 2019. V. 9. Iss. 11. № 700. P. 1–26.
53. Shukshin V.E., Fedorov P.P., Generalov M.E. Low-Frequency Raman Lines as an Indicator of the Presence of Lead in Oxide Materials // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2019. V. 64. Iss. 11. P. 1442–1445.
54. Siidra O.I., Nazarchuk E.V., Agakhanov A.A., Polekhovskiy Y.S. Aleutite  $[Cu_5O_2](AsO_4)(VO_4) \cdot (Cu_{0.5} \square_{0.5})Cl$ , a new complex salt-inclusion mineral with  $Cu^{2+}$  substructure derived from a Kagome-net // Mineralogical Magazine. 2019. V. 83. Iss. 6. P. 847–853.
55. Sokolova E., Day M.C., Hawthorne F.C., Kasatkin A.V., Downs R.T., Horvath L., Pfenninger-Horvath E. Laverovite,  $K_2NaMn_7Zr_2(Si_4O_{12})(_2)O \cdot 2(OH)_4F$ , a new Astrophyllite-super-group mineral from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada // Canadian Mineralogist. 2019. V. 57. Iss. 2. P. 201–213.

56. Stifeeva M.V., Salnikova E.B., Samsonov A.V., Kotov A.B., Gritsenko Y.D. Garnet U-Pb Age of Skarns from Dashkesan Deposit (Lesser Caucasus) // *Doklady Earth Sciences*. 2019. V. 487. № 2. P. 953–956.
57. Tobelko D.P., Portnyagin M.V., Krashennnikov S.P., Grib E.N., Plechov P.Y. Compositions and Formation Conditions of Primitive Magmas of the Karymsky Volcanic Center, Kamchatka: Evidence from Melt Inclusions and Trace-Element Thermobarometry // *Petrology*. 2019. V. 27. Iss. 3. P. 243–264.
58. Zhitova E.S., Pekov I.V., Chaikovskiy I.I., Chirkova E.P., Yapaskurt V.O., Bychkova Y.V., Belakovskiy D.I., Chukanov N.V., Zubkova N.V., Krivovichev S.V., Bocharov V.N. Dritsite,  $\text{Li}_2\text{Al}_4(\text{OH})(12)\text{Cl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , a New Gibbsite-Based Hydrotalcite Supergroup Mineral // *Minerals*. 2019. V. 9. Iss. 8. № 492. P. 1–15.