

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

«18» декабря 2018 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







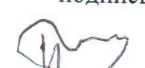

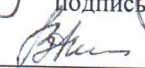

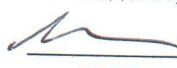
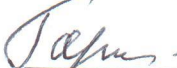
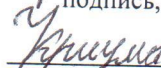
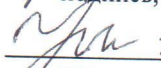
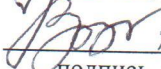
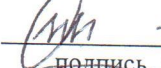

18.12.2018

подпись, дата

П.Ю. Плечов

Москва 2018

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

<p>Руководитель темы д.г.-м.н., профессор РАН</p>	  <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>П.Ю. Плечов (разделы 6, 10, заключение)</p>
Исполнители темы		
<p>Зам. директора к.г.-м.н</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>А.А. Агаханов (разделы 1, 2, 5–7, 8)</p>
<p>Зав. сектором ст. н.сотр.</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>Д.И. Белаковский (разделы 1, 2, 7)</p>
<p>Зав. сектором ст. н.сотр.</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>Л.А. Паутов (разделы 1–3, 5–7)</p>
<p>Зам. директора к.г.-м.н.</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>В.Ю. Карпенко (разделы 1–3, 5–7, 8)</p>
<p>Вед. науч. сотр. д.г.-м.н., член-корр. РАН</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>И.В. Пеков (разделы 1, 2, 7)</p>
<p>Вед. специалист</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>А.В. Касаткин (разделы 1, 2, 7, 8)</p>
<p>Вед. специалист</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>В.А. Агаханова (разделы 1, 2)</p>
<p>Уч. секретарь к.г.-м.н.</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>Е.Н. Матвиенко (введение, заключение)</p>
<p>Хранитель обм.фонда</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>М.М. Моисеев (разделы 1, 2)</p>
<p>Научн. рук. музея д.г.-м.н., профессор</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>В.К. Гаранин (раздел 4)</p>
<p>Ст. науч. сотр. к.г.-м.н.</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>Г.Ю. Криулина (раздел 4)</p>
<p>Ст. науч. сотр. к.г.-м.н.</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>Ю.Д. Гриценко (раздел 11)</p>
<p>Науч. сотр. к.г.-м.н.</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>В.Ю. Герасимов (раздел 9)</p>
<p>Ст. науч. сотр. к.г.-м.н.</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>И.С. Лыкова (разделы 1, 2)</p>
<p>Науч. сотр. к.г.-м.н.</p>	 <u>18.12.2018</u> подпись, дата	<p>Н.А. Некрылов (раздел 10)</p>

## РЕФЕРАТ

Отчет 85 с., 54 рисунка, 2 таблицы, 50 источников, 1 приложение

### 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 результате 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 **2018 год был открыт 31 новый минерал**, 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 в минералогии и кристаллографии, вклад в понимание процессов минералообразования, а в ряде случаев и глобальных геологических процессов.

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

По результатам работ за год было опубликовано более 50 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	9
1.1 Список новых минералов	9
1.2 Новый минерал из группы берилла	15
1.3 Новый редкоземельный минерал из группы везувиана	16
2 Новые данные по фумарольной минералогии вулкана Большой Толбачик, Камчатка, Россия	16
3 Новые данные по минералогии фумарольных возгонов подземных пожаров Фан-Ягнобского угольного месторождения, Центральный Таджикистан	24
3.1 Новый минерал фальгарит из возгонов подземного пожара в урочище Кухи-Малик	24
3.2 Редкие сульфиды мышьяка из возгонов подземного пожара	25
4 Комплексное изучение минералогии алмаза из месторождения им. М.В. Ломоносова Архангельской алмазоносной провинции	25
5 Новые данные по минералогии Дарай-Пиозского щелочного массива, Таджикистан: кадмиевая минерализация	38
6 Новые данные по минералогии гранитных пегматитов Памира (Таджикистан) и Туркестанского хребта (Киргизия)	40
6.1 Гранитные миароловые пегматиты Восточного и Юго-Западного Памира	40
6.1.1 Скандийсодержащий тусионит и новый минерал бадахшанит-(Y) из пегматитов Кукуртского узла, Восточный Памир	40
6.1.2 Герценбергит из Вез-Дары, Юго-Западный Памир	46
6.1.3 Уранополикраз с Кухилала, Юго-Западный Памир	49
6.2 Новый минерал аковаит из редкометальных пегматитов Карасу-Каравшинского месторождения (Туркестанский хребет, Киргизия)	51
7 Редкоземельная минерализация месторождения Мочалин Лог, Южный Урал, Россия	54
8 Таллиевая минерализация Воронцовского золоторудного месторождения, С. Урал, Россия	56
9 Термохронологическое моделирование геологических процессов в регионе Большого Кавказа: новые данные по цирконометрии палеозойского фундамента Кавказа	57
10 Изучение вариаций состава ряда порообразующих минералов	62
11 Изучение типохимизма оливина магнезиальных скарнов Прибайкалья	68
Заключение	73
Список использованных источников	75
Приложение. Список публикаций по теме	80

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ААП – Архангельская алмазоносная провинция

Влк. – вулкан

М-ние – месторождение

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

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, часто уникальных 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 рудных 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. Задачей сотрудников также является 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; микрозондовое определение состава минералов, исследования методами атомно-адсорбционной спектроскопии и масс-спектрометрии с ИСП, термобарометрии, катодо- и фотолюминесценции, электронного парамагнитного резонанса.

**1 Изучение минерального разнообразия** велось с широким охватом объектов исследования различного генетического типа, материалы из которых составляют огромные и постоянно пополняемые фонды музея. По изучению ряда из них здесь накоплен большой международно признанный научный опыт, в том числе методологический, что стимулирует сотрудничество с российскими и зарубежными учеными и расширяет географию новых минералов, открытых сотрудниками Минмузея РАН и с их участием. За период 2018 года **был открыт и изучен 31 новый**, ранее в природе не известный, **минеральный вид**.

2 Богатейшим источником новых данных о земном веществе, современном минералообразовании, как и новых минералов, является **изучение вулканической и поствулканической деятельности**. Сотрудники музея продолжили свои более чем пятилетние сборы и исследования **в регионе извержений вулкана Большой Толбачик, Камчатка**, пополнившие науку и коллекции музея редкими и новыми минералами. Главным в 2018 году объектом изучения фумарольной минералогии послужила **фумарола Арсенатная 2-го шлакового конуса северного прорыва** влк. Б. Толбачик.

3 Работы на таком классическом источнике новых данных о современном минералообразовании, как **фумаролы подземных пожаров на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Ц. Таджикистан)**, также привели к открытию нового минерала и находке редких и предположительно новых фаз.

4 Работы по алмазной теме музея главным образом были посвящены **комплексному изучению минералогии алмаза из месторождения им. М.В. Ломоносова Архангельской алмазоносной провинции**. Исследовалась взаимосвязь вещественных особенностей основных типов кимберлитовых руд ААП со степенью их алмазоносности и качественными характеристиками алмазов.

5 Ежегодная тема исследований минералогии щелочных пород была сосредоточена в большей степени на таких уникальных объектах, как Хибинский и **Дарай-Пиозский (Таджикистан) щелочной массив**, где впервые для щелочных пород была обнаружена и исследуется **кадмиевая минерализация**.

6 Тематика исследования минералов гранитных пегматитов в отчетном году была продолжена изучением **минералов редкометалльных гранитных пегматитов**, отличающихся разнообразной и во многом уникальной редкометальной минерализацией: миароловых – Кукуртского пегматитового поля (Восточный Памир), Вез-Дары и Кухилала (Юго-Западный Памир), Таджикистан, а также пегматитов Карасу-Каравшинского месторождения Туркестанского хребта (Киргизия) и Мьянмы (Бирмы).

7 На известном находками редкоземельных минералов золотом месторождении Мочалин Лог в Вишневых горах, Южный Урал, была выявлена и изучена **редкая лантановая минерализация**.

8 Исследование еще более редкой **таллиевой минерализации** на Воронцовском золоторудном месторождении, Северный Урал, дополнено новыми данными.

9 Были продолжены работы по **термохронологическому моделированию геологических процессов в регионе Большого Кавказа**, направленные на решение фундаментальных вопросов установления возраста основных геологических событий.

Получены новые важные **данные по цирконометрии** кристаллического фундамента Западного Кавказа.

10 Продолжены обширные систематические работы по изучению **вариаций состава породообразующих минералов в группах оливина, шпинелидов, кремнезема и граната**, а также детальное исследование **зональности ортопироксена** (вулкан Безымянный, Камчатка), позволившие сделать важные выводы о процессах минерало- и породообразования.

11 Исследован **оливин магнезиальных скарнов Прибайкалья** (Тажеранский массив, месторождение Слюдянка и проявление Белая Выемка) и выявлены особенности распределения и количественного содержания в нем элементов-примесей.



## 1 Новые минералы

Одним из важнейших направлений Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана является **изучение минералогического многообразия в земной коре**. За 2018 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) **31 новый минерал**. 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.

### 1.1 Список новых минералов

(утверждены в 2018 либо в конце 2017 г. и не вошли в предыдущий отчет; после названия минерала дан номер сертификата, выданного комиссией КНМНК Международного минералогического общества). Жирным шрифтом **выделены сотрудники Минмузея РАН**.

**1) Khrenovite** Хреновит IMA No. 2017-105.  $\text{Na}_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{AsO}_4)_3$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5028/1.

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

**2) Rhabdobarite-(V)** Рабдоборит-(V) IMA No. 2017-108.  $\text{Mg}_{12}(\text{V}^{5+}, \text{Mo}^{6+}, \text{W}^{6+})_{1.5}\text{O}_6\{[\text{VO}_3]_{6-x}[(\text{P}, \text{As})\text{O}_4]_x\text{F}_{2-x}\}$  with  $x < 1$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5125/1.

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

**3) Rhabdobarite-(W)** Рабдоборит-(W) IMA No. 2017-109.  $\text{Mg}_{12}(\text{W}^{6+}, \text{V}^{5+})_{1.5}\text{O}_6\{[\text{VO}_3]_{6-x}[(\text{P}, \text{As})\text{O}_4]_x\text{F}_{2-x}\}$  with  $x < 1$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5126/1.

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

**4) Manaevite-(Ce)** Манаевит-(Ce) IMA No. 2018-046.  $\text{Ca}_{11}(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{H}_2\text{O})_8\text{Mg}(\text{Mg}, \text{Al})_4(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})_8[\text{Si}_2\text{O}_7]_4[(\text{SiO}_4)_8(\text{H}_4\text{O}_4)_2](\text{OH})_9$ . Минерал из группы везувиана, встречен в метасоматитовых скарнах Ковдорского месторождения, Кольский полуостров, Россия.

Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5075/1 и в Минералогический музей Санкт-Петербургского университета, рег. № 1/19666.

Авторы: **Моисеев М.М.**, Паникоровский Т.Л., Аксенов С.М., Мазур А.С., Михайлова Ж.М., Яковенчук В.Н., Базай А.В., Иванчук Г.Ю., **Агаханов А.А.**, Шиловских В.В., **Пеков И.В.**, **Касаткин А.В.**, Кусаков В.С., Япаскурт В.О., **Карпенко В.Ю.**, Кривовичев С.В.

**5) Paraberzeliite** Параберцелиит IMA No. 2018-001.  $\text{NaCa}_2\text{Mg}_2(\text{AsO}_4)_3$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5067/1.

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

**6) Belogubite** Белогубит IMA No. 2018-005.  $\text{CuZn}(\text{SO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Минерал из халькантиновой группы, найден на Гайском медно-цинковом месторождении, Южный Урал, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5130/1.

Авторы: **Касаткин А.В.**, Бритвин С.Н., Радек Ш., **Агаханов А.А.**, **Белаковский Д.И.**, Чуканов Н.В.

**7) Zubkovaite** Зубковаит IMA No. 2018-008.  $\text{Ca}_3\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_4$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5185/1.

Авторы: **Пеков И.В.**, **Лыкова И.С.**, **Агаханов А.А.**, **Белаковский Д.И.**, Вигасина М.Ф., Турчкова А.Г., Бритвин С.Н., Сидоров Е.П., Пушаровский Д.Ю., Scheid K.S.

**8) Achyrophanite** Ахирофанит IMA No. 2018-011.  $(\text{K}, \text{Na})_3(\text{Fe}^{3+}, \text{Ti}, \text{Al}, \text{Mg})_5\text{O}_2(\text{AsO}_4)_5$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол.

Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5029/1.

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

**9) Aleutite** IMA No. 2018-014. Алеутит  $[\text{Cu}_5\text{O}_2](\text{AsO}_4)(\text{VO}_4) \cdot (\text{Cu}, \text{K}, \text{Pb}, \text{Rb}, \text{Cs}, )\text{Cl}$ . 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей Санкт-Петербургского Университета, рег. № 1/19688.

Авторы: Сийдра О.И., Назарчук Е.В., **Агаханов А.А.**, Полековский Ю.С.

**10) Elasmochloite** Эласмохлоит IMA No. 2018-015.  $\text{Na}_3\text{Cu}_6\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5189/1.

Авторы: **Пеков И.В.**, Бритвин С.Н., **Агаханов А.А.**, Вигасина М.Ф., Сидоров Е.П.

**11) Hanauerite** Ханауэрит IMA No. 2018-045.  $\text{AgHgSI}$ . Schöne Aussicht Mine, Dernbach, Neuwied, Wied Iron Spar District, Westerwald, Rhineland-Palatinate, Германия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5223/1.

Авторы: **Пеков И.В.**, Зубкова Н.В., Бритвин С.Н., **Агаханов А.А.**, Полековский Ю.С., Пушаровский Д.Ю., Möhn G., Desor J., Blass G.

**12) Udinate** Удинаит IMA No. 2018-066.  $\text{NaMg}_4(\text{VO}_4)_3$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5237/1.

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

**13) Arsenudunaite** Арсенудинаит IMA No. 2018-067.  $\text{NaMg}_4(\text{AsO}_4)_3$ . Фумарола Арсенатная, 2-й шлаковый конус северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик, Камчатка, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5238/1.

Авторы: **Пеков И.В.**, Зубкова Н.В., Кошлякова Н.Н., **Белаковский Д.И.**, Ксенофонтов Д.А., **Агаханов А.А.**, Турчкова А.Г., Бритвин С.Н., Сидоров Е.П., Пушаровский Д.Ю.

**14) Akopovaitе** Акоповаит IMA No. 2018-095.  $Al_4Li_2(OH)_{12}(CO)_3(H_2O)_3$ . Минерал из группы квинтинита (надгруппа гидроталькита), встречен в виде сферолитовых агрегатов пластинчатых кристаллов (20–40 микрон) в Sn-Be-пегматитах Карасу-Каравшинского месторождения (Туркестанский хр., Киргизия). Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5200/1.

Авторы: **Карпенко В.Ю.**, **Паутов Л.А.**, Житова Е.С., **Агаханов А.А.**, Кржижановская М.Г., Сийдра О.И., Расулов В.А.

**15) Ferriperbøeite-(La)** Феррипербёит-(La) IMA No. 2018-106.  $(CaLa_3)(Fe^{3+}Al_2Fe^{2+})[Si_2O_7][SiO_4]_3(OH)_2$ . Мочалин Лог, Челябинская область, Южный Урал, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5253/1.

Авторы: **Касаткин А.В.**, **Пеков И.В.**, Зубкова Н.В., Чуканов Н.В., Радек Ш., Полуковский Ю.С., **Белаковский Д.И.**, **Агаханов А.А.**, Кузнецов А.М., Пушаровский Д.Ю.

**16) Radekškodaite-(La)** Радекшкодаит-(La) IMA No. 2018-107.  $(CaLa_5)(Al_4Fe^{2+})[Si_2O_7][SiO_4]_5O(OH)_3$ . Мочалин Лог, Челябинская область, Южный Урал, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5267/1.

Авторы: **Касаткин А.В.**, **Пеков И.В.**, Зубкова Н.В., Чуканов Н.В., Радек Ш., Полековский Ю.С., **Белаковский Д.И.**, Ксенофонтов Д.А., **Агаханов А.А.**, Кузнецов А.М., Пушаровский Д.Ю.

**17) Gladkovskyite** Гладковскиит IMA No. 2018-107.  $MnTiAs_3S_6$ . Воронцовское золоторудное месторождение, Челябинская область, Южный Урал, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5248/1.

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

**18) Ferrierite- NH<sub>4</sub>** Феррьерит-NH<sub>4</sub> IMA 2017-099  $(NH_4,Mg_{0.5})_5(Al_5Si_{31}O_{72}) \cdot 22H_2O$ . Libous lignite quarry, Bohemia, Czech Republic.

Авторы: Chukanov N.V., **Peков I.V.**, **Belakovskiy D.I.**

**19) Dalnegorskite** Дальнегорскит IMA 2018-007.  $\text{Ca}_5\text{Mn}(\text{Si}_3\text{O}_9)_2$ . Дальнегорск, Приморский край, Россия.

Авторы: Shchipalkina N.V., **Pekov I.V.**, Ksenofontov D.A., Chukanov N.V., **Belakovskiy D.I.** and Koshlyakova N.N.

**20) Krasnoshteinite** Красноштейнит IMA 2018-077.  $\text{Al}_8[\text{B}_2\text{O}_4(\text{OH})_2](\text{OH})_{16}\text{Cl}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Верхне-Камское месторождение, Пермский край, Россия.

Авторы: **Pekov I.V.**, Zubkova N.V., Chaikovskiy I.I., Chirkova E.P., **Belakovskiy D.I.**, Yaras Kurt V.O., Bychkova Y.V., **Lykova I.S.**, Britvin S.N. and Pushcharovsky D.Yu.

**21) Antofagastaite** Антофагастаит IMA 2018-049.  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$ . Coronel Manuel Rodríguez mine, Антофагаста, Чили.

Авторы: **Pekov I.V.**, Kovrugin V.M., Siidra O. I., Chukanov N.V., **Belakovskiy D.I.**, Koshlyakova N.N., Yaras Kurt V.O., Turchkova A.G. and Möhn G.

**22) Pliniusite** Плиниусит IMA 2018-031  $\text{Ca}_5(\text{VO}_4)_3\text{F}$ . Вулкан Толбачик, Камчатка, Россия, и Nahal Morag canyon, Natrurim Basin, Израиль.

Авторы: **Pekov I.V.**, Zubkova N.V., Koshlyakova N.N., Krz̄at̄ala A., **Belakovskiy D.I.**, Galuskina I.O., Galuskin E.V., Britvin S.N., Sidorov E.G., Vapnik Y. and Pushcharovsky D.Y.

**23) Yarzhemskiiite** Яржемскиит (IMA 2018-019)  $\text{K}[\text{B}_5\text{O}_7(\text{OH})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ , моноклинный. Челкар, Западный Казахстан.

Авторы: **Pekov I.V.**, Zubkova N.V., Korotchenkova O.V., Chaikovskiy I.I., Yaras Kurt V.O., Chukanov N.V., **Belakovskiy D.I.**, **Lykova I.S.**, Britvin S.N. and Pushcharovsky D.Y.

**24) Alexkhomyakovite** Алексхояковит IMA 2015-003.  $\text{K}_6(\text{Ca}_2\text{Na})(\text{CO}_3)_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Коашва, Хибины, Кольский п-ов, Россия

Авторы: **I.V. Pekov**, N.V. Zubkova, V.O. Yaras Kurt, **I.S. Lykova**, N.V. Chukanov, **D.I. Belakovskiy**, S.N. Britvin, A.G. Turchkova, D.Y. Pushcharovsky.

**25) Milanriederite** Миланридерит IMA 2018-041  $\text{Ca}_{19}\text{Fe}^{3+}\text{Al}_4(\text{Mg}_4\text{Al}_4)\text{Si}_{18}\text{O}_{67}(\text{OH})_{11}$ . Kombat mine, Namibia.

Авторы: Chukanov N.V., Panikorovskii T.L., Goncharov A.G., **Pekov I.V.**, **Belakovskiy D.I.**, Britvin S.N., Möckel S. and Vozchikova S.A.

**26) Kruijenite** Круйенит IMA 2018-057  $\text{Ca}_4\text{Al}_4(\text{SO}_4)\text{F}_2(\text{OH})_{16} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Eifel. Germany.

Авторы: Chukanov N.V., Zubkova N.V., Blass G., **Pečov I.V.**, Varlamov D.A., **Belakovskiy D.I.**, Ksenofontov D.A., Britvin S.N. and Pushcharovsky D.Y.

**27) Фальгарит** Falgarit. IMA 2018-069.  $K_4(VO)_3(SO_4)_5$ . Мон.с., пр.гр.  $C2/c$ ,  $a = 8.709(1)$ ,  $b = 16.146(2)$ ,  $c = 14.450(2)$  Å,  $\beta = 106.785(4)$ ,  $V = 1945.3(5)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ . Первый природный ванадил-сульфат калия. Встречен в виде кристалликов, их сростков в составе фумарольных возгонов подземного пожара на Фан-Ягнобском месторождении, Таджикистан.

Авторы: **Паутов Л.А.**, Мираков М.А., Сийдра О.И., Назарчук Е.В., Файзиев А.Р., **Карпенко В.Ю.** Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5234/1

**28) Бадахшанит-(Y)** Badakhshanite-(Y) IMA No. 2018-085.  $Y_2Mn_4Al(Si_2B_7Be)O_{24}$ . Встречен в гранитном пегматите Кукуртского поля, Восточный Памир, Таджикистан.

Авторы: **Pautov L.A.**, Mirakov M.A., Cámara F., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Schodibekov M.A. and **Karpenko V.Y.**

**29) Наталиякуликит** Nataliakulikite IMA No. 2018-061.  $Ca_4Ti_2(Fe^{3+}, Fe^{2+})(Si, Fe^{3+}, Al)O_{11}$ . Negev desert, Израиль.

Авторы: Sharygin V.V., Yakovlev G.A., Wirth R., Seryotkin Y.V., Sokol E.V., Nigmatulina E.N., Karmanov N.S. and **Pautov L.A.**

**30) Мунмаит** Мьянмаит No. 2018-109.  $(Na, Cs)(Be_2Li)Al_2(Si_6O_{18})$ . Из редкометальных пегматитов Мьянмы (Бирмы). Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5279/1.

Авторы: **Агаханов А.А.**, Степаненко Д.А., Зубкова Н.В., **Пеков И.В.**, **Паутов Л.А.**, **Касаткин А.В.**, **Карпенко В.Ю.**, **Агаханова В.А.**, Радек Ш., Бритвин С.Н.

**31) Пербёйт-(La)** Перрбёйт-(La) IMA No. 2018-116.  $(CaLa_3)(Al_3Fe^{2+})[Si_2O_7][SiO_4]_3O(OH)_2$ . Мочалин Лог, Челябинская область, Южный Урал, Россия. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5253/1.

Авторы: **Касаткин А.В.**, **Пеков И.В.**, Зубкова Н.В., Чуканов Н.В., Радек Ш., Полековский Ю.С., **Белаковский Д.И.**, **Агаханов А.А.**, Кузнецов А.М., Пушаровский Д.Ю.

**Минералы на очереди утверждения в комиссии КНМНК Международного минералогического общества (1):**

- **Florapophyllite-(Cs)** Фторапофиллит-(Cs) No. 2018-108.  $CsCa_4Si_8O_{20}F \cdot 8H_2O$ . Дарай-Пиёзский щелочной массив, Таджикистан. Авторский материал передан в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, рег. № 5280/1.

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

Примерами новых минералов, пополнивших *важные минеральные группы* и изученных в лаборатории Минмузея РАН, могут служить следующие новые минералы.

### 1.2 Новый минерал из группы берилла

Из редкометальных пегматитов Мьянмы (Бирмы) изучен и утвержден КНМНК Международной минералогической ассоциации IMA минерал из группы берилла **авдеевит**. Авдеевит  $(Na,Cs)(Be_2Li)Al_2(Si_6O_{18})$  (рисунок 1.1). Гексагональный, пр.гр. *P6/mcc*,  $a = 9.2287$  (4)Å,  $c = 9.2610$  (3)Å,  $V = 683.07$  (5)Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ . Минерал назван в честь великого русского химика Иван Васильевича Авдеева (1818–1865), внесшего большой вклад в изучение природных и искусственных соединений бериллия. В 1842 году он провел исследования и выяснил точный химический состав минералов: хризоберилла, фенакита и берилла и искусственных соединений бериллия:  $BeSO_4$ ;  $BeSO_4 \cdot 4H_2O$ ;  $BeCl_2$ ;  $BeCl_2 \cdot 4H_2O$ ;  $K_2SO_4 \cdot BeSO_4 \cdot 2H_2O$ ;  $2KF \cdot BeF_2$ . Установил, что формула окиси бериллия  $BeO$ , а не  $Be_2O_3$  и что бериллий имеет валентность два, а не три, как тогда считалось.

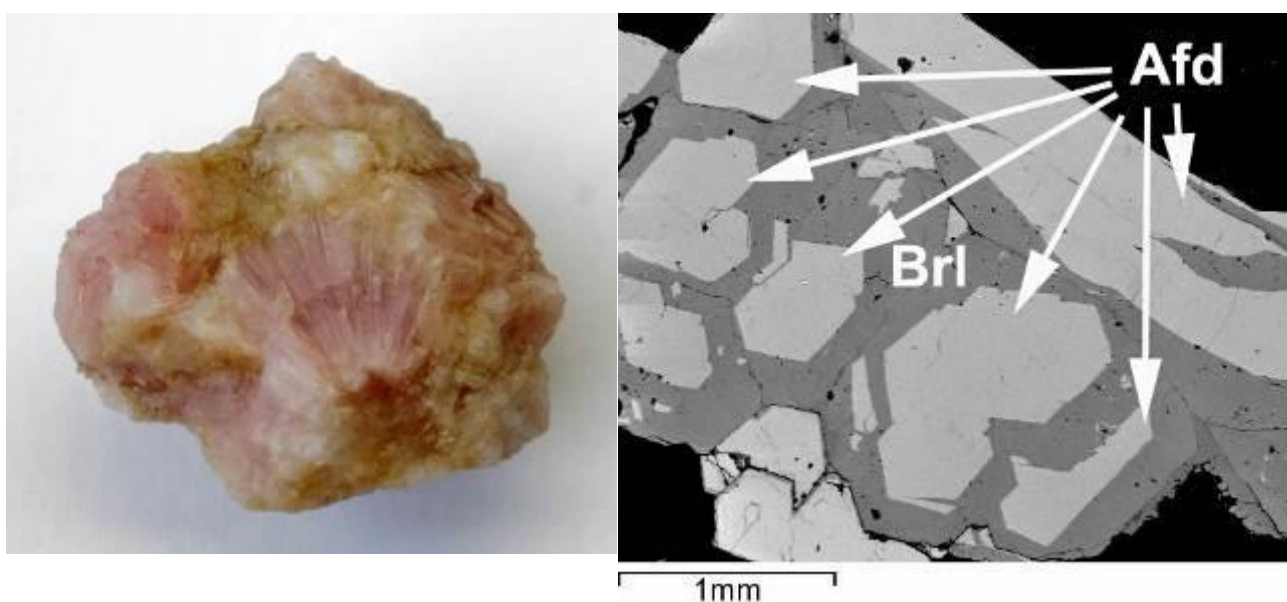


Рисунок 1.1 – Слева столбчатый агрегат авдеевита в сростании с бериллом. Размер образца 3,8 см. Справа BSE-изображение: сростание авдеевита (Afd) и берилла (Brl)

Благодаря изучению авдеевита удалось наконец **понять способы вхождения щелочных металлов в структуру берилла** [1].

### 1.3 Новый редкоземельный минерал из группы везувиана

Минерал из метасоматитовых скарнов Ковдорского месторождения, Кольский полуостров, Россия **манаевит-(Ce)**  $\text{Ca}_{11}(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{H}_2\text{O})_8\text{Mg}(\text{Mg}, \text{Al})_4(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})_8[\text{Si}_2\text{O}_7]_4[(\text{SiO}_4)_8(\text{H}_4\text{O}_4)_2](\text{OH})_9$ . (рисунок 1.2). Тетрагональный, пр.гр.  $P4/nnc$ ,  $a = 15.925(1) \text{ \AA}$ ,  $c = 11.966(1) \text{ \AA}$ ,  $V = 3034.6(6) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ .

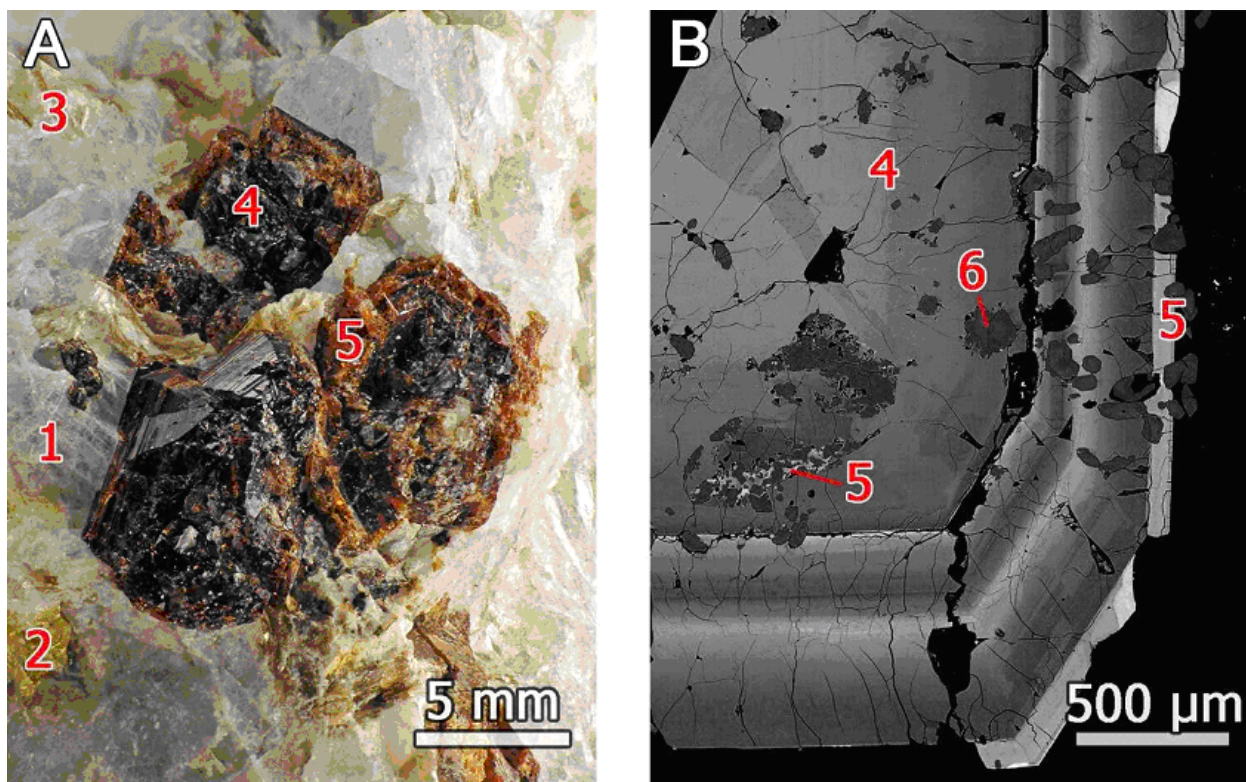


Рисунок 1.2 – Фотография под оптическим биноклем (А) и BSE-изображение (В) мультизональных кристаллов редкоземельного титанового везувиана (4) и манаевита-(Ce) (5) в кальците (1), с включениями андрадита (2), глаголевита (3) и гидроксилapatита (6)

Открытие и изучение минерала расширяет данные по группе везувиана и является вкладом в минералогию Ковдорского месторождения.

## 2 Новые данные по фумарольной минералогии вулкана Большой Толбачик, Камчатка, Россия

Активные фумарольные поля вулкана Толбачик на Камчатке – самый яркий пример эксгалационных минералообразующих систем окислительного типа. В фумаролах Толбачика на сегодня достоверно установлено более 250 минеральных видов, 106 из которых впервые открыты здесь. Так, в толбачинских фумаролах установлено 55 арсенатов, причем все безводородные. Это новый химико-генетический тип мышьяковой минерализации. Арсенаты дают здесь ураганно богатые скопления, и среди них – самые богатые щелочами (>17 мас.%)



$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) и титаном (до 28 мас.%  $\text{TiO}_2$ ) минералы этого химического класса. Большая часть ванадия сконцентрирована в составе арсенатно-ванадатных гранатов ряда берцелиит – шеферит. Силикатная минерализация оказалась широко развита в высокотемпературных fumarолевых отложениях. Она представлена в основном полевыми шпатами, слюдами, пироксенами, форстеритом, андрадитом, фельдшпатоидами, часто необычными по химическому составу. Типичными замещающими Si компонентами выступают  $\text{As}^{5+}$  (содержание  $\text{As}_2\text{O}_5$  достигает 42 мас.% в полевых шпатах (филатовит) и 3 мас.% в форстерите) и P, а на место Al, Mg, Fe входят Cu, Zn, Sn. Гаюин содержит до 3.7 мас.%  $\text{MoO}_3$  и до 1.7 мас.%  $\text{WO}_3$ . Характерный компонент fumarолевых шпинелидов – медь, вплоть до образования купрошпинели и фазы  $\text{CuAl}_2\text{O}_4$  (до 27 мас.% CuO). Сурьма концентрируется в оксидах ряда рутил – трипугит (до 53 мас.%  $\text{Sb}_2\text{O}_5$ ). Широко распространен эксгальционный касситерит, но главный носитель олова здесь – Sn-содержащий гематит (до 7 мас.%  $\text{SnO}_2$ ). Важнейшими концентраторами W, Mo и V оказались новые фторбораты ряда рабдоборита (до 20 мас.%  $\text{WO}_3$ ). В эксгальциях fumarол Толбачика развита сульфатная и хлоридная цезиевая минерализация, в т.ч. обнаружено самое богатое Cs природное соединение –  $\text{Cs}_2\text{ZnCl}_4$  (44 мас.% Cs). Трехвалентный таллий выступает видообразующим компонентом в хлоридах (до 40 мас.% Tl в калиталлите). Фтор демонстрирует четкую связь формы нахождения с температурой: выше 300–350 °C формируются только оксоли с дополнительным анионом  $\text{F}^-$  (фторсиликаты, фторсульфаты, фторарсенаты, фторбораты и др.), а ниже – только фториды. Водород и углерод вообще не фиксируются в минералах, кристаллизующихся в этих системах при  $t > 150\text{--}200$  °C.

С 8 июля по 31 июля были проведены полевые работы на втором конусе северного прорыва извержения 1975–1976 гг. вулкана Большой Толбачик в составе экспедиции МГУ и РАН. Собран богатый исследовательский материал, а также материал для фондов Минмузея РАН по сульфатной, мышьяковой, ванадиевой, цезиевой минерализации (рисунки 2.1, 2.2).

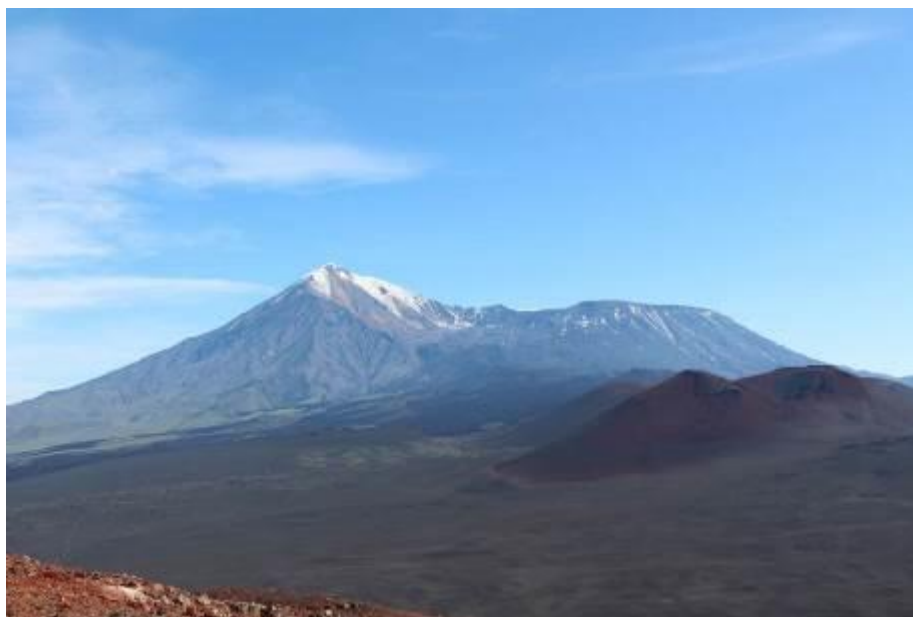


Рисунок 2.1 – Вулкан Большой Толбачик



Рисунок 2.2 – Сбор и упаковка минералогического материала из фумарольных образований на втором конусе трещинного извержения 1975–1976 гг. влк. Б. Толбачик

В 2018 году из фумарольных образований Толбачика изучены и утверждены в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA **десять новых минеральных видов:** хреновит, рабдоборит-(V), рабдоборит-(W), параберцелиит, зубковаит, ахирофанит, алеутит, эласмохлоит, удианит, арсенудинаит.

Девять минералов найдены на *фумароле Арсенатная* 2-го шлакового конуса северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик.

1) **Хреновит**  $\text{Na}_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{AsO}_4)_3$  (рисунок 2.3). Моноклинный, пр.гр.  $C2/c$ ,  $a = 12.2394 (7) \text{ \AA}$ ,  $b = 12.7967 (5) \text{ \AA}$ ,  $c = 6.6589 (4) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 112.953 (7)^\circ$ ,  $V = 960.37 (10) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ . Минерал из группы *аллюодита*.



Рисунок 2.3 – Буровато-красный кристалл хреновита с гематитом и афиталитом

2) **Рабдоборит-(V)**  $\text{Mg}_{12}(\text{V}^{5+}, \text{Mo}^{6+}, \text{W}^{6+})_1 1.5\text{O}_6\{[\text{BO}_3]_{6-x}[(\text{P}, \text{As})\text{O}_4]_x\text{F}_{2-x}\}$  with  $x < 1$  (рисунок 2.4). Гексагональный, пр. гр.  $P6_3$ ,  $a = 10.6314 (4) \text{ \AA}$ ,  $c = 4.5661 (2) \text{ \AA}$ ,  $V = 446.95 (3) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 1$ .

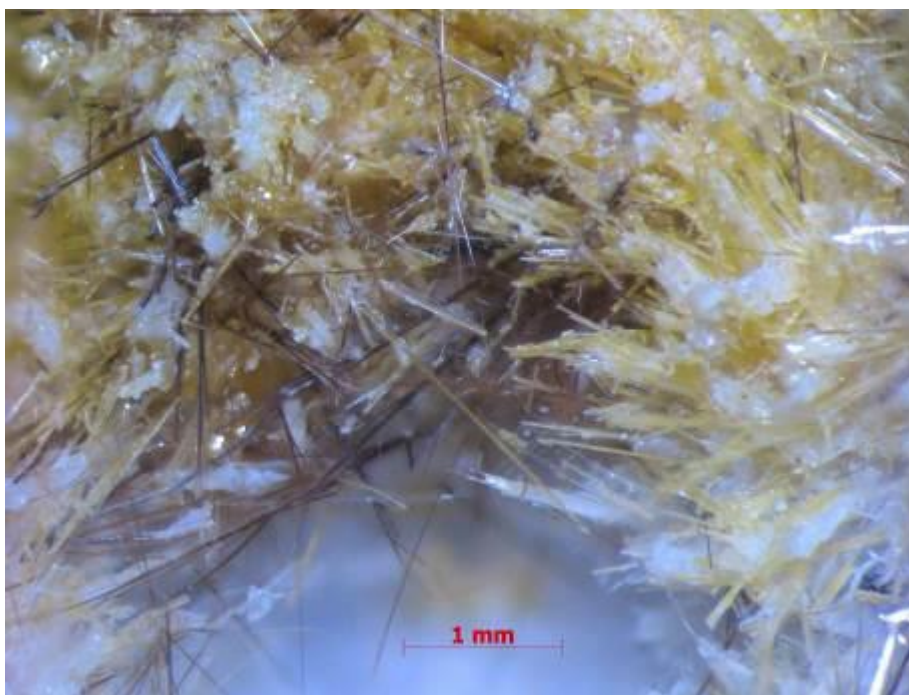


Рисунок 2.4 – Агрегат кристаллов рабдоборита-(V), пшенично желтого цвета, с черными кристаллами людвигита

3) **Рабдобрит-(W)**  $Mg_{12}(W^{6+},V^{5+})_{1.5}O_6\{[BO_3]_{6-x}(P,As)O_4\}_x F_{2-x}$ ,  $x < 1$ , (рисунок 2.5). Гексагональный, пр. гр.  $P6_3$ ,  $a = 10.6366$  (5) Å,  $c = 4.5701$  (3) Å,  $V = 447.78$  (4) Å<sup>3</sup>,  $Z = 1$ .



Рисунок 2.5 – Кристаллы рабдобрита-(W), пшенично желтого цвета, обросшие ангидритом и форстеритом

4) **Параберцелиит**  $NaCa_2Mg_2(AsO_4)_3$  (рисунок 2.6). Моноклинный, пр.гр.  $C2/c$ ,  $a = 12.3143$  (7) Å,  $b = 13.0679$  (5) Å,  $c = 6.7717$  (4) Å,  $\beta = 113.657$  (7)°,  $V = 998.14$  (10) Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ . Как и хреновит, пополнил список минералов *группы аллюодита*.

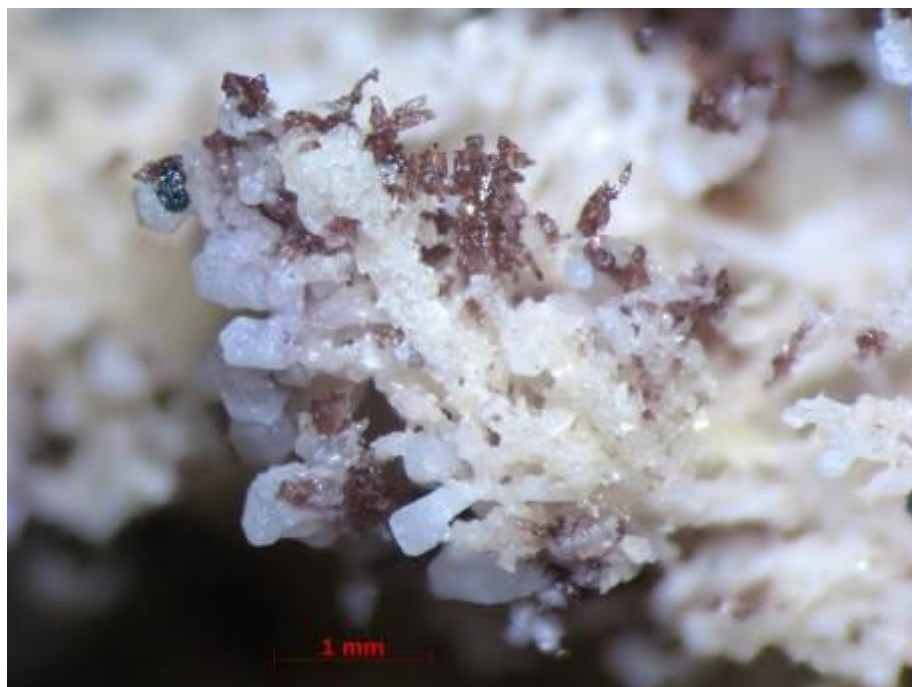


Рисунок 2.6 – Темно-фиолетовые агрегаты кристаллов параберцелиита с белыми выделениями слабита



5) **Зубковаит**  $\text{Ca}_3\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_4$  (рисунок 2.7). Моноклинный, пр.гр.  $C2$ ,  $a = 16.836 (3) \text{ \AA}$ ,  $b = 5.0405 (8) \text{ \AA}$ ,  $c = 9.1173 (17) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 117.388 (13)^\circ$ ,  $V = 687.0 (2) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ . Третий новый минерал из группы аллюодита.

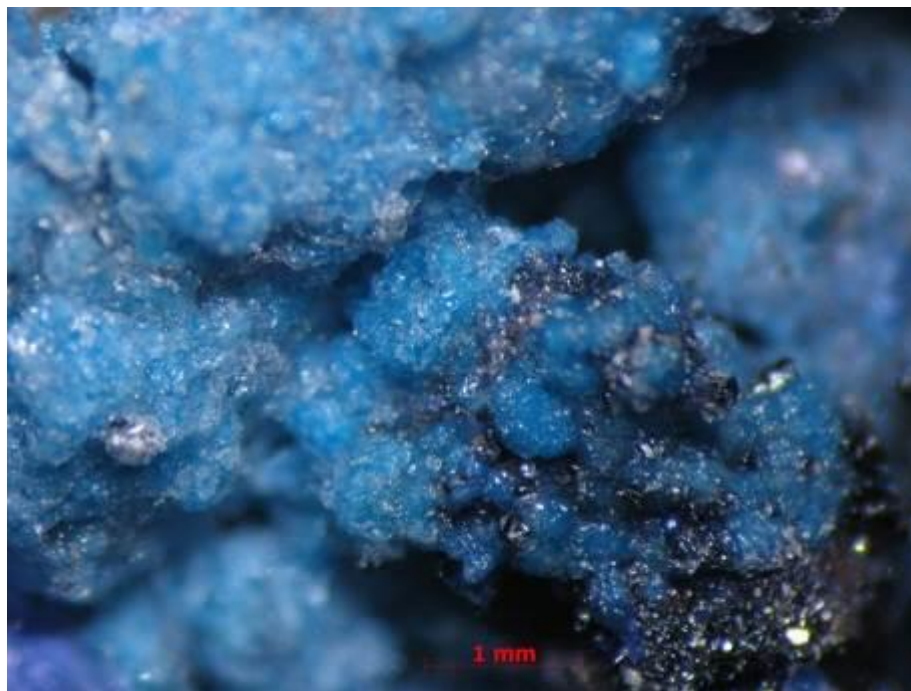


Рисунок 2.7 – Голубые кристаллы зубковаита в сростании с фиолетово-голубыми кристаллами йохиллерита и гематитом

6) **Ахирофанит**  $(\text{K,Na})_3(\text{Fe}^{3+},\text{Ti,Al,Mg})_5\text{O}_2(\text{AsO}_4)_5$  (рисунок 2.8). Ромбический, пр.гр.  $P222_1$ ,  $a = 6.5824 (2) \text{ \AA}$ ,  $b = 13.2488 (4) \text{ \AA}$ ,  $c = 10.7613 (3) \text{ \AA}$ ,  $V = 938.48 (5) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ .



Рисунок 2.8 – Соломенно-желтые агрегаты кристаллов ахирофанита с темно-«металлическими» кристаллами гематита, белыми кристаллами апиталита и мелкими оранжевыми сферолитами касситерита

7) **Эласмохлоит**  $\text{Na}_3\text{Cu}_6\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5$  (рисунок 2.9). Моноклинный, пр.гр.  $P2_1/n$ ,  $a = 10.1273$  (9) Å,  $b = 10.1193$  (8) Å,  $c = 21.1120$  (16) Å,  $\beta = 102.272$  (8)°,  $V = 2114.1$  (3) Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ .

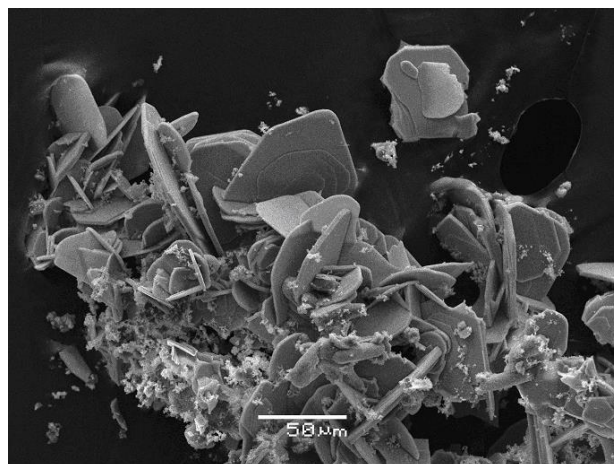
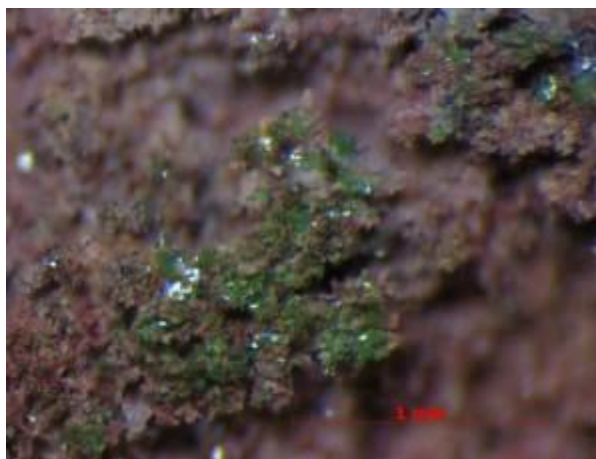


Рисунок 2.9 – Зеленые кристаллы эласмохлоита на базальтовой породе. Агрегат чешуйчатых кристаллов эласмохлоита, изображение в режиме SEM

8) **Удинаит**  $\text{NaMg}_4(\text{VO}_4)_3$  (рисунок 2.10). Тетрогональный, пр.гр.  $I-42d$ ,  $a = 6.8011$  (2) Å,  $c = 19.1839$  (12) Å,  $V = 887.35$  (7) Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ .



Рисунок 2.10 – Агрегат бежевых кристаллов удинита в ассоциации с белыми призматическими кристаллами ангидрита (слева) и желто-оранжевыми кристаллами минералов ряда берцелиит – шаферит из группы граната (справа)

9) **Арсенудинаит**  $\text{NaMg}_4(\text{AsO}_4)_3$  (рисунок 2.11). Тетрогональный, пр.гр.  $I-42d$ ,  $a = 6.8022$  (2) Å,  $c = 19.1843$  (12) Å,  $V = 887.66$  (7) Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ .



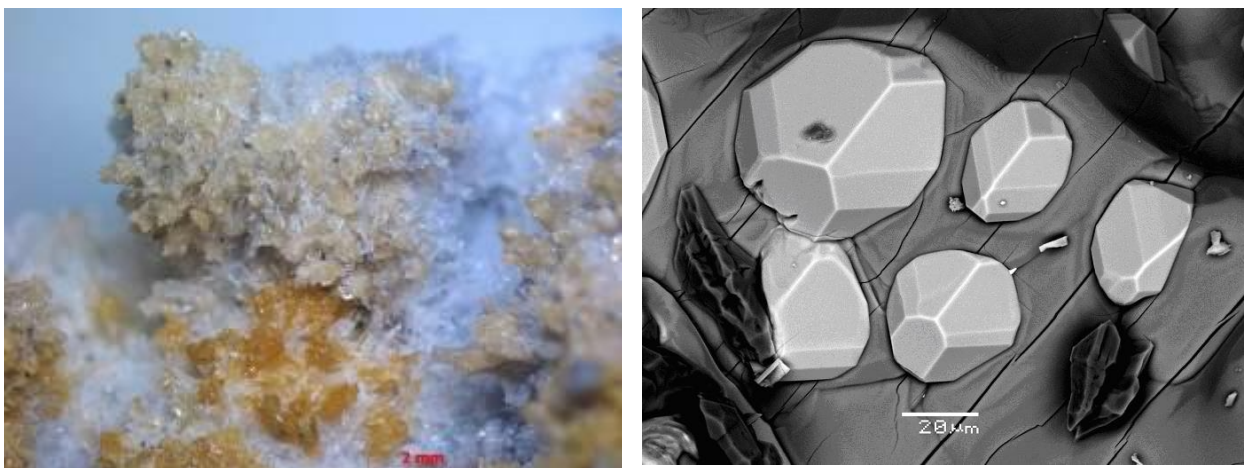


Рисунок 2.11 – Агрегат бежевых кристаллов арсенудинита в ассоциации с бесцветным ангидритом, желто-оранжевым берцелиитом и черным гематитом (слева), хорошо ограненные кристаллы арсенудинита (светло-серые), частично вросшие в большой кристалл ангидрита (серое). Изображение в режиме SEM (справа)

И один новый минерал был найден на *фумароле Ядовитая* 2-го шлакового конуса северного прорыва извержения влк. Бол. Толбачик:

10) **Алеутит**  $[\text{Cu}_5\text{O}_2](\text{AsO}_4)(\text{VO}_4) \cdot (\text{Cu}, \text{K}, \text{Pb}, \text{Rb}, \text{Cs},)_\text{Cl}$ , (рисунки 2.12, 2.13). Моноклинный, пр.гр.  $C2/m$ ,  $a = 18.0902(19) \text{ \AA}$ ,  $b = 6.2284(6) \text{ \AA}$ ,  $c = 8.2465(9) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 90.597(2)^\circ$ ,  $V = 929.11(17) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ . Для него уже определена кристаллическая структура.

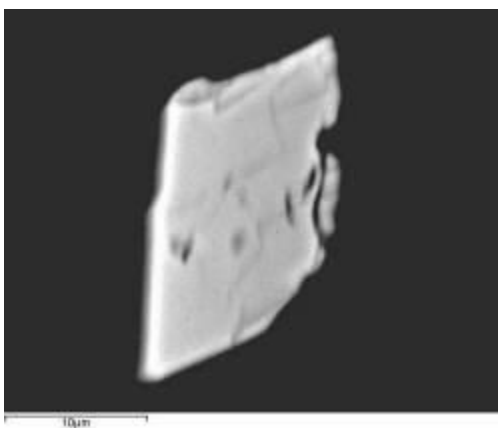


Рисунок 2.12 – Косой срез кристалла алеутита, BSE-изображение

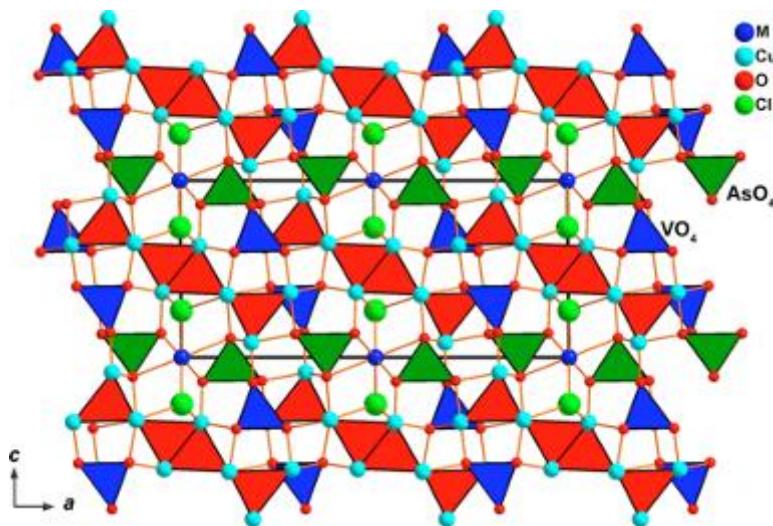


Рисунок 2.13 – Генеральная проекция кристаллической структуры алеутита (AsO<sub>4</sub> зеленый, VO<sub>4</sub> голубой, OCu<sub>4</sub> красный)

За 2018 год по теме минералогии фумарольных образований влк. Большой Толбачик, Камчатка, Россия, опубликовано шесть статей и сделано три доклада на международных конференциях [2-10].

### 3 Новые данные по минералогии фумарольных возгонов подземных пожаров Фан-Ягнобского угольного месторождения, Центральный Таджикистан

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

#### 3.1 Новый минерал фальгарит из возгонов подземного пожара в урочище Кухи-Малик

В фумарольных возгонах подземного пожара в урочище Кухи-Малик (рисунок 3.1) (окрестности п. Рават, Фан-Ягнобское месторождение) открыт новый минерал – первый природный сульфат ванадила и калия **фальгарит** Falgarit  $K_4(VO)_3(SO_4)_5$ . Мон.с., пр.гр.  $C2/c$ ,  $a = 8.709(1)$ ,  $b = 16.146(2)$ ,  $c = 14.450(2)$  Å,  $\beta = 106.785(4)$ ,  $V = 1945.3(5)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$  (рисунок 3.2). Авторский материал передан в Минмузей РАН.



Рисунок 3.1 – Фумаролы на верхнем подземном пожаре в урочище Кухи-Малик и добыча образцов для исследований



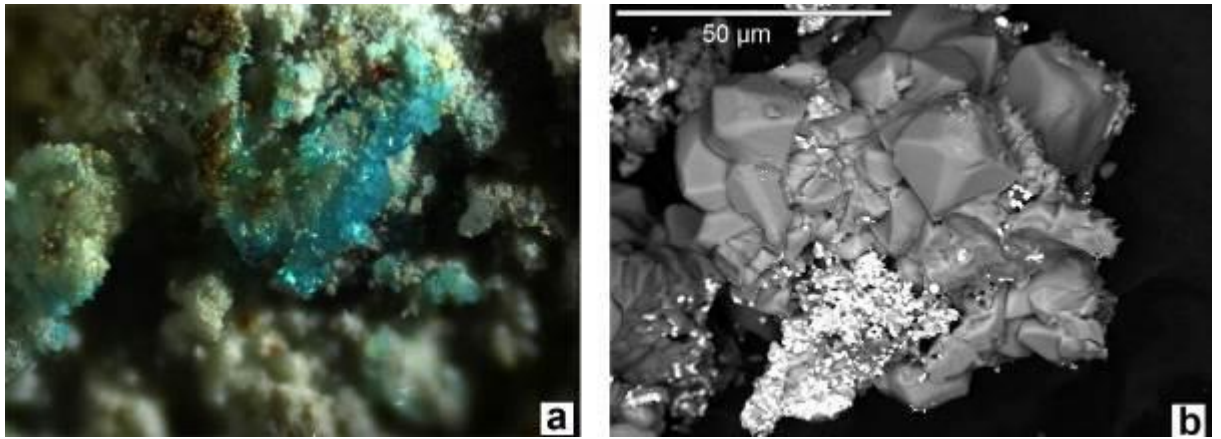


Рисунок 3.2 – Вид на сросток кристаллов фальгарита: а) под бинокулярным микроскопом (ширина поля зрения 1.2 мм), б) изображение в режиме BSE

### 3.2 Редкие сульфиды мышьяка из возгонов подземного пожара

В возгонах угольного подземного пожара в границах Фан-Ягнобского угольного месторождения встречены редкие сульфиды мышьяка, среди которых диагностированы *бонациит*  $\beta\text{-As}_4\text{S}_4$ , *парареальгар*, а также, предположительно, *новая полиморфная модификация аурипигмента* (рисунок 3.3).

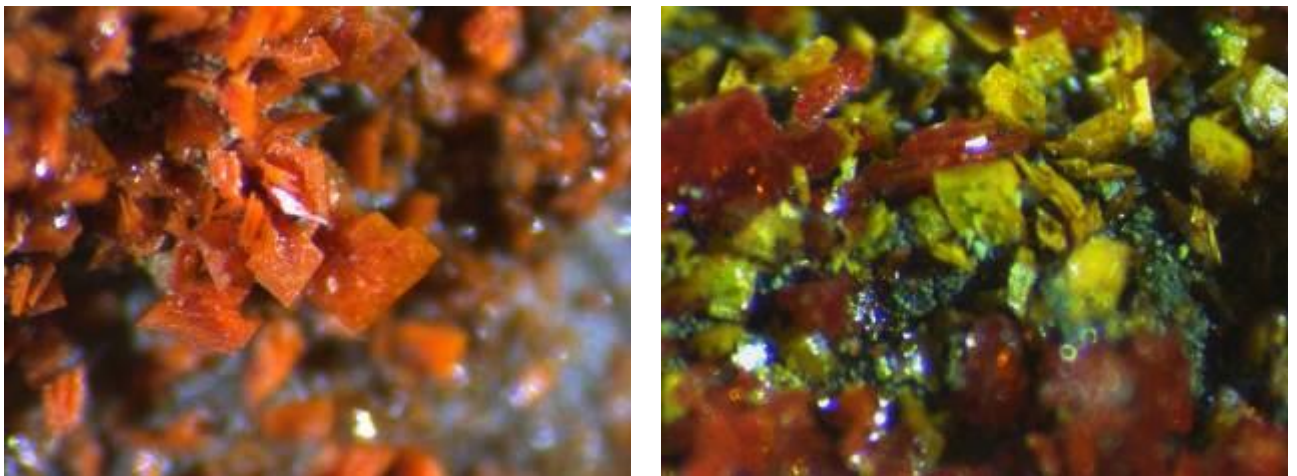


Рисунок 3.3 – Сульфиды мышьяка, находящиеся в стадии изучения, из возгонов пожара в границах Фан-Ягнобского угольного месторождения

## 4 Комплексное изучение минералогии алмаза из месторождения им. М.В. Ломоносова Архангельской алмазоносной провинции

Влияние особенностей вещественного состава руд на алмазоносность отдельных трубок, их групп и основных разновидностей кимберлитовых руд имеет большое практическое значение. Следует отметить, что на сегодняшний день критерии степени рудности пород разработаны в целом недостаточно. Ранее применительно к нашему предмету исследований отдельным сторонам этого вопроса значительное внимание было

уделено в целом ряде работ [11-14]. Главной целью настоящего исследования было **выявление взаимосвязи вещественных особенностей основных типов кимберлитовых руд ААП со степенью их алмазоносности и качественными характеристиками алмазов.**

Все это предопределяет проведение сравнительного анализа их алмазоносности как на уровне конкретных трубок и выделяемых в них основных разновидностей пород, так и групп трубок. При этом нами выделяются следующие основные факторы, определяющие количественные и качественные параметры их алмазоносности:

- 1) фактор фазовости, сложности геологического строения – временной;
- 2) петрографического состава;
- 3) петрохимических и геохимических особенностей;
- 4) минералогические факторы, основанные на типоморфных характеристиках МСА (минералов – спутников алмазов) и микрооксидов связующей массы.

При этом особо следует отметить, что вышеуказанные основные факторы в большей или меньшей степени являются следствием принадлежности изученных трубок к Южной и Северной группам месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова.

**1) Фактор фазовости, сложности геологического строения – временной.** Данный фактор предопределяет основу геологического строения трубок и имеет решающее влияние на степень рудоносности пород. Сформулировать его можно следующим образом: наиболее рудоносными в пределах конкретных тел являются заключительные инъективные фазы, представленные автолитовыми брекчиями, при пониженной и низкой (убогой) алмазоносности пород взрывных (туфобрекчии и ксенотуфобрекчии) фаз и взрывно-осадочных образований кратерных построек заключительной стадии формирования диатрем.

Данный фактор работает в принципе и для Южной, и для Северной группы трубок, но если для тр. Карпинского-1 содержания алмазов в автолитовых брекчиях в 18 раз выше чем в ксено- и туфобрекчиях (1,8 и 0,1 кар/т соответственно), то для Карпинского-2 и Пионерской эта разница существенно менее значительная. К этому следует добавить, что только убогая алмазоносность присуща однофазовой трубке Поморская, сложенной только ксено- и туфобрекчиями взрывной стадии формирования.

**2) Петрографический фактор** является прежде всего прямым следствием фактора фазовости с вытекающим отсюда выводом о более высокой алмазоносности автолитовых брекчий по отношению к ксенотуфобрекчиям и туфобрекчиям. Причем различия в концентрациях алмазов в вышеуказанных разновидностях пород в общем случае не следуют только из содержания магматической составляющей, а носят более сложный характер, зависящий от особенностей вещественного состава конкретных разновидностей руд. И в каждом конкретном случае было бы правильнее говорить о влияниях на концентрации как

соотношений собственно кимберлитового и ксеногенного материала, так и специфики петрографических характеристик.

В целом же довольно хорошо выраженное проявление этой связи отмечается для всех рудоносных разновидностей пород. Наиболее отчетливо эта закономерность устанавливается для пород туфогенной пачки, где устанавливается снижение продуктивности в ряду туфы – туффиты – туфопесчаники – песчаники с примесью вулканогенного материала (брекчии осадочных пород), а также для жерловых образований, где снижение концентраций алмазов по отношению к автолитовым брекчиям фиксируется в ксено- и туфобрекчиях, существенно обогащенных ксеногенным материалом.

При этом, если для кимберлитовых руд трубок Северной группы содержания алмазов в самом общем случае прямо пропорционально (или близко к этому) засоренности ксеногенным материалом, что достаточно удовлетворительно просматривается как для жерловых образований, где алмазоносность падает в ряду автолитовые брекчии – туфобрекчии – ксенотуфобрекчии, так и для пород кратера, то в случае с тр. Карпинского-1 этот фактор практически не работает.

В данной трубке в сравнении с высокоалмазоносными автолитовыми брекчиями концентрации собственно кимберлитового материала в ксено- и туфобрекчиях снижаются примерно в 2-3 раза, а степень алмазоносности уменьшается в 18 раз. В то же время именно для пород взрывчатой фазы тр. им. Карпинского-1 очень характерны явно повышенные концентрации идиомотного оливина II и кристаллокластов, а также микролитов хлоритизированного флогопита, что указывает уже или на особенности исходного субстрата, или на своеобразие процесса внедрения данных пород.

Заметим при этом, что эти же отличия характерны для убогой алмазоносной тр. Поморской, в которой, кроме этого, мы наблюдаем резкое снижение количества кристаллокластов оливина по отношению к лапиллям.

Здесь же следует отметить повышенное содержание кристаллокластов оливина II и флогопита в тр. Карпинского-2, что характерно для всех разновидностей кимберлитовых пород и что, возможно, является одним из факторов пониженной примерно в 2 раза степени алмазоносности автолитовых и туфобрекчий по отношению к таковым трубки Пионерской.

Из других признаков петрографического характера, по-видимому, влияющих на степень рудоносности, следует отметить так называемую «степень магматичности» автолитовых брекчий, фиксируемую по появлению и усилению с глубиной признаков «апостекловатой» связующей массы в трубках Северной группы, что, на наш взгляд, сопровождается некоторым понижением продуктивности столбов автолитовых брекчий с

глубиной до определенного уровня, который может быть различным для отдельных рудных столбов, а тем более трубок.

Так, для Карпинского-2 этим критическим уровнем является появление пород типа порфировых кимберлитов, вскрытых на глубине около 550 м в Южном рудном столбе скважиной 84. Эта же ситуация присуща тр. Пионерской, где ниже глубины 840 м мы видим уже жильные разновидности массивных кимберлитов со свежим оливином и микролитами клинопироксена и где резкое снижение алмазоносности и, судя по результатам обогащения керновых проб скв. 1490, происходит с глубины примерно 600 м, а ниже 750 м зафиксировано полное отсутствие алмазов класса +0,5 мм.

В то же время, судя по имеющейся информации по петрографическим особенностям автолитовых брекчий глубоких горизонтов, этого мы не наблюдаем для глубоких горизонтов трубок Карпинского-1 и Архангельской.

Наряду с вышеизложенным по петрографическим особенностям, влияющим на степень алмазоносности пород, особо следует указать на пониженное содержание в ксенотуфобрекчиях целых кристаллов и соответственно повышенное – обломков и кристаллов со сколами, что, несомненно, является следствием взрывного характера формирования данной разновидности пород.

**3) Петрохимические и геохимические особенности пород.** Исходя из петрохимических и геохимических особенностей автолитовых кимберлитовых брекчий и автолитов из них для изученных трубок, прежде всего следует отметить явно повышенную общую щелочность при ее калиевом характере для образований Южной группы по отношению к таковым Северной, где снижение степени щелочности сопровождается ее более натровым характером. К тому же именно в Южной группе наблюдаются также повышенные содержания пятиоксида фосфора.

Особо следует отметить тот факт, что наиболее высокие значения суммы щелочей в породах трубок Северной группы мы наблюдаем в тр. Карпинского-2 (1,5-2,5%), в то время как в Пионерской и Ломоносовской это только 0,6-0,7%, что в данном случае в определенной степени объясняет ее существенно более низкую алмазоносность.

Достаточно отчетливая разница просматривается также в низких содержаниях никеля и хрома, а также более высоких – гафния, тория, циркония и стронция в трубках Южной группы.

Исходя из вышеприведенных характеристик, среднеалмазоносным автолитовым кимберлитам – брекчиям Северной группы присущ более ультраосновной характер по отношению к высокоалмазоносным Южной, для которых весьма характерным признаком является более глубокая степень дифференциации исходного глубинного вещества.

В целом же роль данного фактора для кимберлитов м-ния им. М.В. Ломоносова можно сформулировать следующим образом: снижение степени ультраосновности пород, при определенном проявлении признаков щелочно-базальтоидного, карбонатитового характера, положительно сказывается на степени их рудоносности.

В то же время данный фактор обуславливает некоторое снижение качества кристаллов в трубках Южной группы, что является следствием изначально более дефектной структуры кристаллов, так как здесь преобладают додекаэдрические и тетрагексаэдрические алмазы с зонально-секториальным строением высокой степени напряженности с большим количеством трещин, графитовых и флюидных включений.

**4) Минералогические факторы**, основанные на типоморфных характеристиках МСА и микрооксидов связующей массы, являются наиболее информативными, позволяющим делать в той или иной степени обоснованные выводы о алмазоносности пород как количественного, так и качественного характера.

**Фактор особенности минералогии МСА.** Прежде всего необходимо отметить, что функция рудоносности в общем случае прямо связана как с общим содержанием МСА и их соотношениями, так и с особенностями химизма.

Так, по общему содержанию МСА устанавливается в первом приближении прямая, по крайней мере качественная корреляция со степенью алмазоносности как определенных разновидностей кимберлитовых руд, так и конкретных трубок и их групп (таблица 1, рисунок 4.1). При этом максимальные содержания МСА (97-133 г/т) мы наблюдаем в наиболее алмазоносных типах пород – автолитовых брекчиях Южной группы: Карпинского-1 со средними содержаниями 1,8 кар/т и Архангельской – 1,4 кар/т.

Таблица 1 – Средние содержания алмазов и минералов-спутников в основных типах руд месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова

Трубка	Основные типы руды	Содержание алмазов (кар/т)	$\Sigma_{МСА}$ (Г/Т)	Sp/Gr+Cpx
1	2	3	4	5
<b>ЮЖНАЯ ГРУППА ТРУБОК</b>				
<b>Жерловая фация</b>				
Архангельская	Автолитовые брекчии	1,4	133,0	7,0
им. Карпинского-1	Автолитовые брекчии	1,8	97,0	18,0
	Туфобрекчии	0,1	н.д.	н.д.
	Ксенотуфобрекчии	0,09	25,0	24,0
<b>Кратерная фация</b>				
<b>Туфогенная пачка</b>				
Архангельская		0,7	66,0-266,0	5,0-66,0
им. Карпинского-1		0,5	69,0	29,0

<i>Туфогенно-осадочная пачка</i>				
Архангельская				
- верхняя		0,08	7,0	19,0
- нижняя		0,09	н.д.	н.д.
им. Карпинского-1		0,06	10,0	9,0
<b>СЕВЕРНАЯ ГРУППА ТРУБОК</b>				
<b>Жерловая фация</b>				
им. Карпинского-2	Ксенотуфобрекчии	0,21	22,0	13,0
	Туфобрекчии (Южный столб)	0,2-0,3	н.д.	н.д.
	Автолитовые брекчии (Южный столб)	0,4	66,0	4,0
	Автолитовые брекчии, туфобрекчии (Северный столб)	0,4	35,0	5,0
Ломоносовская	Ксенотуфобрекчии	0,2	35,0	2,0
	Автолитовые брекчии, туфобрекчии	0,7	79,0	3,0
Пионерская	Ксенотуфобрекчии	0,15	36,0	4,0
	Туфобрекчии	0,4-0,6	н.д.	н.д.
	Автолитовые брекчии	0,7	61,0	3,0
	Порфиновые кимберлиты	-	сл.	н.д.
Поморская	Ксенотуфобрекчии, туфобрекчии	0,1	19,0	46,0
<b>Кратерная фация</b>				
<i>Туфогенно-осадочная пачка</i>				
Пионерская	Песчаники с примесью туф. материала	0,08	1,5	2,0
<i>Туфогенная пачка</i>				
Пионерская	Туфопесчаники, туффиты, туфы	0,5	17,0	4,0
<b>Примечание</b> – Приводится по материалам [11, 15]				

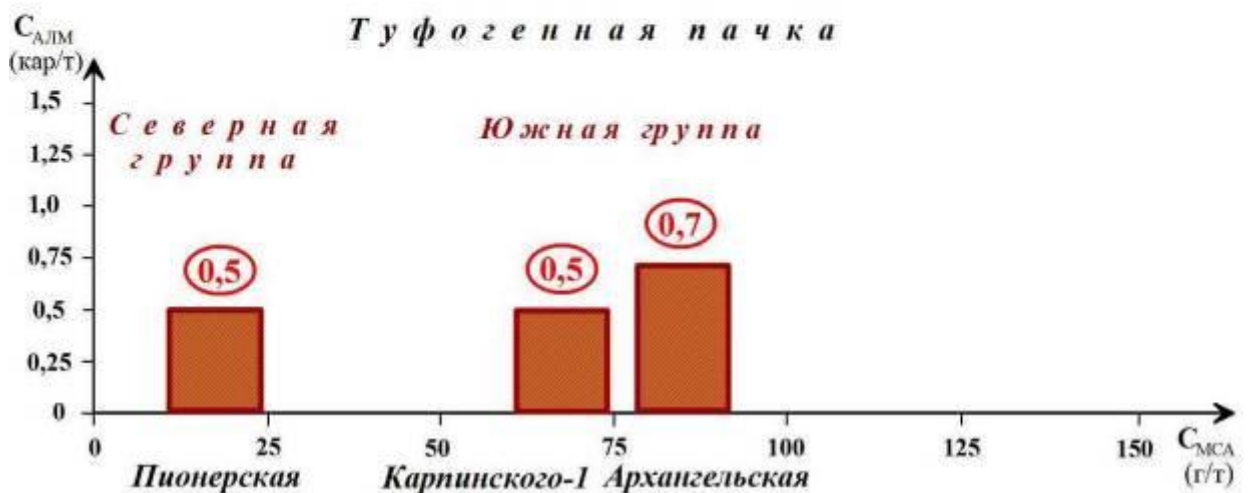
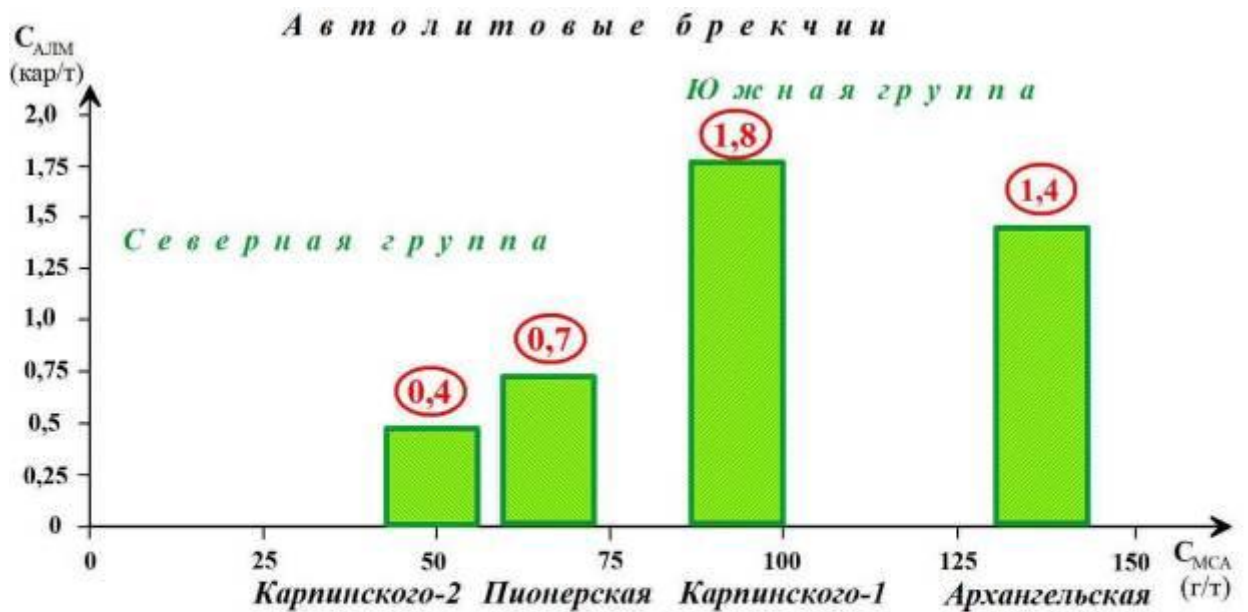


Рисунок 4.1 – Характер зависимости содержаний алмазов от содержаний МСА в кимберлитовых породах месторождения им. М.В. Ломоносова

В то же время в автолитовых брекчиях Северной группы с содержаниями от 0,4 до 0,7 кар/т суммарное количество МСА составляет только 35-79 г/т.

Особо следует отметить, что для автолитовых брекчий намечается также довольно хорошо выраженная корреляция между продуктивностью и характером распределения минералов-спутников при использовании величины отношения содержаний хромшпинелидов к суммарному содержанию пиропов и хромдиопсидов (таблица 1).

Так, если отношения содержаний хромшпинелидов к суммарному содержанию пиропов и хромдиопсидов для Архангельской и Карпинского-1 составляет 7 и 18 соответственно, то для трубок Северной группы эта величина существенно снижается: до 4-5 для Карпинского-2 и до 3 для Пионерской и Ломоносовской. В данном случае этот показатель, вероятнее всего, несет в себе генетический признак рудоносности пород, указывающий на увеличении доли лерцолитовой составляющей в трубках Северной группы, тогда как для Южной она существенно дунитовая.

Что же касается ксенотуфобрекчий и туфобрекчий, а также туфогенных пород кратерных построек, то и здесь данное соотношение также работает (таблица 1), что указывает на единство генетического родства кимберлитовых пород конкретных трубок.

В то же время прямая зависимость даже качественного характера для ксенотуфобрекчий и туфобрекчий, а также туфогенных пород не наблюдается, хотя при близких концентрациях алмазов 0,5-0,7 кар/т, суммарное содержание МСА в трубках Южной группы в сравнении с тр. Пионерской увеличивается в 4-5 раз. Отметим также, что забалансовым ксенотуфобрекчиям трубок Карпинского-1 и Поморской, как, впрочем, и убогим – трубок Карпинского-2 и Пионерской, присущи существенно пониженные концентрации МСА: до 19-36 г/т при содержаниях алмазов 0,1-0,2 кар/т (таблица 1).

Кроме этого, наблюдается достаточно отчетливо выраженная зависимость между качеством алмазов и особенностями физиографии МСА. Так, по своим характеристикам зерна хромшпинелидов из туфов, туффитов кратерных построек и ксенотуфобрекчий отличаются от зерен из автолитовых брекчий наличием реакционных каемок и большей степенью корродированности. Последнее утверждение справедливо также и для других минералов – спутников алмаза и в особенности для хромдиопсидов, которые резко преобладают с гладкой, чаще с тонкоматированной поверхностью в автолитовых брекчиях, в то время как в ксенотуфобрекчиях существенно возрастает доля зерен с занозисто-черепитчатым рельефом.

В конечном счете данный типоморфный признак МСА является типичным и в отношении поверхности алмазов, которые в данных типах пород характеризуются наиболее протравленными и корродированными кристаллами.

Имеющиеся сведения по некоторым особенностям глубинного этапа минералообразования изученных трубок позволяют сделать достаточно определенные



выводы о влиянии тех или иных факторов химизма минералов-спутников на степень продуктивности кимберлитовых пород.

1) Прежде всего исследования показывают, что минералы – спутники алмаза из кимберлитов Северной и Южной групп тел месторождения им. М.В. Ломоносова заметно различаются по химическому составу. В трубках Южной группы (трубки Архангельская, им. Карпинского-1) в целом преобладают МСА, принадлежащие породам ультраосновного парагенезиса низкобарической (22-34 кбар) гроспидитовой субфации С2 при подчиненном содержании МСА высокобарической (34-40 кбар) коэситовой субфации С3, очень малом количестве МСА алмаз-пироповой фации D (>40 кбар) и небольшой доле МСА шпинель-пироповой субфации С1 (17-22 кбар) и шпинель-пироксеновой фации В (7-17 кбар).

В кимберлитах трубок Северной группы (Пионерская, им. Карпинского-2), наоборот, преобладают МСА высокобарической коэситовой субфации С3 при подчиненной роли МСА низкобарической гроспидитовой субфации С2, весьма ограниченном количестве МСА шпинель-пироповой субфации С1 и шпинель-пироксеновой фации (В) и повышенном содержании зерен алмаз-пироповой фации D. Лишь во входящей в состав Северной группы тел убого алмазоносной трубке Поморская пироп принадлежит преимущественно к гроспидитовой субфации, но среди шпинелидов преобладает хромит коэситовой субфации.

Таким образом, в кимберлитах Северной группы тел месторождения им. М.В. Ломоносова МСА в целом представлены более высокохромистыми разностями, соответствующими более высокобарическим субфациям глубинности, чем в кимберлитах Южной группы тел.

Так, пиропы, содержащие > 5 мас.%  $Cr_2O_3$ , в кимберлитах трубок Архангельская и им. Карпинского-1 (Южная группа) составляют около 30 и 16%, соответственно, тогда как в кимберлитах трубок Пионерская и им. Карпинского-2 (Северная группа) их количество достигает соответственно 86 и 74%.

Среди хромшпинелидов трубок Архангельская и им. Карпинского-1 преобладает (30-33%) хромит, содержащий 55-60 мас.%  $Cr_2O_3$ ; более высокохромистые разности (> 60 мас.%  $Cr_2O_3$ ) составляют около 11 и 17% выборок. В трубках Пионерская и им. Карпинского-2 количество хромита, содержащего > 60 мас.%  $Cr_2O_3$ , резко повышено (около 40 и 34 %, соответственно). В свою очередь, хромдиопсид с содержанием  $Cr_2O_3$  > 2,5 мас.% в кимберлитах тел Северной группы составляет около 42% в трубке Пионерская и примерно 33% в трубке им. Карпинского-2), тогда как в кимберлитах Южной группы его количество существенно ниже (8,2% – трубка Архангельская, 19% – трубка им. Карпинского-1).

2) Кроме того, проведенные исследования химического состава МСА показывают, что в кимберлитах Северной группы наблюдается более высокое содержание пиропов и хромшпинелидов, обогащенных титаном, чем в кимберлитах Южной группы. Так, если в

кимберлитах трубок Пионерская и им. Карпинского-2 (Северная группа) количество пиропы, содержащего  $> 0,4$  мас.%  $TiO_2$ , составляет около 24 и 10,5% соответственно, то в кимберлитовых породах трубок Архангельская и им. Карпинского-1 (Южная группа) оно равно 5 и 4%. Среди хромшпинелидов из трубок Пионерская, им. Карпинского-2 и Поморская (Северная группа) хромиты с содержанием  $TiO_2 > 3$  мас.% составляют около 14, 9 и 11% соответственно, в телах Южной группы – лишь около 5%, а с содержанием 2-3 мас.%  $TiO_2$  в породах Северной группы – 19-24%, а в породах Южной группы – 13-19%.

Особо следует отметить, что приведенные выше результаты по концентрациям титана, основанные на достаточно представительных выборках, указывают на его значительно большую роль в составе хромитов и пиропов из кимберлитов Северной группы в сравнении с таковыми Южной. Данное обстоятельство в полной мере соответствует выводам С.М. Саблукова [16] о том, что существенно пониженная степень алмазности кимберлитов Северной группы находит свое объяснение в интенсивном воздействии на литосферную мантию процессов расплавленного метасоматоза, приведшего к уничтожению значительной части алмазов.

К этому следует добавить, что вышеуказанный расплавленный метасоматоз приводил не только к уничтожению значительной части алмазов в процессе растворения, но и к существенному увеличению доли додекаэдров, особенно в крупных классах, именно в кимберлитах Северной группы трубок, что сопровождалось потерей их массы.

3) Химический состав МСА в кимберлитах разных тел, принадлежащих к одной группе, обладая в целом общими сходными чертами, характеризуется индивидуальными особенностями, специфичными для каждого тела.

Так, сравнение МСА из трубок Южной группы показывает, что в трубке Архангельская, в отличие от более алмазоносной трубки им. Карпинского-1, в существенно большем количестве присутствуют низкохромистые зерна МСА преимущественно низкobarических шпинель-пироповой субфации С1 и шпинель-пироксеновой фации (В). Так, гранат и клинопироксен, содержащие  $< 2$  мас.%  $Cr_2O_3$ , составляют около 29 и 70% соответственно; хромшпинелиды, содержащие  $< 30$  мас.%  $Cr_2O_3$ , – около 14%, тогда как в трубке им. Карпинского-1 они соответственно составляют 12, 36 и 7%. В изученной выборке гранатов из трубки Архангельская наиболее распространен (25%) пироп, содержащий 3-4 мас.%  $Cr_2O_3$ , а в трубке им. Карпинского-1 – содержащий 2-3 мас.%  $Cr_2O_3$  (41%). Трубка им. Карпинского-1 выделяется также очень высоким (45%) содержанием хромдиопсида, содержание  $Cr_2O_3$  в котором составляет от 2 до 2,5 мас.%, и более частой встречаемостью хромита с  $Cr_2O_3 > 60$  мас.%.

Кроме этого, особо следует также отметить, что для трубки им. Карпинского-1 установлены отличия в составе хромшпинелидов из контрастных по алмазности кимберлитовых пород

разного типа (автолитовые брекчии – 1,8 кар/т и ксертуфобрекчии – 0,1 кар/т). Наиболее яркое из них – явно повышенное количество (около 26%) хромшпинелидов с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 60$  мас.% в более алмазоносных автолитовых брекчиях по сравнению с существенно менее алмазоносной (убого алмазоносной) ксенотуфобрекчией (менее 6%). Кроме того, хромшпинелиды из ксенотуфобрекчии в целом отличаются более высоким содержанием титана, что свидетельствует уже о различном типе исходных материнских пород для автолитовых и ксенотуфобрекчий.

Наряду с этим сравнение особенностей химического состава МСА в кимберлитах Северной группы тел показывает, что в трубке Пионерской содержание хрома в МСА в целом более высокое, чем в МСА трубки им. Карпинского-2, что, вероятнее всего, объясняет более высокую степень алмазоносности тр. Пионерской.

Характерными особенностями химического состава МСА убого алмазоносной трубки Поморская, существенно отличающимися их от МСА вышеописанных тел Северной группы, являются преобладание зерен граната, содержащих от 2 до 3 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и крайне низкое содержание пироба с  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 8$  мас.%, а также сравнительно малое количество (16%) хромита с  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 60$  мас.% при преобладании хромшпинелидов, содержащих 50-55 и 55-60 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , составляющих в целом около 63% всей выборки.

4. Выполненные за отчетный период оригинальные исследования минералов – спутников алмаза из гравитационного концентрата шести керновых проб трубки Пионерская позволяют более детально охарактеризовать особенности количественного соотношения, морфологии и химического состава МСА в разных типах кимберлитовых пород данной трубки.

Так, в автолитовых брекчиях и туфобрекчиях Северного и Южного столбов резко преобладают хромшпинелиды, а клинопироксен более распространен, чем гранат. При этом в пробах из кимберлитовых пород жерловых образований Северного столба содержание зерен граната примерно в 3 раза выше, чем в соответствующих породах Южного столба. Проба из ксенотуфобрекчии отличается не только пониженным общим количеством МСА, но и практически одинаковым содержанием пироба и хромдиоксида при резком преобладании хромшпинелидов.

Автолитовые брекчии отличаются от туфобрекчий более высоким содержанием фиолетовых и более низким содержанием красных, при этом общее содержание пиробов, генетически связанных с равномернозернистыми лерцолитами и высокохромистых в том числе, в автолитовых брекчиях выше, чем в туфобрекчиях.

В свою очередь, туфобрекчии отличаются несколько более высоким содержанием граната с повышенным содержанием  $\text{TiO}_2$  (0,6-1 мас.%) из пиробовых и ильменит-пиробовых равномернозернистых лерцолитов.

Пироп, сходный по составу с гранатом из включений в алмазе и высокоалмазоносных перидотитов, в представительных выборках из Северного столба составляет около 7%, а в туфобрекчии Южного столба – около 5%, тогда как хромшпинелиды высокоалмазоносного парагенезиса составляют 37-39% в автолитовой брекчии Северного столба и туфобрекчиях обоих столбов.

В целом к особенностям химического состава МСА из представляющих наибольший промышленный интерес автолитовых брекчий Северного столба относятся: повышенное по сравнению с другими типами пород содержание (около 24%) зерен пироба, содержащих 8-9 мас.%.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и хромитов, содержащих 60-65 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (50%), а также хромдиопсидов, сходных по составу с включениями в алмазе. При этом хромдиопсиды из автолитовой брекчии Северного столба в целом менее хромистые, чем в автолитовой брекчии и туфобрекчии Южного столба.

**Фактор особенности минералогии микрооксидов связующей массы.** Прежде всего отметим, что типоморфной особенностью изученных кимберлитовых пород трубок обеих групп – Архангельская, Карпинского-1, Карпинского-2 и Пионерская – является распространенность микрокристаллического магнезиохромита с высоким содержанием хрома (до 55-58 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) и низкими содержаниями титана и трехвалентного железа, свидетельствующая о зарождении кимберлитовых расплавов на больших глубинах, обеспечивающих возможность выноса алмазоносного материала. Из других особенностей применительно к конкретным телам и разновидностям пород укажем на следующие.

- Основное отличие автолитовых брекчий трубки им. Карпинского-1 и Северного столба трубки Пионерская заключается в отсутствии или крайне малом содержании титаномагнетита, что свидетельствует о низком окислительно-восстановительном потенциале в процессе образования этих пород и существовании благоприятных для сохранности алмаза условий.

- Широкая распространенность титаномагнетита в туфобрекчиях Северного и Южного столбов и в автолитовой брекчии Южного столба трубки Пионерская указывает на образования этих пород в условиях высокой фугитивности кислорода, что могло способствовать окислительному растворению кристаллов алмаза.

- Специфическая особенность кимберлитовых пород глубоких горизонтов трубки Пионерская – большое количество перовскита, а в порфириновых кимберлитах – еще и титаномагнетита, что неблагоприятно для сохранности алмаза. Для связующей массы кимберлитовых пород других тел перовскит не характерен.

- Автолитовым брекчиям трубок Архангельская и Карпинского-2 свойственна изменчивость количественного соотношения, химического и фазового составов

микрооксидов от образца к образцу. Данный факт можно рассматривать как свидетельство того, что степень алмазоносности и качество алмазов в вертикальном и горизонтальном разрезах данных тел, возможно, имеют неравномерный характер.

- Главное отличие ксенотуфобрекчий трубок им. Карпинского 1 и 2 от других типов кимберлитовых пород – повышенное количество зерен рутила, свидетельствующее о высокой активности титана в формирующих их расплавах.

### ***Выводы***

Подводя итог вышеизложенному по факторам алмазоносности кимберлитовых руд изученных трубок месторождения им. М.В. Ломоносова, можно сделать следующие основные выводы.

1) Морфология, характер поверхности и другие признаки большинства кристаллов указывают на пониженные Р-Т-условия их образования по сравнению с алмазами Якутии.

2) Значительно более высокая степень продуктивности основного типа руд – автолитовых брекчий трубок Карпинского-1 и Архангельской – по отношению к кимберлитовым породам трубок Карпинского-2 и Пионерской, обусловлена существенно меньшей степенью воздействия расплавно-мантийного метасоматоза, максимальная проявленность которого по отношению к кимберлитам Северной группы трубок привела не только к уничтожению значительной части алмазов в процессе растворения, но и к существенному увеличению доли додекаэдридов, особенно в крупных классах, что сопровождалось потерей их массы. И, кроме этого, именно в наиболее продуктивных трубках Южной группы увеличивается доля алмазов эклогитового парагенезиса.

3) Общее снижение качества алмазов в трубках Южной группы происходит не только из-за растворения крупных кристаллов и преобразования их в додекаэдриды, но и вследствие изначально более дефектной структуры кристаллов, т.к. преобладают додекаэдрические и тетрагексаэдрические алмазы с зонально-секториальным строением высокой степени напряженности, с большим количеством трещин, графитовых и флюидных включений. Что, вероятнее всего, связано с более глубокой степенью дифференциации исходного глубинного вещества.

В противоположность этому в трубках Северной группы тел отмечается доминирование бесцветных высокой степени прозрачности алмазов ультраосновного парагенезиса с послойным механизмом роста, что характерно для классических кимберлитов Якутии.

4) Существенное (а в отношении ксенотуфобрекчий и туфобрекчий Карпинского-1 резкое) снижение степени алмазоносности и качества кристаллов из ксенотуфобрекчий трубок Карпинского-2 и Пионерская, скорее всего, объясняется не только уменьшением

количества собственно кимберлитовой пирокластики, но и более значительной степенью окисленности собственно кимберлитового вещества, что фиксируется повышением общей железистости пород, с доминированием окисной формы и широкой распространенностью рутила в связующей массе автолитов из этих типов руд.

## 5 Новые данные по минералогии Дарай-Пиозского щелочного массива, Таджикистан: кадмиевая минерализация

В породах щелочного массива Дарай-Пиоз выявлена **кадмиевая минерализация**, представленная гринокитом, отавитом, Cd-содержащим церусситом.

При изучении образцов, собранных на морене Дарай-Пиоз, частично перекрывающей одноименный щелочной массив на южном склоне Алайского хребта (Таджикистан), в эгирин-кварц-полевошпатовых пегматоидных породах нами встречена кадмиевая минерализация, представленная гипогенным *гринокитом*, вторичными *отавитом* и *Cd-содержащим церусситом*, а также *кадмий-содержащим сфалеритом* (до 3.65 мас.% Cd). С массива Дарай-Пиоз А.Р. Файзиев и В.Д. Дусматов [17] описали сфалерит с содержаниями Cd 0.3-0.4 мас.%. Но другие Cd- и Cd-содержащие минералы на Дарай-Пиозе до сих пор не отмечались.

Гринокит и отавит встречены в обломках эгирин-микроклин-кварцевых пегматитов в галените, который образует небольшие гнезда, заполняющие интерстиции между крупными кристаллами полевых шпатов, а также формирует скопления среди гранулированного кварца в ассоциации с англезитом, туркестанитом, амфиболом рибекит-арфведсонитовой серии, полилитионитом, цезийкуплетскитом.

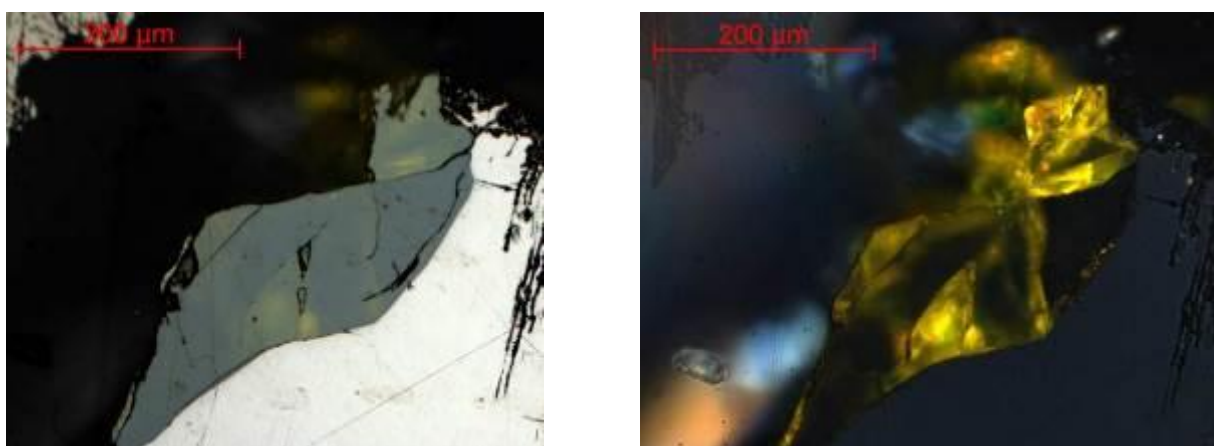


Рисунок 5.1 – Зерно гринокита с галенитом в отраженном свете: слева при одном николе; справа в скрещенных николях

**Гринокит** CdS образует очень редкие отдельные зерна размером 0.1-0.4 мм насыщенного желтого, зеленовато-желтого, желтого с оранжевым оттенком цвета с сильным

алмазным блеском, очень похожие на серу. Гринокит сростается с галенитом с образованием индукционных поверхностей, что говорит об их одновременной кристаллизации. В отраженном свете минерал темно-серый с зеленоватым оттенком и слабыми желтовато-зелеными рефlekсами; в скрещенных николях наблюдаются интенсивные оранжево-желтые рефlekсы (рисунок 5.1). В спектре отражения гринокита имеется характерный максимум в области 490-500 нм. Химический состав гринокита выдержан (Zn 3.3-3.8 мас.%). Рентгеновская порошковая диаграмма изученного гринокита близка к синтетическому CdS (гекс.).

**Отавит**  $\text{CdCO}_3$  встречен на контакте кварца с галенитом в виде желтоватой рыхлой корки  $\sim 0.5 \times 0.5$  мм, сложенной ромбоэдрическими кристалликами размером от первых микрон до 10-15 микрон, и их сростками. В изображении всобратных электронах наблюдается неоднородность, связанная с вариациями химического состава. По результатам электронно-зондового анализа, корки содержат (мол.%): 77-87  $\text{CdCO}_3$ , 4-19  $\text{CaCO}_3$ , 4-9  $\text{PbCO}_3$ , 1-5  $\text{ZnCO}_3$ . Диагностика минерала подтверждена рентгеновским порошковым методом. Часть линий порошковой диаграммы соответствует церусситу, который развивается по галениту и отавиту и содержит до 2.7 мас.%  $\text{CdO}$ . На рис. 5.2 представлены треугольные диаграммы составов отавита Дарай-Пиоза в сопоставлении с составами отавита из других объектов.

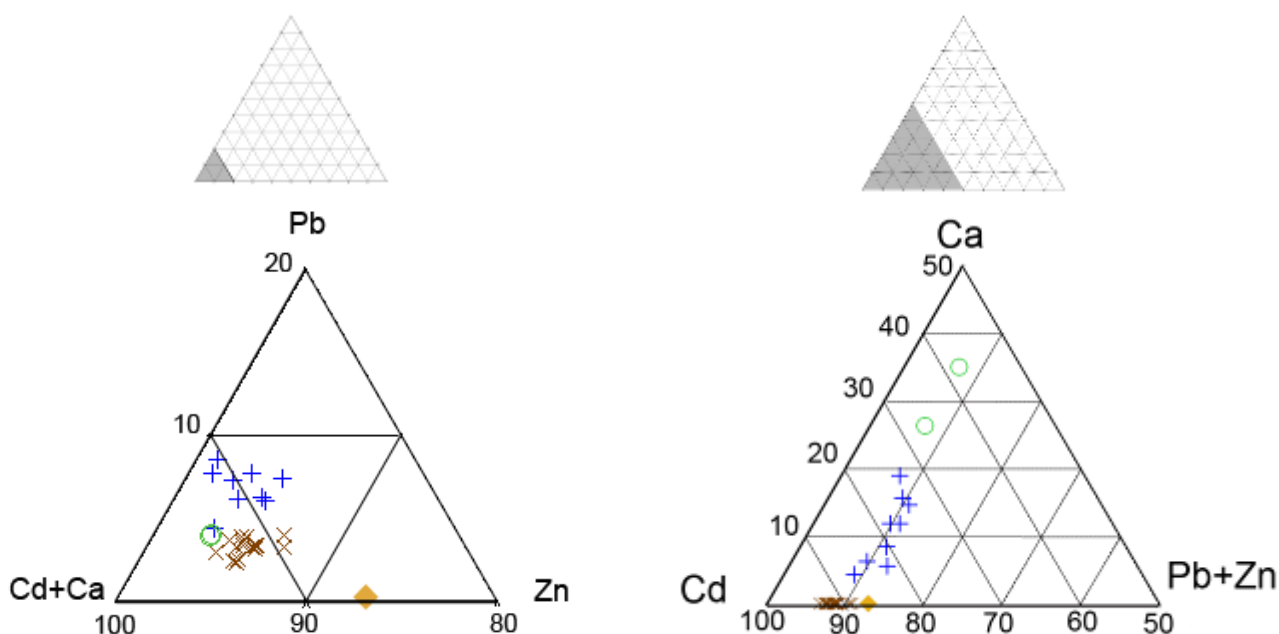


Рисунок 5.2 – Составы (мол.%) отавита на тройной диаграмме конечных членов:  $\text{CdCO}_3(\text{Cd})$ ,  $\text{CaCO}_3(\text{Ca})$ ,  $\text{PbCO}_3(\text{Pb})$ ,  $\text{ZnCO}_3(\text{Zn})$ . + - Дарай-Пиоз (наши данные); × - Цумеб, Намибия (www.ruff.info, обр. R050677). ○ - Coldstones Quarry. N. Yorkshire. Англия (Young et al. 1987); ◆ - Мо Ба, Вьетнам (Johan, 1962)

Более распространенным концентратом кадмия на Дарай-Пиозе является *сфалерит*. Составы для сфалерита из некоторых ассоциаций показывают, что во всех его проанализированных образцах присутствует Cd в количестве от 0.12 до 3.65 мас. %.

Несмотря на близость геохимических свойств цинка и кадмия, что обуславливает частичное связывание кадмия в сфалерит, здесь мы наблюдаем разделение Zn и Cd, причины которого кроются в связывании части цинка с силикатами группы миларита, за счет чего снижается количество цинка, которое могло бы пойти на образование сфалерита, а следовательно, увлекло бы за собой и часть кадмия. Другой причиной является дефицит серы, что спровоцировало первоочередную фиксацию кадмия как более халькофильного по сравнению с цинком элемента в форме гринокита. Возможно, это **первый случай находки собственно кадмиевых минералов в щелочных породах**.

Результаты исследования оформлены в виде статьи [18].

## **6 Новые данные по минералогии гранитных пегматитов Памира (Таджикистан) и Туркестанского хребта (Киргизия)**

В рамках тем НИР музея по изучению минерального разнообразия уникальных минералогических объектов, а также по изучению типохимизма породообразующих минералов продолжались работы на месторождениях традиционного со времен академика А.Е. Ферсмана генетического типа – гранитных пегматитах.

### **6.1 Гранитные миароловые пегматиты Восточного и Юго-Западного Памира**

Миароловые пегматиты Восточного и Юго-Западного Памира отличаются разнообразной и во многом уникальной редкометальной минерализацией. В результате работ получены следующие результаты.

#### **6.1.1 Скандийсодержащий тусионит и новый минерал бадахшанит-(Y) из пегматитов Кукуртского узла, Восточный Памир**

Впервые на Восточном Памире обнаружен весьма редкий брат марганца и олова – **тусионит**, представленный новой скандийсодержащей разновидностью [19]. До этой находки высокие содержания скандия в братах не отмечались. Нами тусионит обнаружен в 270 км к В-СВ от места первой находки (долины р. Тусион, Юго-Западный Памир) в пегматитах Кукуртского узла (долины р. Кукурт) на Восточном Памире (рисунок 6.1). Пегматит Дорожный, в котором был обнаружен тусионит, входит в состав Кукуртского пегматитового поля, расположенного в 45 км к востоку от районного центра, п. Мургаб (Горно-Бадахшанская автономная область Республики Таджикистан). В геологическом плане пегматитовое поле находится в пределах Музкол-Рангульского антиклинория, в ядре которого обнажается выступ докембрийского фундамента. Миароловые пегматиты



пространственно и генетически связаны с лейкократовыми двуслюдяными гранитами альпийского возраста шатпутского интрузивного комплекса [20, 21].



А

Б

Рисунок 6.1 – Кукуртский пегматитовый узел. а) – вид на долину реки Кукурт, б) – пегматит Дорожный, правый борт р. Кукурт

Пегматитовые тела залегают в экзоконтакте массива шатпутских гранитов среди пород сарыджилгинской свиты ( $PR_3?$ ), представленных гнейсами, кристаллическими сланцами, кварцитами, песчаниками, мраморами, метаморфизованными в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций. Тусионит диагностирован в образце из околомаролового комплекса, сложенном кварцем, калиевым полевым шпатом, альбитом, турмалином и Sc-содержащим спессартином. Акцессорные минералы представлены фторапатитом, иттрийсодержащим флюоритом (до 3 мас.% Y), Sn-содержащим титанитом, магнетитом, поликразом-(Y), высокоборным гадолинитом, иксиолитом, манганколумбитом, пироксеном, черновитом-(Y), касситеритом, варламовитом, лепидолитом, бадахшанитом-(Y), цезиевой слюдой ( $Cs_2O$  23 мас.%), высокогафниевым цирконом ( $HfO_2$  до 17.0 мас.%). Тусионит образует тонкие пластинчатые зерна размерами от 0.05-4 мм в наибольшем измерении (рисунок 6.2). Тусионит обладает желтым цветом, прозрачный с сильным стекляннным блеском. Плотность минерала больше  $4.20 \text{ г/см}^3$ . Тусионит оптически одноосный отрицательный. Показатели преломления  $n_o = 1.870(5)$ ,  $n_e = 1.760(3)$ . Микротвердость  $325 \text{ кг/мм}^2$ . Получены спектры комбинационного рассеяния тусионита на рамановском спектрометре XPlora (Horiba Scientific), совмещенном с конфокальным микроскопом.

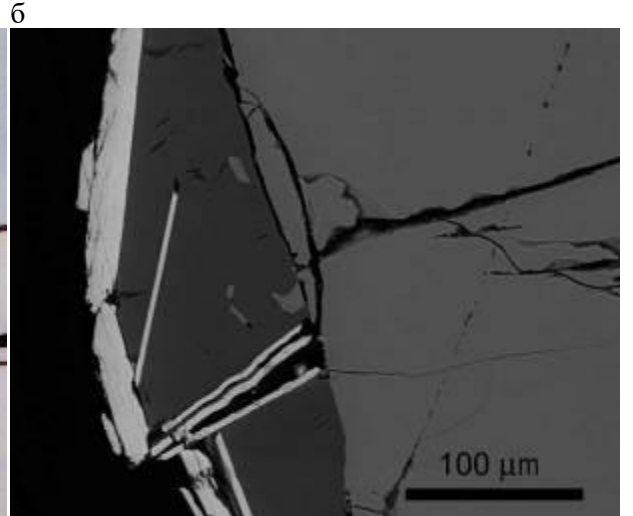
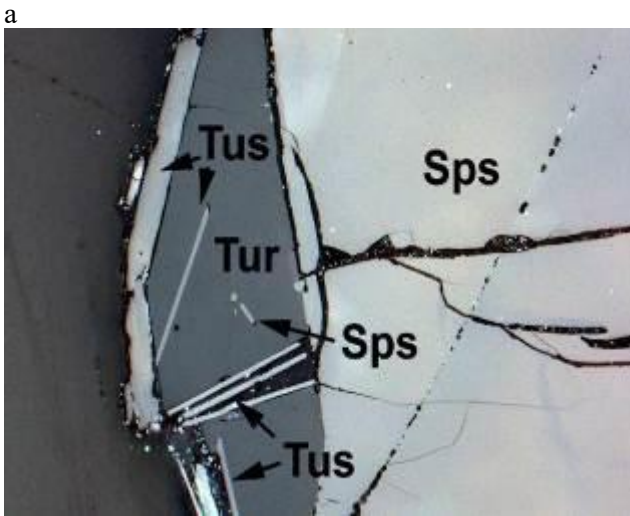
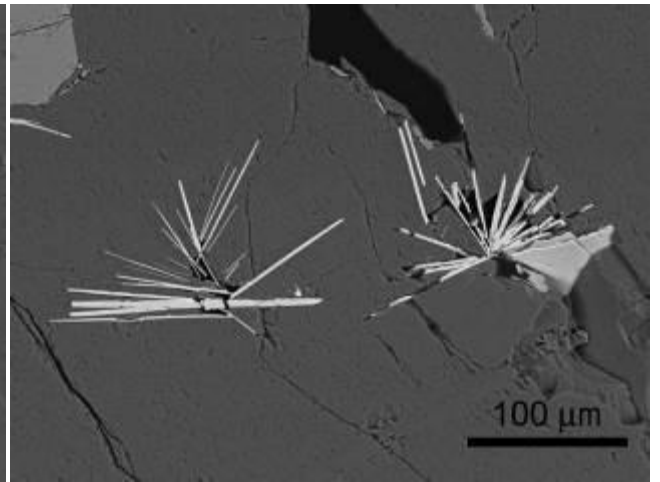
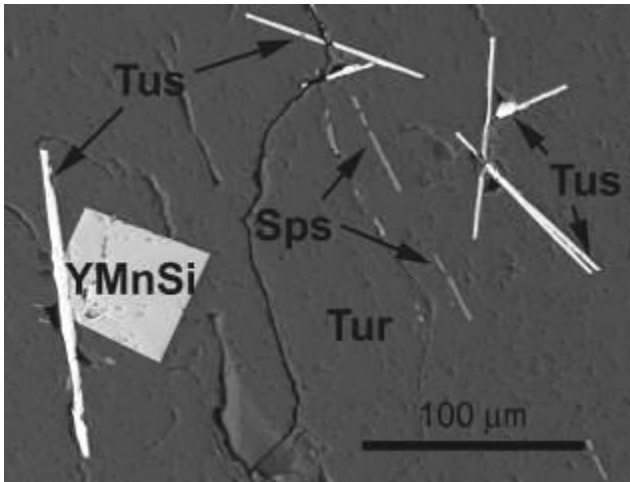


Рисунок 6.2 – Пластинчатые кристаллы туссионита (Tus) в турмалине (Tur). Sps – спессартин, YMnSi – иттрий-марганцевый боробериллосиликат. а, б, в – изображения в режиме BSE, г – изображение в отраженном свете при одном николе

Туссионит изоструктурен норденшельдину, и их рамановские спектры схожи (рисунок 6.3).

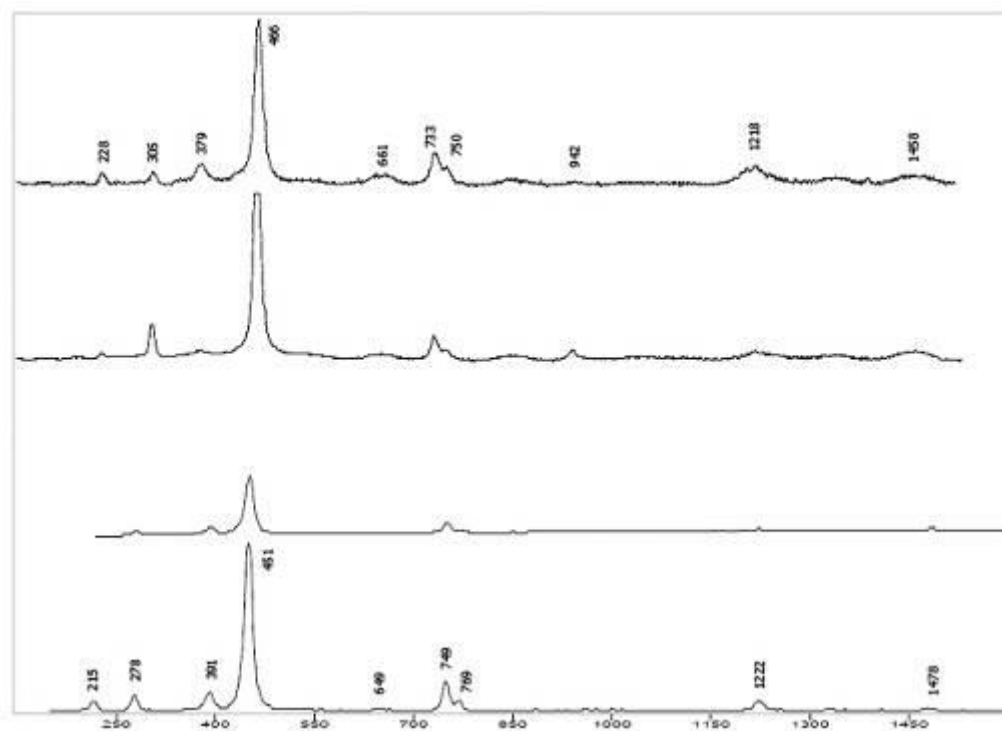


Рисунок 6.3 – Рамановские спектры туссионита с Восточного Памира (два верхних – наши данные) и норденшельдина (два нижних спектра из базы данных RRUF ([www.ruff.org](http://www.ruff.org)), R061079)

Колебание  $\nu_1$  на рамановских спектрах не выражено, а  $\nu_2$  дает характерный sdвоенный пик. Sдвоенность пика может быть связана с двумя стабильными изотопами бора. Отношение  $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$  в природных объектах близко к 4.  $^{11}\text{B}$ , как более распространенный и более тяжелый, дает более интенсивное колебание с меньшим рамановским сдвигом.

Химический состав туссионита изучался методами локального электронно-микронзондового анализа в лаборатории Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН. Анализы с использованием энергодисперсионного Si(Li)-детектора проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА с помощью системы анализа INCA Oxford.

Отличительной особенностью химического состава туссионита с Восточного Памира является его обогащенность скандием – до 1.5 мас.%  $\text{Sc}_2\text{O}$  (рисунок 6.4), что в пятьдесят раз выше, чем в туссионите из пегматитов Калифорнии и Чешской Республики.

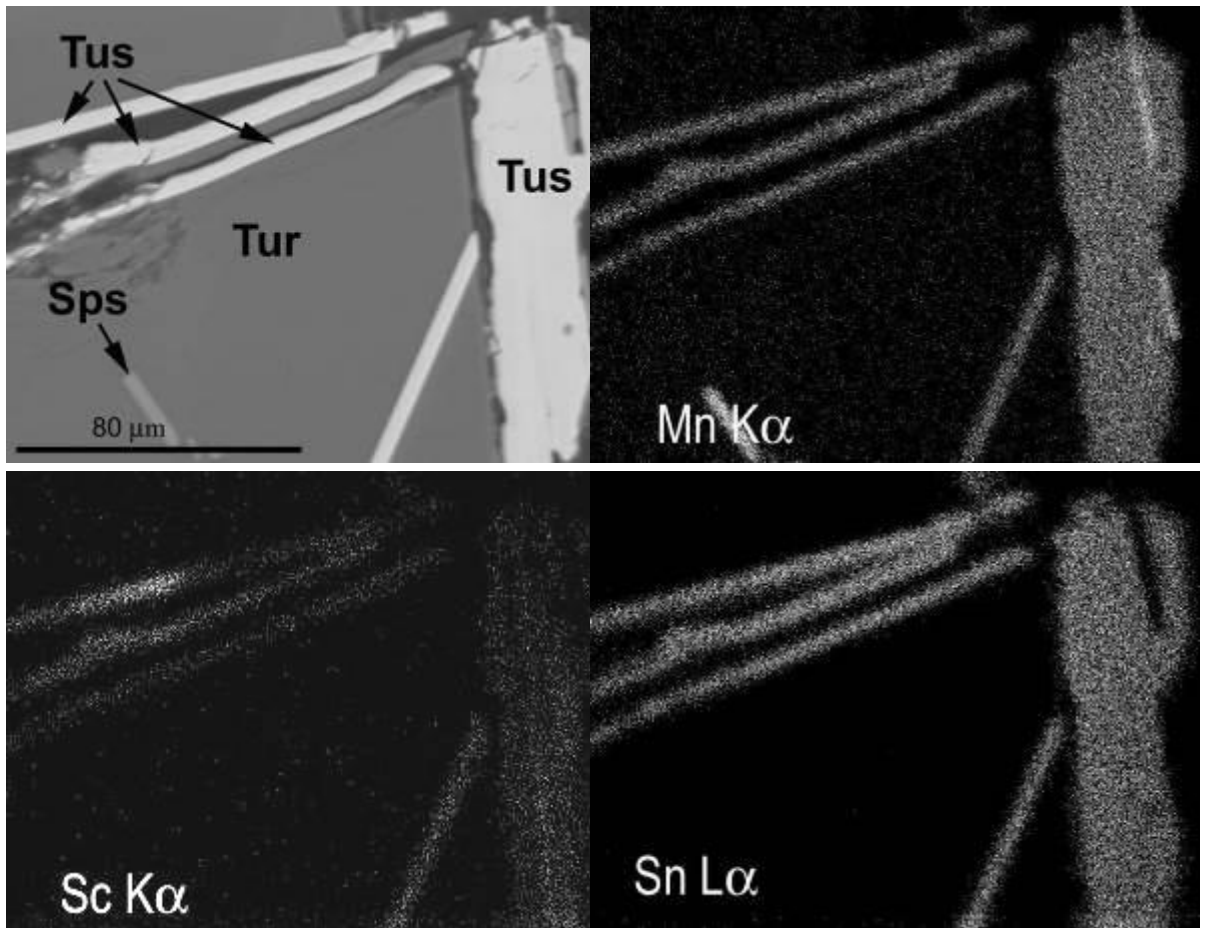
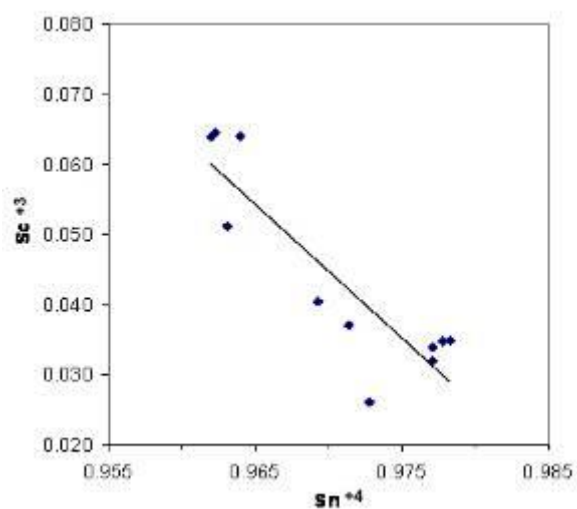
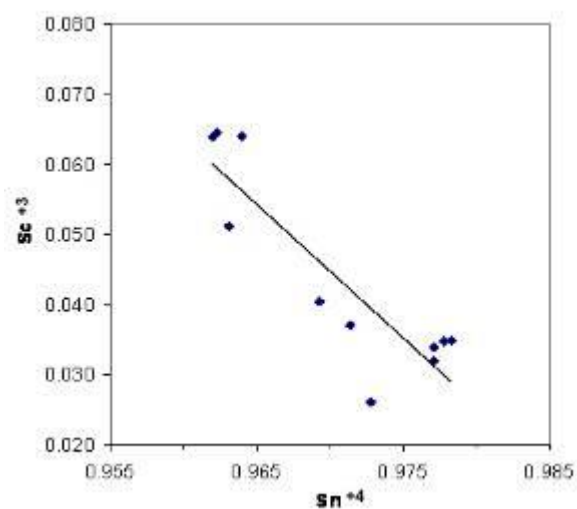


Рисунок 6.4 – Выделения тусионита (Tus) в турмалине (Tur) со спессартином (Sps). Изображения в отраженных электронах (BSE) и характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов, полученные на волно-дисперсионных спектрометрах

Несмотря на довольно высокие содержания скандия в тусионите, механизмы его вхождения и схемы компенсации заряда при изморфизме недостаточно ясны. Наиболее вероятным нам представляется замещение  $\text{Sn}^{+4}$  на  $\text{Sc}^{+3}$  с заменой части  $\text{Mn}^{+2}$  на  $\text{Mn}^{+3}$ , однако на вариационных диаграммах (рисунок 6.5) видно, что скандий находится в отрицательной корреляции не только с оловом, но и с суммой марганца и железа, что может свидетельствовать о вхождении скандия в две октаэдрические позиции, заселенные преимущественно  $\text{Sn}^{+4}$  и  $\text{Mn}^{+2}$  соответственно.



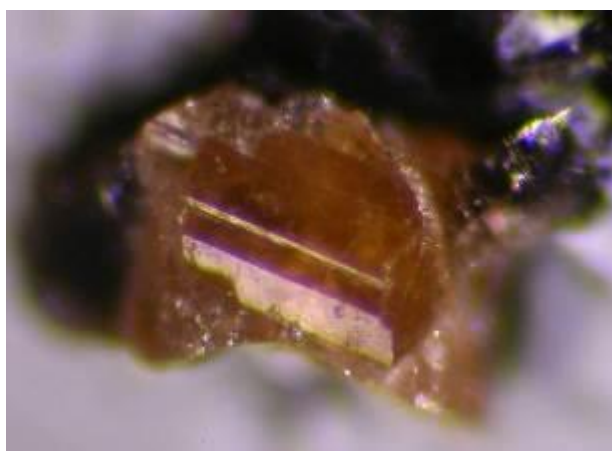
a



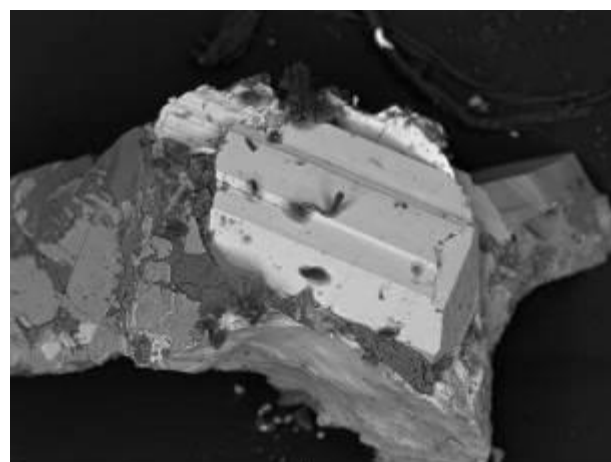
b

Рисунок 6.5 – Вариационные диаграммы содержания Sc и Sn (a), Sc и суммы Mn и Fe (b) в тусионите с Восточного Памира (формульные коэффициенты, расчет на O = 6)

В этом же пегматите Дорожный Кукуртского пегматитового узла, Восточный Памир, открыт новый минерал – **бадахшанит-(Y) Badakhshanite-(Y)  $Y_2 Mn_4 Al(Si_2 B_7 BeO)_{24}$**  (рисунок 6.6). Ромбический, пр.гр. *Pnma*,  $a = 12.852(1)$ ,  $b = 4.5848(5)$ ,  $c = 12.8539(8) \text{ \AA}$ ,  $V = 757.38(7) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ .



a



b

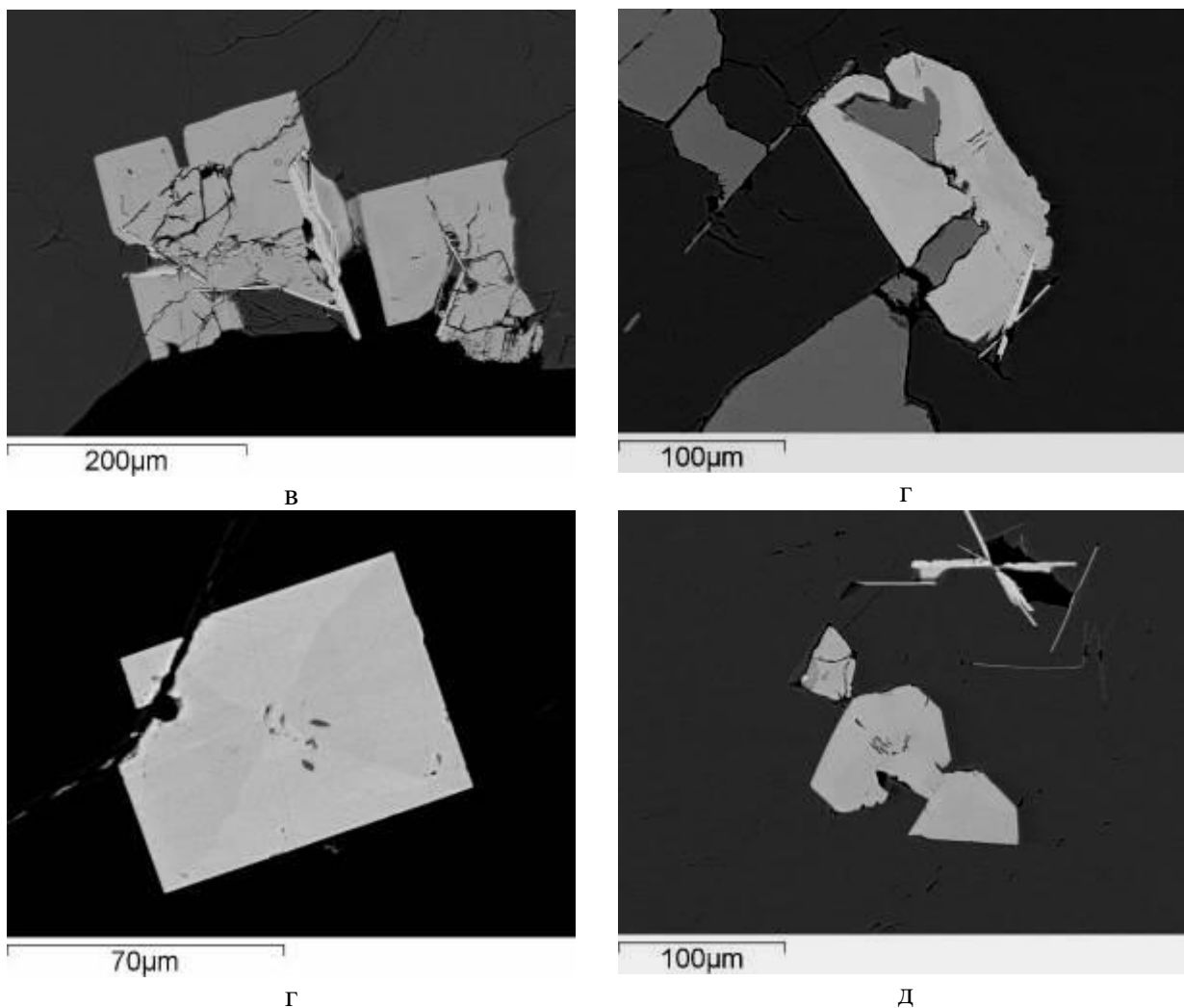


Рисунок 6.6 – Кристалл бадахшанита-(Y): а) изображение под бинокулярным микроскопом, б) изображение в режиме отраженных электронов, в-д) сечения кристаллов бадахшанита-(Y) в спессартине и турмалине с туссионитом

Минерал является *Al-Be-аналогом перетиита-(Y)*.

### 6.1.2 Герценбергит из Вез-Дары, Юго-Западный Памир

В гранитном миароловом пегматите Вез-Дара на Юго-Западном Памире описан редкий сульфид олова – **герценбергит SnS** [22]. Вез-Даринская жила (она же жила № 86) находится в правом борту долины реки Вез-Дара (левом притоке реки Шахдара) в 11 км от устья (рисунок 6.7).





а

б

Рисунок 6.7 – Вид долины реки Вез-Дара и пегматитовой жилы: а) верховья реки Вез-Дары, на горизонте на правом борту виден ледник и скальный выход, в котором расположена пегматитовая жила, б) Вез-Даринская пегматитовая жила и выше ее пласт мраморов (светлое) в гнейсах

Миароловые пегматиты Юго-Западного Памира, включая Вез-Даринскую жилу, относят к малоглубинным (1.5-3 км) пегматитам [23] и связывают их возникновение со становлением мел-палеогеновых стресс-гранитов памиро-шугнанского комплекса, хотя пространственной связи этих пегматитов с каким-либо гранитами вообще не обнаруживается [24, 23]. Возраст миароловых пегматитов, по трекам от осколков деления урана в апатите,  $3,2-7,5 \pm 0,5$  млн лет, что близко к возрасту становления гранитов памиро-шугнанского комплекса [23]. Вез-Даринская жила (рисунок 6.7) представляет собой уплощенное трубообразное тело, падающее на С-С-В, в среднем под углом  $55^\circ$ , протяженностью около 70 м и имеющее изменчивую мощность до 8-9 м. Герценбергит встречен в виде агрегатов неправильной формы и прожилков до 5 мм, замещенных в различной степени «варламовитом» (рисунок 6.8), в среднезернистой калишпат-кварцевой породе из околومیаролового комплекса пегматита. Цвет герценбергита в свежем сколе стально-серый, на выветрелой поверхности – темно-серый, блеск металлический. Черта черная.

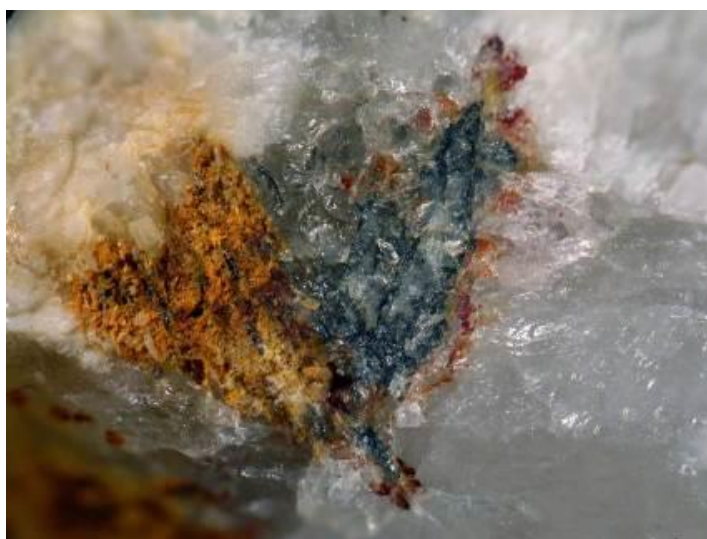
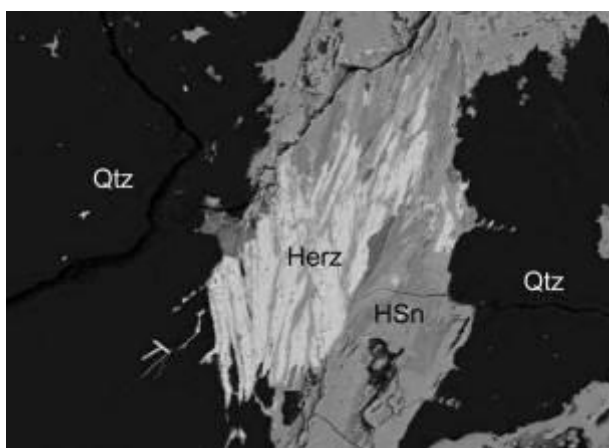
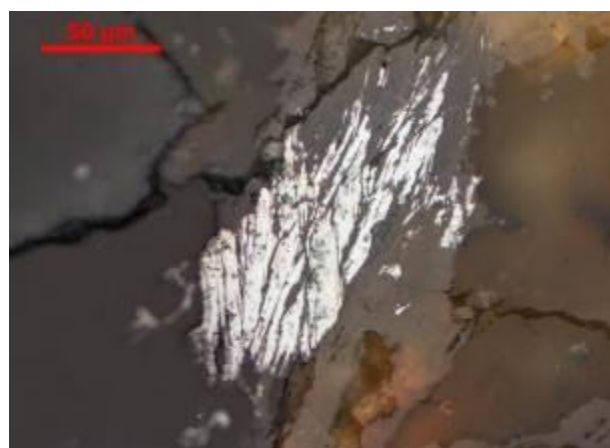


Рисунок 6.8 – Удлиненные зерна герценбергита (темно-серое) с варламовитом (коричневато-желтые агрегаты) в кварце из пегматита Вез-Дара (Ю-З Памир). Ширина поля зрения 7.5 мм

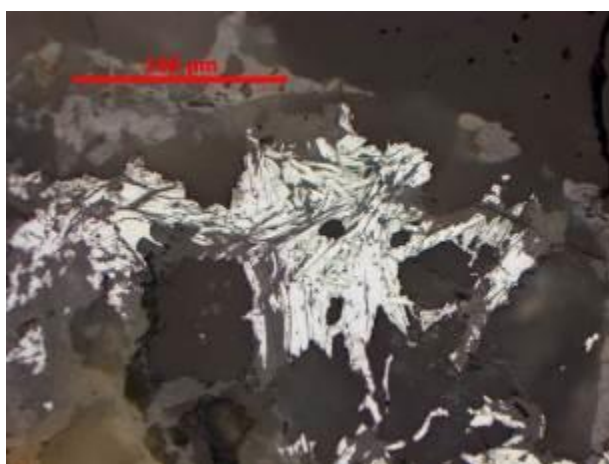
Минерал в отраженном свете имеет белый цвет (рис. 6.9), отражательная способность умеренно высокая, при 560 нм  $R_g = 49.9$  и  $R_p = 43.5\%$  (микроспектрофотометр UMSP-50, стандарт – WTiC). Двуотражение в воздухе слабое, в иммерсии видно отчетливо. Анизотропия сильная, в иммерсии – очень сильная. Наблюдаются цветные эффекты анизотропии. Герценбергит – мягкий минерал, микротвердость 82 кгс/мм<sup>2</sup>. Параметры ромбической элементарной ячейки:  $a = 4.331(2) \text{ \AA}$ ,  $b = 11.195(3) \text{ \AA}$ ,  $c = 3.983(2) \text{ \AA}$ .



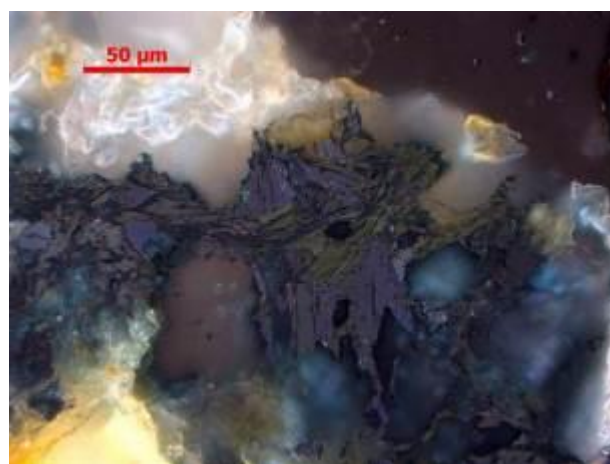
а



б



в



г

Рисунок 6.9 – Пластинчатые выделения герценбергита (Herz), агрегаты «варламовита» (гидростаннатов) (HSn) в кварце (Qtz). Полированный шлиф: а) вид в отраженных электронах (BSE); б) тот же участок шлифа в отраженном свете при одном николе; в) агрегат пластинчатых зерен герценбергита (белое) в агрегате из зерен кварца, отраженный свет при одном николе; г) тот же участок в скрещенных николях. Зерна герценбергита в различной ориентировке имеют разный цвет

Химический состав герценбергита из Вез-Даринской жилы изучен методами локального электронно-зондового анализа на микроанализаторе JCSA-733 фирмы JEOL с помощью энергодисперсионного Si(Li)-детектора и системы анализа INCA Energy 350 фирмы Oxford Instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА. Изученный герценбергит с ЮЗ Памира близок к идеальному составу, отвечающему формуле SnS. Образование герценбергита в пегматитах возможно несколькими путями: прямой



кристаллизацией из Sn-содержащих флюидов и путем псевдоморфного замещения оловосодержащих минералов, прежде всего касситерита. Для сульфидизации  $\text{SnO}_2$  в гидротермальных условиях, по экспериментальным работам, наиболее благоприятны кислые растворы и восстановительная обстановка при сравнительно низкой температуре (менее 300 °С). Герценбергит в образце из пегматитовой жилы Вез-Дара имеет автоморфные формы, а следов коррозии касситерита обнаружено не было, что дает возможность предположить, что кристаллизация сульфида олова проходила не за счет замещения касситерита, а прямой кристаллизацией в восстановительных условиях из обогащенного  $\text{Sn}^{+2}$  кислого раствора на низкотемпературном гидротермальном этапе становления пегматита.

### **6.1.3 Уранополикраз с Кухилала, Юго-Западный Памир**

Описан уранополикраз  $(\text{U}, \text{Y})(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_6$  из миаролового пегматита Музейный в районе месторождения Кухилал [25] (рисунок 6.10). Пегматитовые жилы залегают в доломитовых мраморах докембрийской горанской серии и характеризуются ярко проявленной контаминацией и развитием реакционных метасоматических зон на контакте с вмещающими породами. Образование миароловых пегматитов связывают со становлением кайнозойских синметаморфических стресс-гранитов Памирско-Шугнанского гранит-лейкогранитового комплекса. Жила Музейная представляет собой кварц-микроклин-олигоклазовый пегматит. Второстепенные и акцессорные минералы представлены кордиеритом, андалузитом, дравитом, апатитом, монацитом, касситеритом, магноколумбитом, цирконом, рутилом, в том числе Nb-содержащим (ильменорутилом) и др. [26 и др.]. По данным Л.Н. Россовского и С.А. Морозова [27], кристаллизация породообразующих минералов пегматитов проходила при температурах не ниже 525 °С (без учета поправок на давление), а минералов полостей – от 490-400 °С. Более подробную информацию о пегматитах Кухилала, включая жилу Музейную, можно почерпнуть из обобщающих работ [28 и др.].



Рисунок 6.10 – Общий вид района месторождения Кухилал на Юго-Западном Памире. На заднем плане видны белые отвалы штолен месторождения благородной шпинели. 2016 г.

Уранополикраз встречен в блоковом кварце околомияролового комплекса пегматита. Минерал представлен таблитчатыми удлинёнными зёрнами прямоугольного сечения и редко кристаллами от 4 мм длиной и 0.6 мм шириной (рисунок 6.11). Уранополикраз имеет чёрный цвет, раковистый излом, в сколе сильный смолистый блеск. Хрупкий. Черта светло-коричневая.



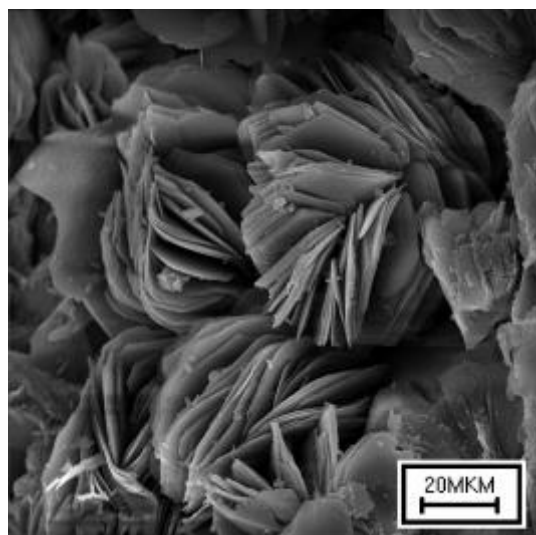
Рисунок 6.11 – Кристалл уранополикраза длиной 4 мм в кварце из пегматита Музейный (Кухилал, ЮЗ Памир)

Микротвёрдость  $VHN_{100} = 596$ . По 5 анализам усреднённая формула минерала:  
 $(U_{0.54}Y_{0.26}Th_{0.05}Dy_{0.03}Er_{0.03}Yb_{0.03}Ho_{0.01}Nd_{0.01}Ca_{0.02}Fe_{0.01}Mn_{0.01})_{1.00}(Ti_{1.63}Nb_{0.34}Ta_{0.02}W_{0.02})_{2.01}O_6$

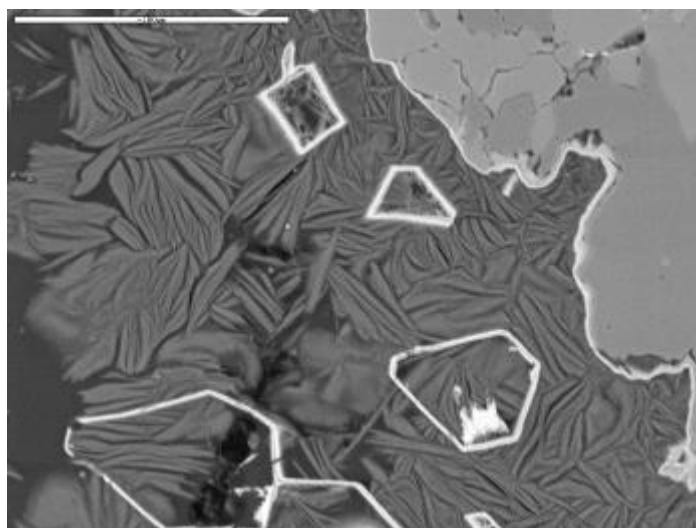
Минералы ряда поликраза, вероятно, являются главными минералами – концентраторами урана в пегматите Музейный.

## 6.2 Новый минерал акоповаит из редкометальных пегматитов Карасу-Каравшинского месторождения (Туркестанский хребет, Киргизия)

В олово-бериллиевых пегматитах Карасу-Каравшинского месторождения (Туркестанский хр., Киргизия) открыт новый минерал **акоповаит**  $\text{Al}_4\text{Li}_2(\text{OH})_{12}(\text{CO})_3(\text{H}_2\text{O})_3$ . Моноклинный, пр.гр.  $C2/m$ , параметры ячейки  $a = 5.0953(6)$ ,  $b = 8.877(1)$ ,  $c = 7.806(1)$  Å,  $\beta = 102.572(6)$ ,  $V = 344.61(8)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 1$ . Входит в *группу квинтинита (надгруппа гидроталькита)*. Назван в честь Акоповой Анны Вартановны (р. 1952), преподавателя химии гимназии №14 г. Ростова-на-Дону с более чем 45-летним стажем, которая во многом способствовала профессиональной ориентации своих учеников, в том числе и одного из авторов минерала. Минерал встречен в виде сферолитовых агрегатов пластинчатых кристаллов (20-40 микрон) в пустотках альбита (рисунок 6.12) в Li-Sn кварц-мусковит-полевошпатовых пегматитах Карасу-Каравшинского месторождения Туркестанского хребта, локализованных среди кристаллических сланцев нижнесилурийского возраста, метаморфизованных до амфиболитовой фации, которые прорываются Каравшинским гранитным батолитом. В ассоциации с акоповаитом находятся сидерит, монтебразит, гиббсит, шерл, недиагностированный Fe-Mn-оксид. Статья в печати [29].



а



б

Рисунок 6.12 – Сrostок радиально-пластинчатых псевдогексагональных кристаллов акоповаита (а), в том числе с полыми (футляровидными) псевдоморфозами Mn-оксида по кристаллам сидерита (б). Изображение в режиме BSE

Данные по химическому составу акоповаита приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты химического анализа акоповаита

Компоненты	Акоповаит, Карасу				Акоповаит, теоретич. состав, wt.%
	Wt.%	Разброс	Станд. отклонение	Стандарты для зондового анализа	
	1	2	3	4	5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.55	45.1 – 47.5	0.85	microcline std15	46.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.27	0 – 0.50	0.18	ilmenite	
Li <sub>2</sub> O	6.72*				6.79
CO <sub>2</sub>	10.27** (10.76)				10.00
H <sub>2</sub> O	36.87*** (35.8)				36.90
<b>Сумма</b>	<b>100.68</b>				<b>100.00</b>

**Примечания**

\* Измерен методом отношений

\*\* CO<sub>2</sub> рассчитан по балансу зарядов

\*\*\* Вода рассчитана по стехиометрии

В скобках приведены скорректированные данные по CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, полученные методом CHN-анализа  
Число анализов: 4 – микрозонд (Al, Fe); 3 – ICP-OES (Li); 2 – метод CHN-анализа (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)

Эмпирическая формула минерала (Al<sub>4.01</sub>Fe<sub>0.01</sub>)Li<sub>1.98</sub>(OH)<sub>12</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>1.025</sub>•3H<sub>2</sub>O.

Принадлежность минерала группе гидроталькита подтверждается рамановскими спектрами, на которых имеются характерные колебания (см<sup>-1</sup>): CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (1065, 1046, 692), OH<sup>-</sup> (3520) и H<sub>2</sub>O (3000-3400, 980, 890) (рисунок 6.13).

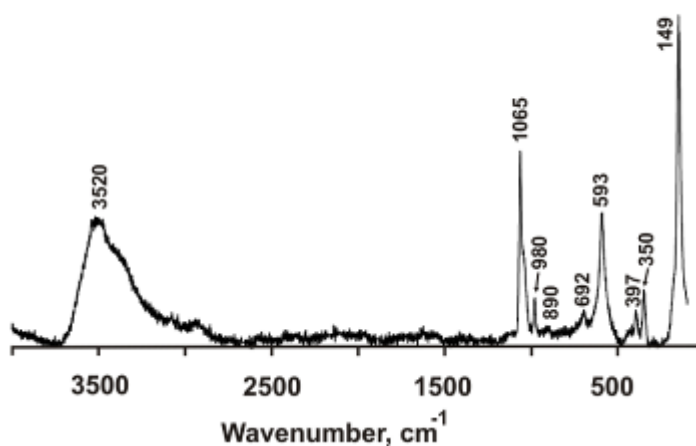


Рисунок 6.13 – Рамановский спектр акоповаита

Минерал имеет давнюю историю изучения, однако лишь теперь удалось окончательно расшифровать его структуру и записать корректную формулу. Структура минерала была уточнена методом Ритвельда на монокристалльном дифрактометре Rigaku R-AXIS Rapid II с геометрией Дебая-Шеррера ( $d = 127.4 \text{ nm}$ ). Минерал относится к так называемым оксидам со сдвоенным слоем (LDH). Двойные слоистые гидроксиды – обширный класс природных и искусственных соединений, являющихся производными от  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  со структурами типа брусита, либо от  $\text{Al}(\text{OH})_3$  со структурами типа бемита либо гиббсита. Природные соединения этих типов объединены в настоящее время в надгруппу гидроталькита. Наряду с собственно гидроталькитом к первому типу относятся, к примеру, многочисленные полиморфы квинтинита [30]. Более редким случаем являются минералы – производные от структур бемита или гиббсита. К последнему типу относится, в частности, и акоповаит, в котором Li заполняет промежутки в гиббситовом слое (рисунки 6.14, 6.15).

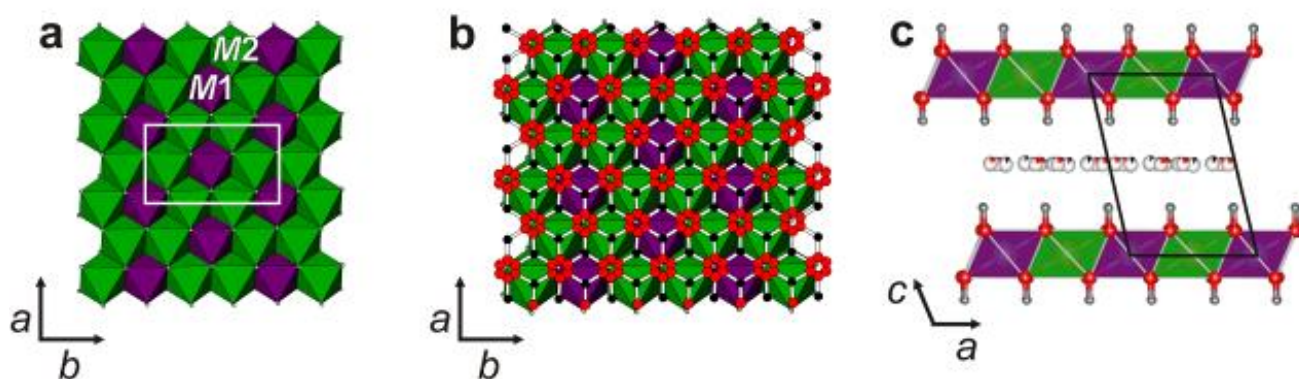


Рисунок 6.14 – Кристаллическая структура акоповаита: а) металл-гидроксидный слой  $\{[\text{Al}_4(\text{OH})_{12}\text{Li}_2]^{2+}\}$  (M1 = Li, M2 = Al); б) металл-гидроксидный слой с межслоевыми атомами (О – красные шары, С – черные шары) и в) проекция металл-гидроксидного слоя и слоя с межслоевыми атомами вдоль оси  $Y$

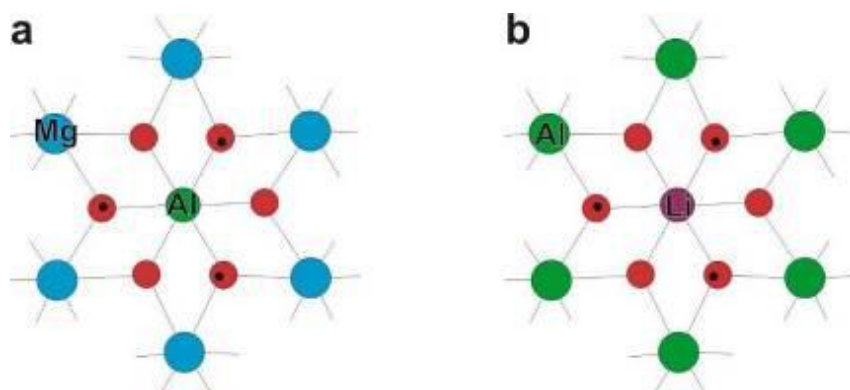


Рисунок 6.15 – Локализация атомов металл-гидроксидного слоя в: а) квинтините и б) акоповите



## 7 Редкоземельная минерализация месторождения Мочалин Лог, Южный Урал, Россия

Месторождение Мочалин Лог обрабатывалось на россыпное золото и известно также своими находками редкоземельных минералов – церита, тёрнебомита и др. Находится в самой южной части Вишневогорского массива в Потаниных горах на Южном Урале. Верховья ручья расположены между горами Потанина и Никольской, ручей впадает в речку Борзовку возле горы Борзовочная.

За 2018 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 – представители редкой *лантановой минерализации*:

- 1) **Феррипербёит-(La)**  $(CaLa_3)(Fe^{3+}Al_2Fe^{2+})[Si_2O_7][SiO_4]_3O(OH)_2$  (рисунок 7.1). Моноклинный, пр.гр.  $P21/m$ ,  $a = 8.9658(2) \text{ \AA}$ ,  $b = 5.72997(2) \text{ \AA}$ ,  $c = 17.6192(9) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 115.9497(19)^\circ$ ,  $V = 812.06(3) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ .

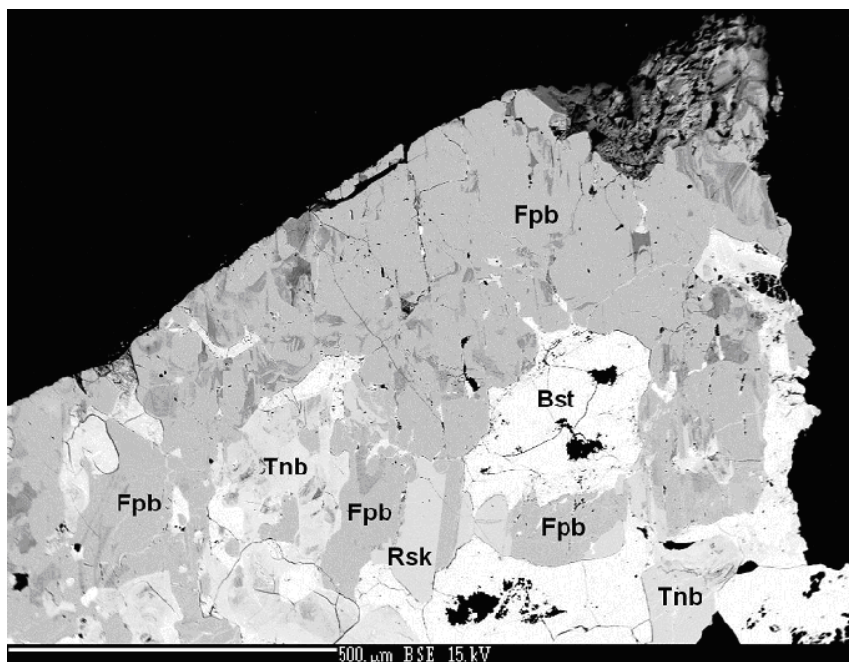


Рисунок 7.1 – Феррипербёит-(La) (Fpb) ассоциирует с бастнезитом-(Ce) (Bst), тёрнебомитом-(La) (Tnb) и радекшкодаитом-(La) (Rsk). Темно-серые включения в Феррипербёите-(La) являются алланитом-(La)/ферроалланитом-(La). Изображение в режиме BSE

- 2) **Радекшкодаит-(La)**  $(CaLa_5)(Al_4Fe^{2+})[Si_2O_7] [SiO_4]_5O(OH)_3$  (рисунки 7.2, 7.3). Моноклинный, пр.гр.  $P21/m$ ,  $a = 8.9604(3) \text{ \AA}$ ,  $b = 5.7268(2) \text{ \AA}$ ,  $c = 25.1128(10) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 116.627(5)^\circ$ ,  $V = 1151.98(7) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ .

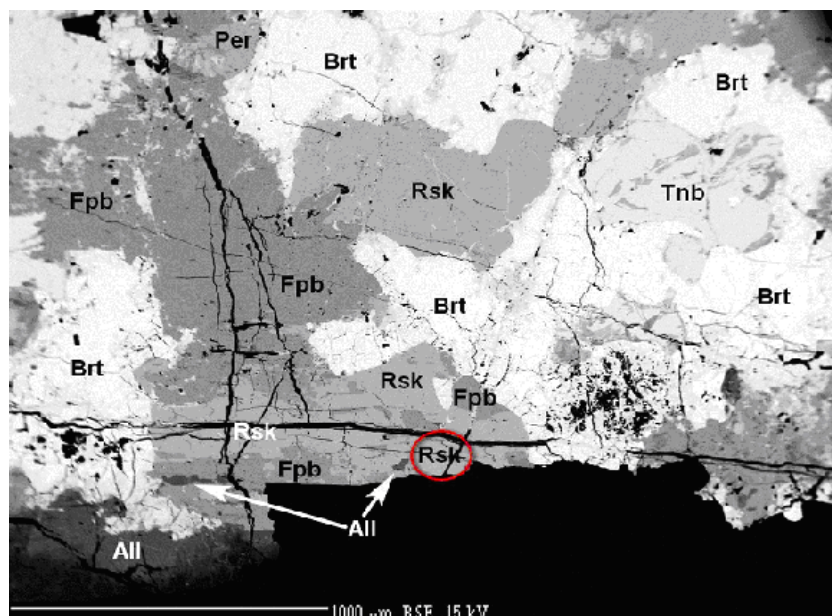


Рисунок 7.2 – Радекшкодаит-(La) (Rsk) сростается с ферроперрбёитом -(La) (Fpb), фторбритолиитом-(Ce) (Brt), алланитом-(La) (All), тёрмобомитом-(La) (Tnb) и перрбёитом-(La) (Per). Черное зерно – кварц. Красный круг показывает место, из которого новый минерал был извлечен для структурного исследования

Определение структуры показало, что радекшкодаит-(La) обладает *новым структурным типом*. В его структуре чередуются слои эпидотового и тернебомитового типа.

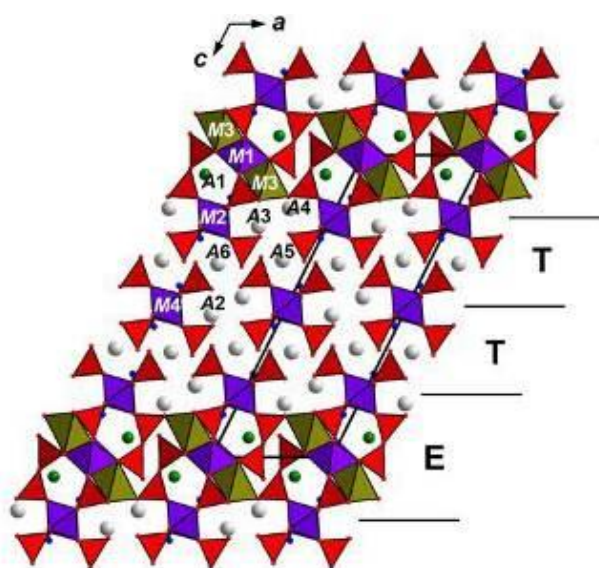


Рисунок 7.3 – Проекция XZ кристаллической структуры радекшкодаит-(La). SiO<sub>4</sub>-тетраэдры красные. Н-атомы OH-группы показаны как маленькие синие круги. Чередование слоев эпидотового типа (E) и слоев тернебомитового типа (T)

3) **Перрбёит-(La)** (CaLa<sub>3</sub>)(Al<sub>3</sub>Fe<sup>2+</sup>)[Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>][SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>O(OH)<sub>2</sub> (рисунок 7.4). Моноклинный, пр.гр. *P21/m*,  $a = 8.9652(4) \text{ \AA}$ ,  $b = 5.7306(2) \text{ \AA}$ ,  $c = 17.6770(9) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 116.053(6)^\circ$ ,  $V = 815.88(6) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ .

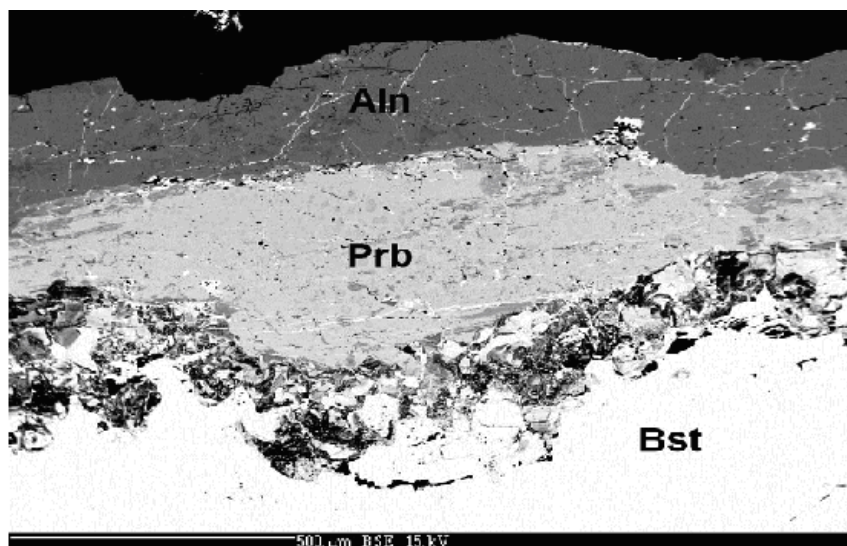


Рисунок 7.4 – Средняя зона корки, главным образом состоящей из перрбёита-(La) (Prb) «зажата» между бастнезитом-(Ce) (Bst) и алланитом-(La)/ферроалланитом-(La) (Aln). Темно-серые включения в перрбёите-(La) являются алланитом-(La)/ферроалланитом-(La). Изображение в режиме BSE

## 8 Таллиевая минерализация Воронцовского золоторудного месторождения, С. Урал, Россия

В отчетном году работы по исследованию уникальной таллиевой минерализации были продолжены. Воронцовское месторождение залегает среди порфиров и туфов андезитового состава, туффитов и известняков раннедевонского возраста, местами скарнированных под воздействием Ауэрбаховского массива. Главное рудное тело линзовидной формы – минерализованные брекчии известняков, подвергнутые скарнированию, серицито-кварцевым, джаспероидным и другим изменениям и содержащие кварцевые жилы и прожилково-вкрапленные зоны. Рудное тело расположено в висячем крыле надвига. Считается, что концентрация золота осуществлялась в процессе джаспероидизации, по другим данным – в результате аргиллизации. Изменения пород и их минерализация происходили в течение трех этапов: 1) вулканогенного, 2) связанного с интрузиями диоритов, 3) сформированного под воздействием интрузий тоналитов. Образовались следующие минеральные ассоциации руд: 1) ранняя арсенопирит-пиритовая, сопровождаемая пропицитизацией; 2) пирит-реальгаровая, с которой ассоциируются метасоматиты кварц-серицитовой формации; 3) сульфосольно-полиметаллическая (халькопирит, сфалерит, галенит, блеклая руда, буланжерит, джемсонит) в ассоциации с джаспероидами доломит-анкеритовой фации; 4) полиметаллическая (сфалерит, арсенопирит, пирит, пирротин, халькопирит, галенит, блеклые руды), связанная с джаспероидами кварцевой фации.



По трем новым ранее найденным и изученным таллиевым минералам: **ферроворонцовит**  $(\text{Fe}_5\text{Cu})_{\Sigma 6}\text{TlAs}_4\text{S}_{12}$ , **воронцовит**  $(\text{Hg}_5\text{Cu})_{\Sigma 6}\text{TlAs}_4\text{S}_{12}$ , **цыганкоит**  $\text{Mn}_8\text{Tl}_8\text{Hg}_2(\text{Sb}_{21}\text{Pb}_2\text{Tl})\text{S}_{48}$  – вышли статьи [31, 32].

Кроме этого, в текущем году изучен и утвержден в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации ИМА *еще один таллиевый минерал* с Воронцовского месторождения: **гладковскиит**  $\text{MnTlAs}_3\text{S}_6$ . (рисунок 8.1). Тригональный, пр.гр.  $R\bar{3}1c$   $a = 9.6392(2) \text{ \AA}$ ,  $c = 6.4560(15) \text{ \AA}$ ,  $V = 519.49(12) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ .

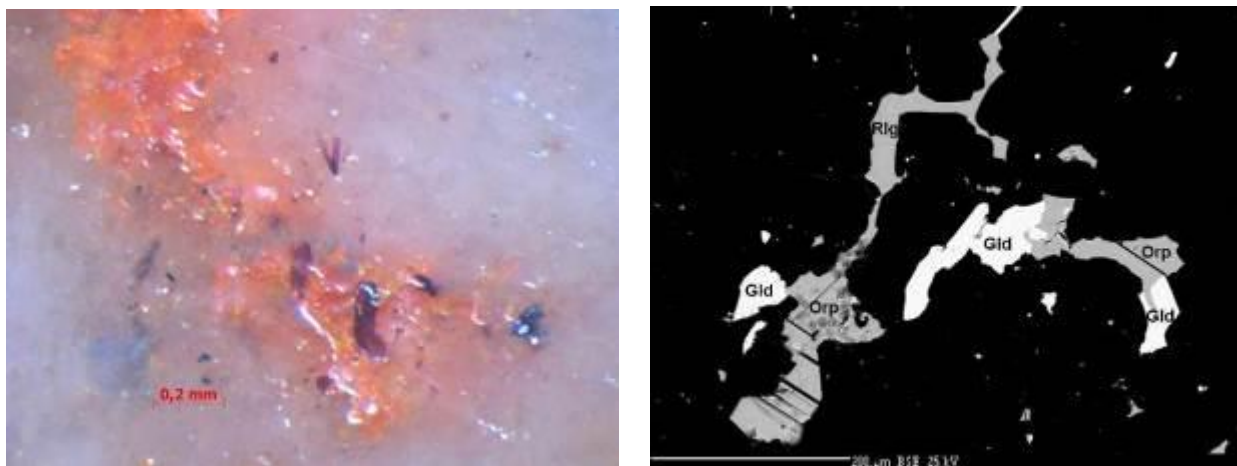


Рисунок 8.1 – Темные вишнево-красные призматические кристаллы гладковскиита в белой кальцитовой матрице с оранжево-красным реальгаром. Зерна гладковскиита (Gld), аурипигмента (Orp) и реальгара (Rlg) в кальцитовой матрице (черной), BSE-изображение

Таким образом, удалось пополнить список минералов таллия и сделать существенный вклад в минералогию этого *рассеянного элемента*, насчитывавшего до наших работ всего семь весьма редких минералов.

## 9 Термохронологическое моделирование геологических процессов в регионе Большого Кавказа: новые данные по цирконометрии палеозойского фундамента Кавказа

В соответствии с планом научных исследований 2018 года были продолжены исследования в рамках нового научного направления, – термохронологии геологических процессов. Это направление сформировалось на стыке физико-химической петрологии, кинетики минеральных равновесий и изотопной геохронологии. Оно затрагивает различные аспекты исследования минерального вещества, такие как внутрикристаллическая диффузия компонентов, электронно-зондовые и масспектрометрические исследования минералов, использование термодинамических и изотопных минеральных сенсоров для изучения эволюции термодинамического режима эндогенных процессов в литосфере.

В период августа – сентября 2018 были проведены плановые полевые геологические исследования на Северном Кавказе, при поддержке ПАО «КАВКАЗГЕОЛСЪЕМКА» (г. Ессентуки). Основное внимание уделялось петрологическим, минералогическим и изотопно-геохронологическим исследованиям кристаллического фундамента Кавказа. Были отобраны наиболее информативные образцы минералов и горных пород из бассейнов рек Теберда, Баксан, Большая и Малая Лаба. Среди них двуслюдяные андалузитовые сланцы с гранатом Домбая, гранат-кордиеритовые гнейсы Адырсу, кианитовые эклогиты Уруштена (рисунки 9.1, 9.2). Наиболее представительные образцы кианитовых эклогитов с кристаллами граната (рисунок 9.1) из состава Блыбского метаморфического комплекса (Западный Кавказ) переданы в Минмузей РАН.



Рисунок 9.1 – Кианитовые эклогиты Уруштена, Западный Кавказ

Зональные кристаллы граната имеют форму ромбододекаэдра, внешние зоны кристаллов обогащены пироповым компонентом до 30-40%, что соответствует параметрам пика высокobarного метаморфизма на Кавказе при температуре  $T = 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлении  $P = 10\text{-}12 \text{ кбар}$  (новые поступления в коллекции Минмузея РАН 2018 г.)



Рисунок 9.2 – Каньон реки Уруштен, Западный Кавказ

Борта каньона сложены органогенными известняками триаса мощностью до 1000 м, которые образуют осадочный чехол. На дне каньона, в эрозионном окне, вскрываются выходы кристаллического фундамента Кавказа, сложенные эклогитами высокобарного субдукционного комплекса.

Проведена оценка жадеитового сырья из состава Беденского серпентинового массива (бассейн р. М. Лаба). Это мономинеральная, тонкозернистая, массивная порода серо-зеленого цвета, состоящая из омфацитового пироксена с содержанием жадеитовой молекулы до 80%. Желваки жадеита мощностью от 10 см до полуметра встречаются среди серпентинитов палеозойской зоны палеосубдукции в составе Блыбского метаморфического комплекса (Западный Кавказ) и структуры Передового хребта. Учитывая высокий спрос на это самоцветное сырье на мировом рынке можно считать перспективными дальнейшие поиски этого минерала на Западном Кавказе в массивах ультрабазитов, расположенных в верховьях рек Киша и Ачишбок. Эти массивы являются частью субдукционного меланжа, где наряду с нижнекоровыми эклогитами происходила эксгумация высокобарного мантийного материала.

Получены новые данные по цирконометрии кристаллического фундамента Западного Кавказа. В хлорит-серицитовых сланцах р. Киша (бассейн р. Белой) адгаринского

метаморфического комплекса обнаружены *самые древние на Кавказе цирконы с U-Pb возрастом около 3350 Ма*.

На ионном зонде в ЦИИ ВСЕГЕИ была исследована U-Th-Pb-изотопная система цирконов из этих пород и получен широкий возрастной спектр 530-3350 Ма детритовых цирконов, характерный для метаосадочных пород Кавказа (рисунок 9.3). Эти цирконы накапливались в раннем палеозое в первичном осадке, из которого в середине палеозоя, 400-420 млн лет назад [33], при региональном метаморфизме сформировались гнейсы и сланцы ацгаринского метаморфического комплекса. Температура метаморфизма фации зеленых сланцев была низкой, превышала 400-500 °С, поэтому консервативная изотопная система цирконов оставалась закрытой на протяжении всего метаморфического цикла и сохранила данные о возрасте первоначальных источников сноса вещества в период накопления протаметаморфических осадков.

В пробе содержится много циркона, но все зерна разные по типу зональности, содержанию радиоактивных компонентов и возрасту. Некоторые зерна представлены окатанными обломками зональных кристаллов циркона. Одни зерна демонстрируют концентрическую зональность с включениями древних ядер, другие имеют секториальную зональность. Намечаются два возрастных кластера, каждый сформирован по трем измерениям в зернах циркона, которые имеют самый молодой панафриканский возраст 530 и 550 Ма (рисунок 9.4). Такой же возраст характерен для кластогенных цирконов из метаосадочных пород Бечасынской зоны Кавказа, в том числе песчаников урлешской серии и кварцитов р. Кестанты.

Вместе с тем в пробе присутствуют *самые древние цирконы*, с возрастом порядка 3350 Ма, которые впервые обнаружены на Кавказе в метаморфических породах. Ранее возраст самых древних цирконов из мигматитов гондарая составлял 2800 Ма [34]. Все эти древние датировки характеризуют только возраст древних магматических источников сноса вещества, или древних ядер циркона, которые кочуют из россыпи в россыпь, из процесса в процесс и в конечном итоге оказываются «замороженными» в матрице кристаллического фундамента Кавказа без нарушения изотопной системы минерала.

13-5-6  
n=16

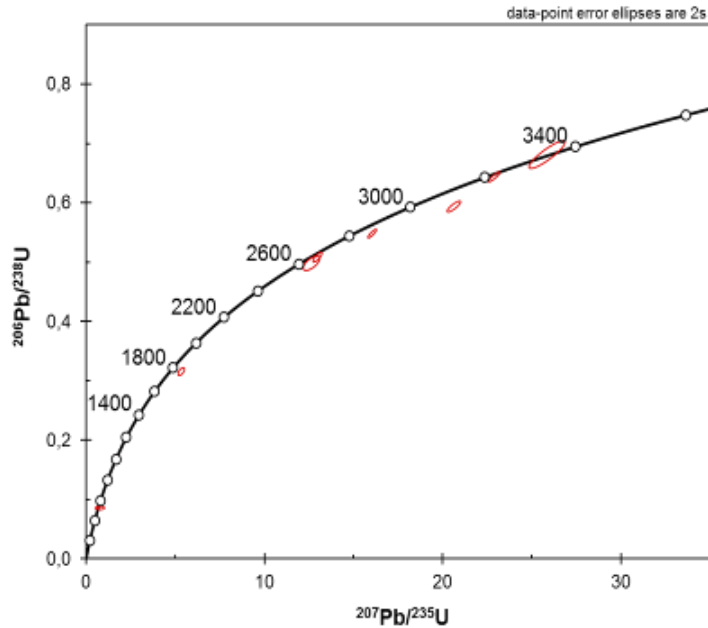


Рисунок 9.3 – Результаты датирования цирконов из пробы №13/5-6 нанесены на диаграмму с конкордией с табулированными значениями возраста, млн лет (Ma)

Датировки кристаллов циркона образуют широкий возрастной спектр 530-3350 Ma, который характеризует возраст первоначальных источников сноса вещества в период накопления протаметаморфических осадков. Диаметр эллипсов равен удвоенной ошибке измерения (2 Sigma). **Древние цирконы с возрастом 3350 Ma впервые обнаружены на Кавказе.**

13-5-6  
n=3

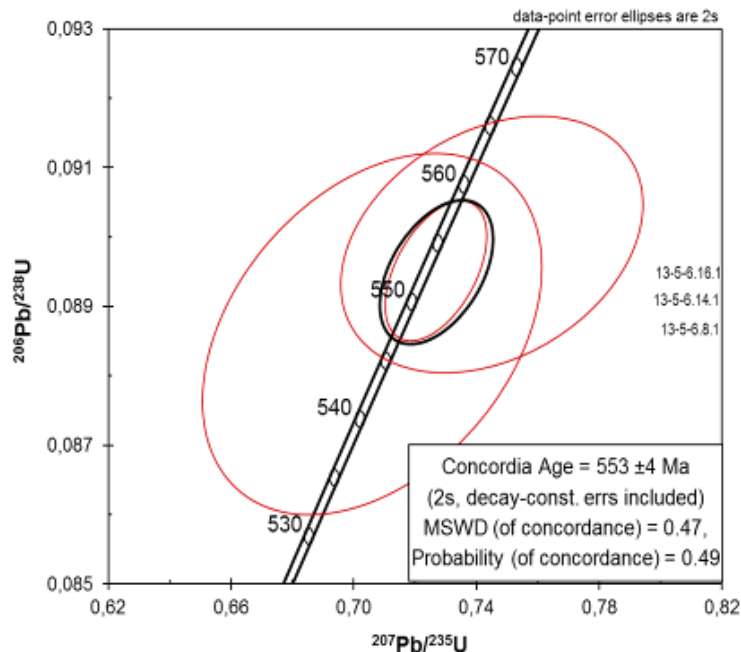


Рисунок 9.4 – Результаты датирования наиболее молодых цирконов из пробы №13/5-6 нанесены на диаграмму с конкордией с табулированными значениями возраста, млн лет (Ma)

Датировки кристаллов циркона образуют небольшой кластер с возрастом 553 Ма, который характеризует возраст первоначальных, докембрийских магматических источников сноса вещества в период накопления протаметаморфических осадков в раннем палеозое. Диаметр эллипсов равен удвоенной ошибке измерения (2 Sigma). Кластер имеет вероятность конкордантности около 50% и малую величину отклонения от конкордии.

Основные результаты по геологии Кавказа были доложены на Генеральной Ассамблее EGU 2018 в Вене (Австрия), в рамках специальной пленарной сессии TS7.8 – Geodynamic evolution of the Greater Caucasus Orogen. Тезисы докладов опубликованы в материалах конференции (Geophysical Research Abstracts, EGU 2018. Vol. 20).

## **10 Изучение вариаций состава ряда породообразующих минералов**

Проведены систематические работы по изучению вариаций состава породообразующих в минеральных группах оливина [35, 36], шпинелидов [37], кремнезема [38] и граната. Детальное исследование зональности ортопироксена (вулкан Безымянный, Камчатка) позволило с помощью численного моделирования диффузии определить временные интервалы между формированием зональности и последующими извержениями [39].

### **Группа оливина**

#### ***Экстремально магнезиальный оливин***

Были получены новые высокоточные электронно-зондовые анализы оливина из окисленных лав влк. Толбачик (Камчатка), хромититов Рай-Из (Россия), щелочно-ультраосновных лав из Сан-Венанцо (Италия) и скарнов из Кухилала (Таджикистан), которые сравнивались с ранее опубликованными данными по находкам экстремально магнезиального оливина (> 96 мол.% форстерита) в магматических породах. Эти данные опубликованы на русском и на английском языке [40].

Все описанные находки приурочены к низкотемпературным процессам, таким как приповерхностное окисление, взаимодействие с карбонатами и субсолидусное переуравновешивание. Низкотемпературные процессы образования оливина отражаются в текстуре: ламели гематита (рисунок 10.1), обилие включений рудных минералов и аномальном содержании малых компонентов (Mn, Ni, Ca). Увеличение магнезиальности оливина происходит под воздействием постмагматических процессов и может проявляться в самых разных горных породах. Это позволяет пересмотреть происхождение оливина экзотического состава (93-96 мол.% форстерита) в некоторых кимберлитах, коматиитах и перидотитах.



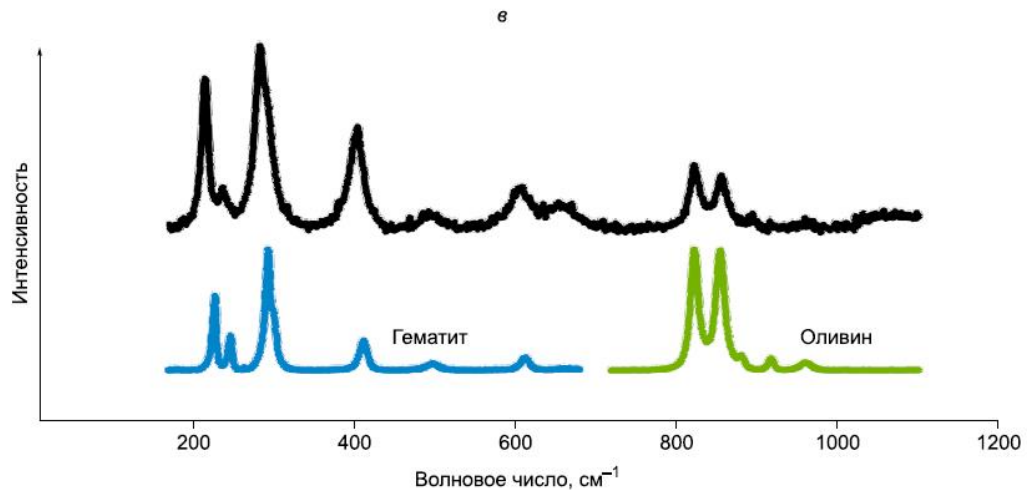
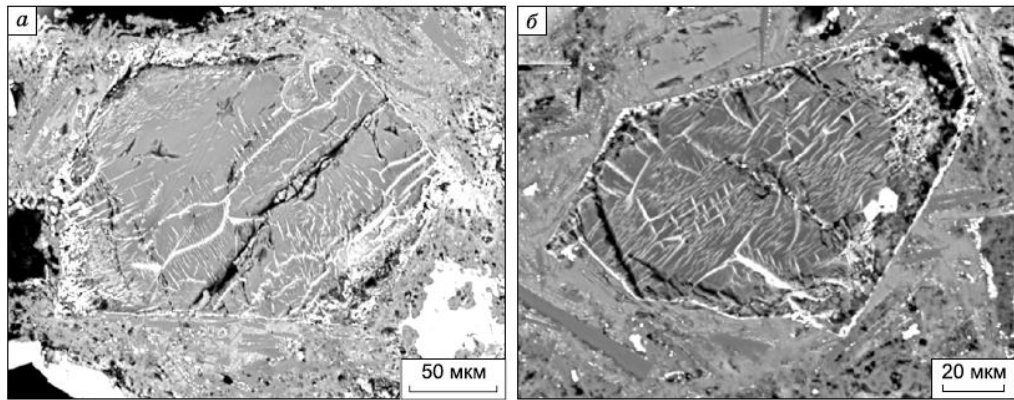


Рисунок 10.1 – Оливин с ламелями гематита из фумарольного поля шлаковых конусов извержения влк. Толбачик 1975–1976 гг. а, б – изображения оливина в обратно-рассеянных электронах; в – рамановский спектр ламелей гематита в оливине и эталонные спектры форстерита (X050088) и гематита (R110013) из базы данных RRUFF (USA, <http://rruff.geo.arizona.edu/rruff/>)

Мы разделили состав оливина магматических пород на несколько групп по их магниальности:

1) Железистый хризолит (магниальность 70-80). Подобный оливин встречается в матрице базальтов, крайних зонах фенокристаллов и некоторых дифференцированных магматических породах.

2) Магниальный хризолит (магниальность 80-88). Большая часть фенокристаллов оливина в эффузивных породах попадает в эту группу.

3) Мантийный (или примитивный) оливин (магниальность 88-93). Оливин этой группы может быть в равновесии с мантией и представлять магматический оливин ранних стадий кристаллизации первичных выплавов из перидотитового субстрата, а также ксенокристаллы (мегакристаллы) мантийного метаморфического оливина, которые часто встречаются в магматических породах. Магматический и метаморфический оливин относительно легко различить по структуре (деформационные структуры довольно типичны для метаморфического мантийного оливина) и по содержанию малых компонентов (Ca, Ni и т.д.).

4) Экзотический оливин (магнезиальность 93-96). Он присутствует в магматических породах в виде редких кристаллов и зон в кристаллах оливина некоторых магматических пород (коматииты, кимберлиты, некоторые редкие щелочные породы, метаморфизованные перидотиты).

5) Экстремально магнезиальный оливин (магнезиальность > 96). Существует только несколько описаний подобного форстеритового оливина в магматических породах по всему миру. Экстремально магнезиальный оливин встречается в обычных магматических и мантийных породах.

Выделение этих разновидностей оливина полезно для многих петрологических интерпретаций и совмещенное с данными по содержанию малых компонентов [41] может представлять важную петрологическую информацию. Диапазоны составов оливина в породах различных геодинамических обстановок показаны на рисунке 10.2.

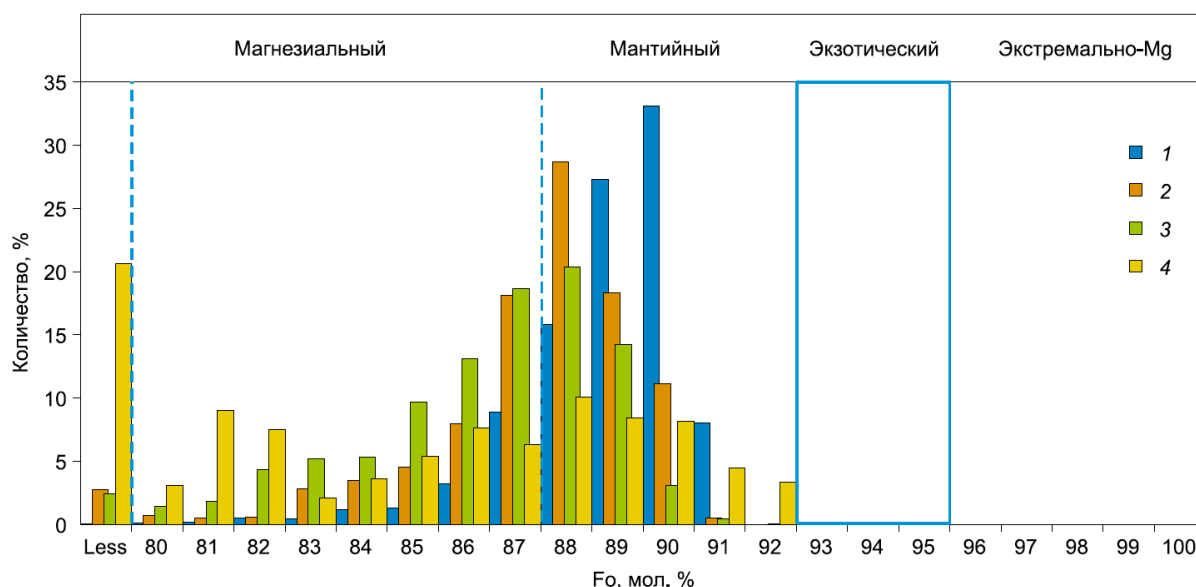


Рисунок 10.2 – Гистограмма состава фенокристаллов оливина из пикритов, пикробазальтов и высокомагнезиальных базальтов различных вещественных типов магматических пород: 1 – базальты срединно-океанических хребтов, 2 – базальты океанических островов, 3 – крупные магматические провинции, 4 – островные дуги. Для островных дуг мы использовали наши данные: базу данных оливина лав Камчатки (Плечов, 2008), остальные данные из [41]

### ***Фосфорсодержащий оливин***

Было зафиксировано рекордное содержание фосфора (до 0.48 мас.%  $P_2O_5$ ) в оливине в лавах извержения 2012–13 гг. вулкана Толбачик. Различие в составе оливина из тефры и лавы позволяет утверждать, что описанные скелетные кристаллы с повышенным содержанием фосфора (рисунок 10.3) растут непосредственно в лавовом потоке, поскольку: 1) состав оливина из лавы продолжает кристаллизационный тренд оливина из тефры и практически с ним не перекрывается, 2) оливин из лавы значительно обогащен примесями P, Al, Ca и Ti по сравнению с оливином из тефры.



Подавляющее большинство исследователей [42, 43] связывает вхождение значимого количества фосфора в структуру оливина с быстрым неравновесным ростом кристаллов и ассоциирует со скелетным ростом кристаллов [44].

Формирование обогащенных фосфором зон в скелетных кристаллах происходит в ходе течения лавового потока за счет быстрого роста, приводящего к обогащению оливина несовместимыми с ним элементами ( $KD < 1$ ) за счет увеличения их концентрации в граничном слое растущего кристалла. Никель, распределяющийся преимущественно в оливин, напротив, демонстрирует обратное поведение: быстрое снижение концентрации с падением магнезиальности.

Формирование описанной зональности происходит в ходе течения лавовых потоков (от первых часов до нескольких дней, по оценке [45], что позволяет предположить, что зональность не претерпела значительного диффузионного переуравновешивания, а текущее распределение элементов, таким образом, представляет собой первичную ростовую зональность.

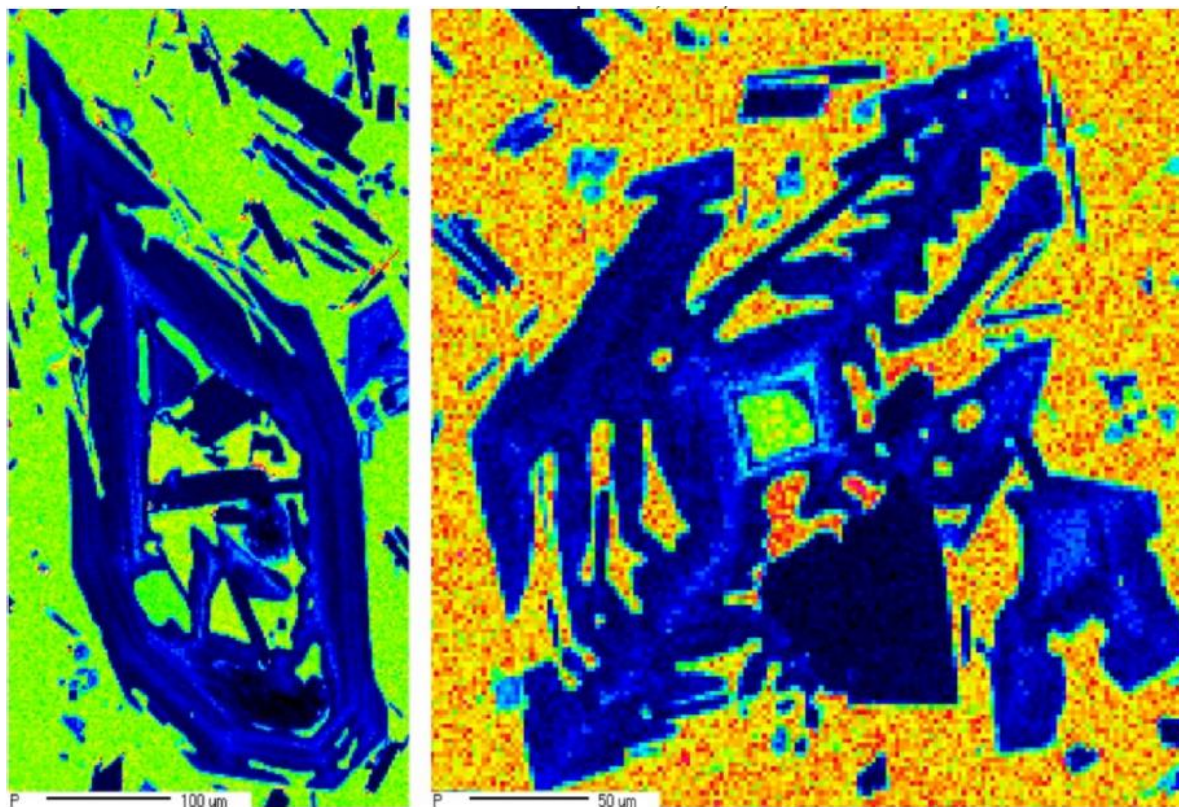


Рисунок 10.3 – Карты распределения характеристического рентгеновского излучения Р-фрагментов образца лавы со скелетными кристаллами оливина

### Группа шпинелидов

Была подготовлена и опубликована в журнале *Lithos* обзорная статья по составу хромшпинелида в вулканических породах Камчатки [37]. В статье приведены составы более

1600 хромшпинелидов, которые чаще всего встречаются в виде твердофазных включений в магнезиальном оливине. Данные охватывают 30 вулканических комплексов (104 образца, рисунки 10.4, 10.5). Шпинелид с наименьшей хромистостью и отношением  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  был описан в базальтах Срединного хребта и Северной Камчатки, тогда как наиболее хромистый и окисленный хромшпинелид встречен в базальтах и магнезиальных андезитах Центральной камчатской депрессии. Промежуточные составы характерны для Восточного вулканического фронта.

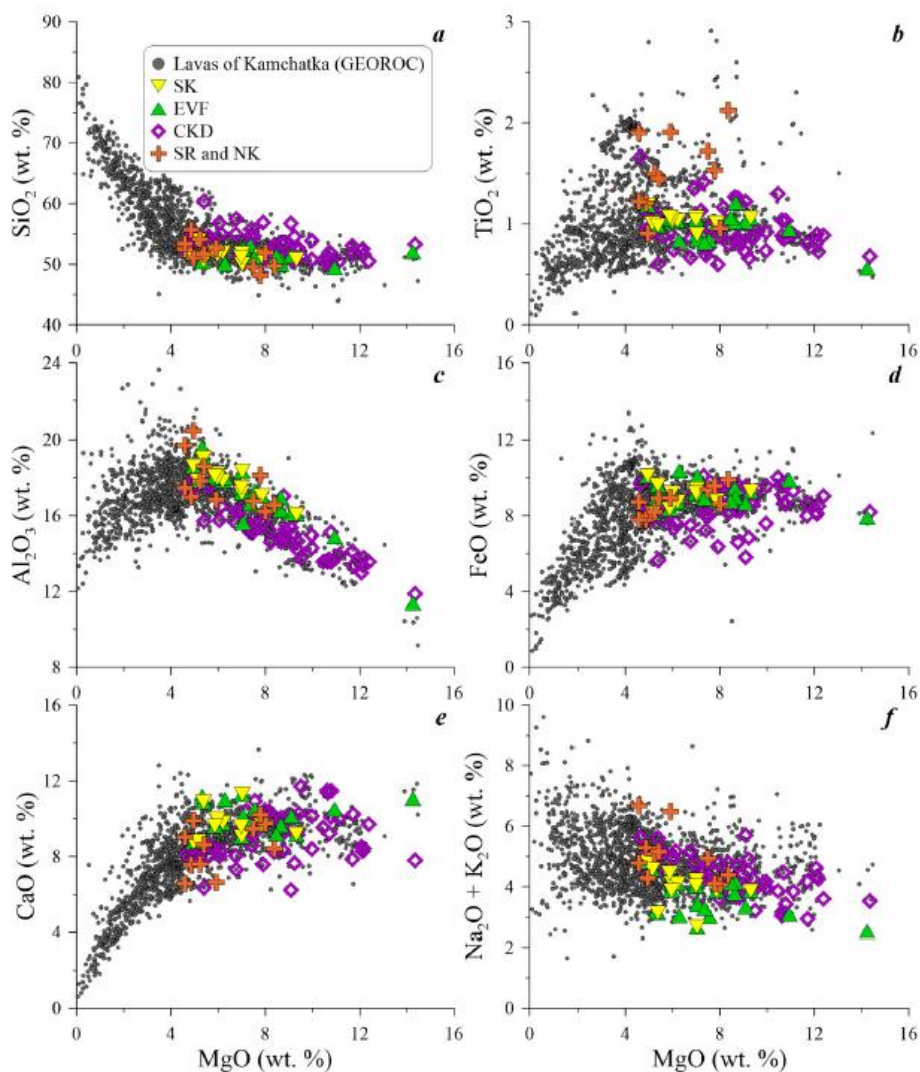


Рисунок 10.4 – Валовые составы изученных пород из различных вулканических зон Камчатки

Составы шпинелида и сосуществующего с ним оливина (рисунок 10.5) были использованы для определения степени частичного плавления мантии и степени окисления первичных магм. Окислительные условия попадают в диапазон  $\Delta QFM = +0.7$  to  $+3.7$ .  $\Delta QFM$  для магм Срединного Хребта и Северной Камчатки и хорошо коррелируют с количеством привнесенного флюидного компонента (отношения  $La/Nb$  и  $Ba/La$ ), что свидетельствует об окислении мантийного вещества в процессе метасоматоза флюидом (или расплавом), отделяющимся от субдуцированной плиты. Подобная корреляция не характерна для

вулканов современного вулканического фронта Камчатки, что может свидетельствовать о том, что высокие степени окисления буферуются соединениями серы. Оценка степени частичного плавления мантии под вулканами Камчатки лежит в пределах 8-20%. Данное исследование демонстрирует перспективность изучения вариаций состава хромшпинелида вулканических пород для определения вариаций мантийного состава, степени окисления и вовлечения различных флюидных компонентов в области магмогенерации островодужных магматических систем.

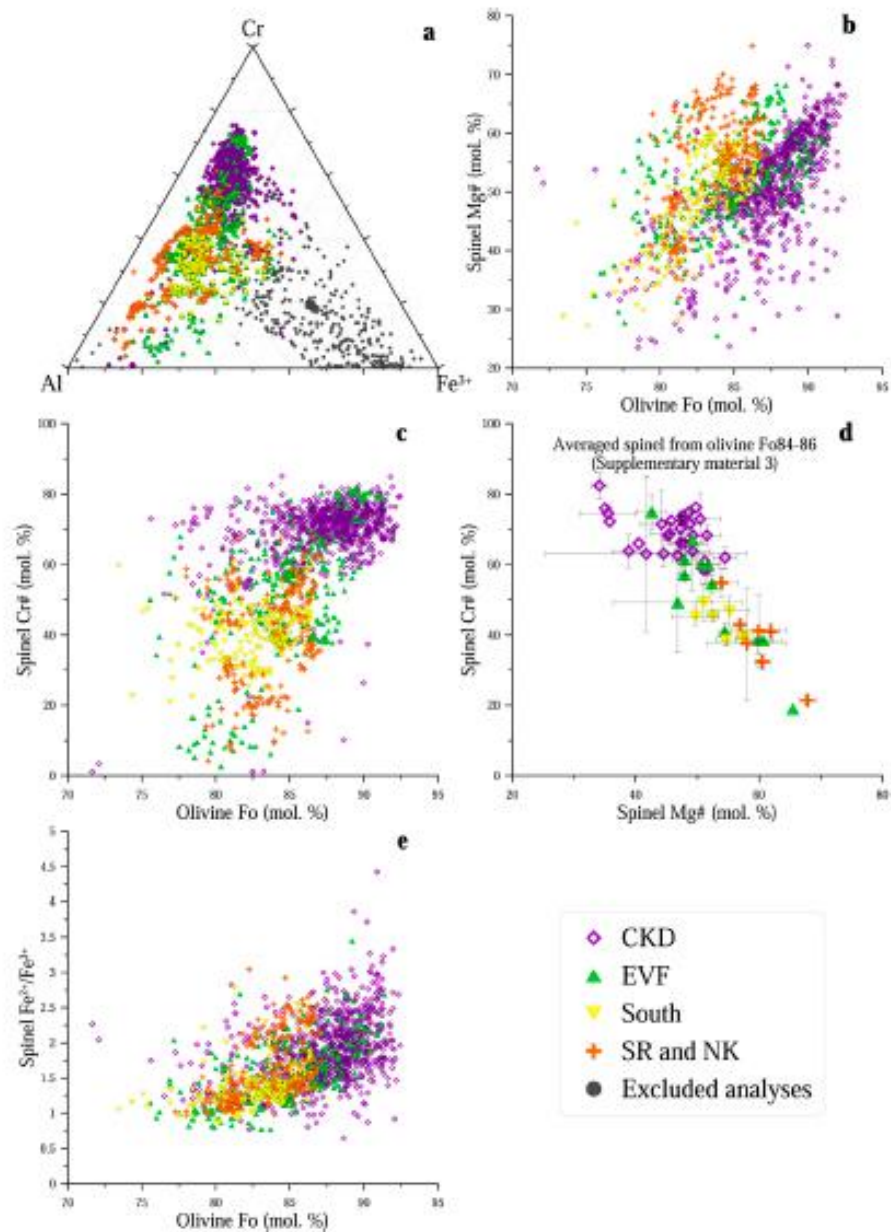


Рисунок 10.5 – Составы включений хромшпинелида в оливине из вулканических пород Камчатки: а) тройная диаграмма Al – Cr – Fe<sup>3+</sup>; б) магнезиальность шпинелида относительно магнезиальности оливина; в) хромистость шпинелида относительно магнезиальности оливина; г) усреднение по образцам; е) отношение Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> в шпинелиде относительно магнезиальности оливина

## 11 Изучение типохимизма оливина магнезиальных скарнов Прибайкалья

Состав магматических оливинов хорошо изучен по количественному содержанию в минерале таких элементов, как Ca, Mn, Ni, Co и др. Менее изученными являются оливины, чей генезис связан с процессами метаморфизма и метасоматоза. Нами были изучены вариации состава оливина различных скарновых объектов Прибайкалья и установлены особенности распределения и количественного содержания элементов-примесей (Mn, Ti). На основании полученных данных выявлена специфика состава оливина из скарнов в сравнении с оливином магматических пород.

Изученные нами образцы магнезиальных скарнов были отобраны во время полевых работ в трех рудопроявлениях – на Тажеранском массиве и месторождениях Слюдянка и Белая Выемка, находящихся на выходах фундамента Сибирской платформы [46-49].

Химический состав минеральных фаз образцов был получен в лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии МГУ при помощи энергодисперсионного микроанализатора на базе растрового электронного микроскопа Jeol JSM-6480LV при ускоряющем напряжении 20кВ и силе тока 10 нА. Состав оливинов изучался в той же лаборатории также с помощью высокоточного волнового метода на базе электронно-зондового микроанализатора JEOL JXA-8230 Superprobe. Для получения высокоточных анализов оливина была использована методика, описанная в статье [41]. Она заключается в подборе параметров съемки прибора таким образом, чтобы порог обнаружения микроэлементов был минимальным (рисунок 11.1). При ускоряющем напряжении 20 эВ, силе тока 100 нА и времени проведения анализа 180 сек относительная ошибка измерения основных интересующих нас элементов-примесей, таких как MnO, CaO и TiO<sub>2</sub>, составила менее 1%. Были измерены содержания Mn, Ca, Ti, P, Cr и Zn. Предел обнаружения большинства примесных элементов составил 0,00n мас.%. Значение 2 Sigma для Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,0044; ZnO – 0,0030; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,0007; TiO<sub>2</sub> – 0,0012; CaO – 0,0020; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,0022; FeO – 0,0200; MnO – 0,0048; NiO – 0,0029; SiO<sub>2</sub> – 0,16; MgO – 0,08.



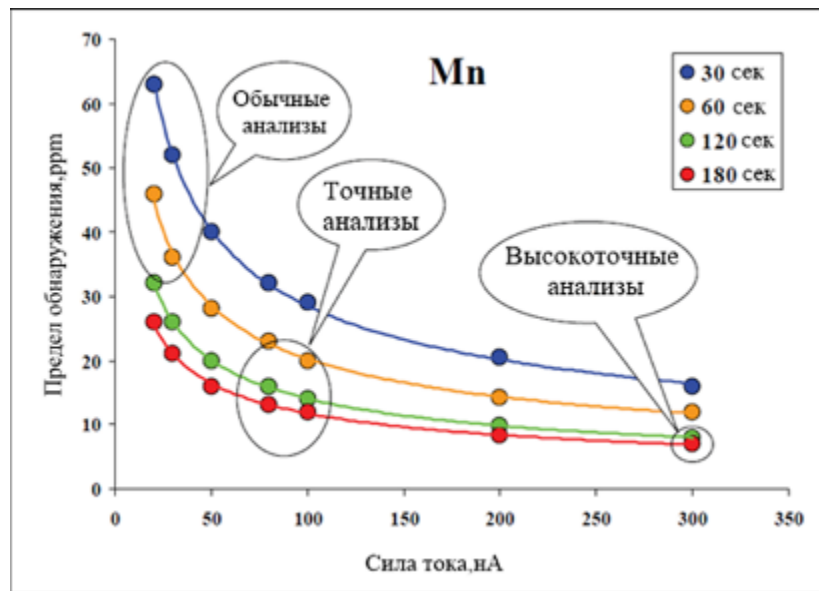


Рисунок 11.1 – Выбор условий для получения высокоточных анализов [41]

Изученные оливины магнезиальных скарнов Тажеранского массива, Слюдянки и Белой Выемки характеризуются высокой магнезиальностью ( $Fo_{96}$ – $Fo_{100}$ ), не характерной для магматических оливинов, для которых максимальное значение магнезиальности не превышает  $Fo_{94}$  [41]. Для них также не характерна зональность: в пределах каждого образца разные генерации оливина и оливин разных морфологических типов по составу близки. Все оливины характеризуются выдержанным составом в пределах каждого образца, за исключением крупных кристаллов форстерита из Перовскитовой копи, находящейся в контактовом ореоле Тажеранского массива.

Для всех оливинов установлена обратная зависимость количества примесного марганца от магнезиальности. На диаграмме зависимости  $MnO$  –  $Fo$  (рисунок 11.2) видно наличие двух трендов изменения содержания  $MnO$ , один из которых характеризуется пологим, другой – более крутым наклоном, отражающим резкое увеличение марганцовистости при увеличении железистости форстерита.

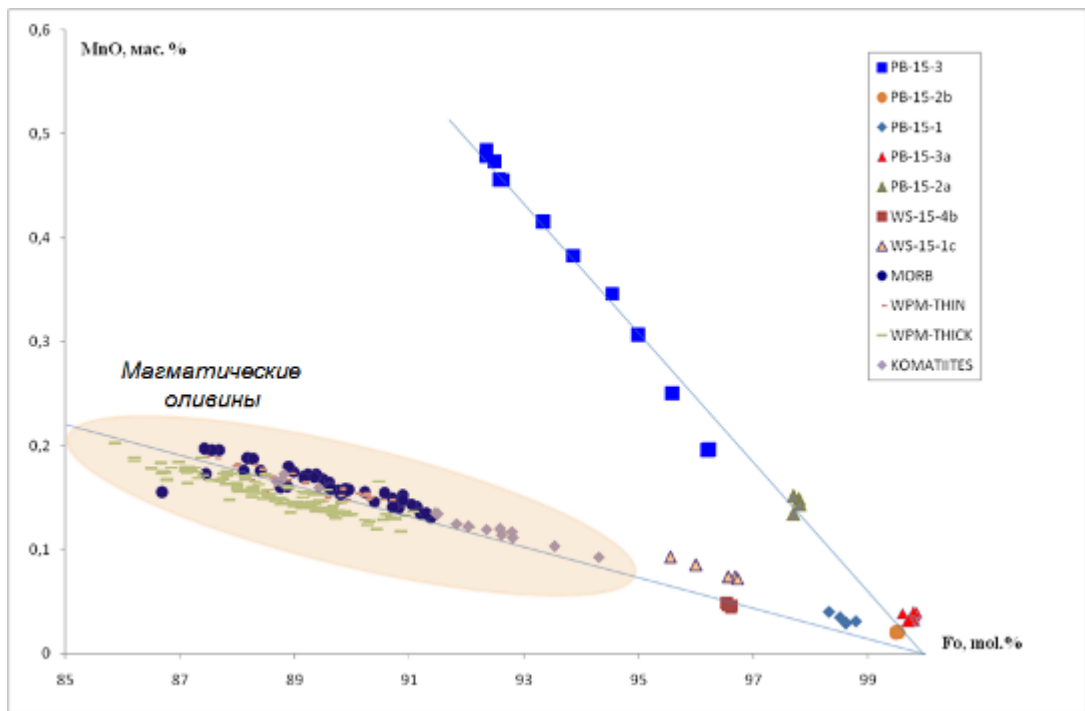


Рисунок 11.2 – Вариации состава скарных и магматических оливинов. Оливины магнезиальных скарных: PB-15-1, PB-15-2a, PB-15-2b, PB-15-3, PB-15-3a – Тажерац, WS-15-4b – Белая Выемка, WS-15-1c – Слюдянка; оливины магматических пород, по данным [35]: MORB – базальты срединноокеанических хребтов, WPM-Thin – породы внутриплитного магматизма (мощность литосферы <70 км), WPM-Thick – породы внутриплитного магматизма (мощность литосферы >70 км), Komatiites – коматииты и связанные с ними магмы

Для оливинов различных магматических пород многочисленными исследователями [50, 41 и др.] показано, что все породы характеризуются единым трендом увеличения марганцовистости с увеличением железистости форстерита, на диаграмме (рисунок 11.2) все точки составов располагаются вдоль одной прямой. Для оливинов магнезиальных скарных характерны два тренда: один тренд совпадает с трендом магматических оливинов; второй тренд характеризуется большим увеличением марганцовистости при возрастании железистости оливина: на диаграмме точки составов располагаются также вдоль одной прямой, но с большим наклоном по сравнению с трендом изменения составов магматических оливинов.

Резкое увеличение содержания Mn при увеличении железистости в оливинах магнезиальных скарных можно объяснить несколькими причинами. Это, безусловно, может быть связано с повышенным его содержанием в исходных породах. Однако в некоторых образцах в ассоциации с низкомарганцовистым оливином присутствует высокомарганцовистая шпинель со структурой распада пирофанита  $MnTiO_3$ . Низкие содержания марганца в оливине, вероятно, связаны с концентрированием его в собственных минералах, шпинелидах. Возможно, появление второго тренда с большим увеличением концентраций Mn связано тем, что в системе при образовании магнезиальных скарных



изменяется железо-марганцевое отношение, характеризующее не увеличением концентрации марганца, а уменьшением концентрации железа в минералообразующем растворе, вызванным преимущественным концентрированием его в сульфидных минералах.

Содержание СаО варьирует в значительных пределах для оливинов выдержанного состава, таких как в образцах РВ-15-3а, РВ-15-2b, РВ-15-2а из контактового ореола Тажеранского массива. В то же время для образцов РВ-15-3 и РВ-15-1 отчетливо видно резкое уменьшение концентрации СаО с повышением магнезиальности (рисунок 11.3).

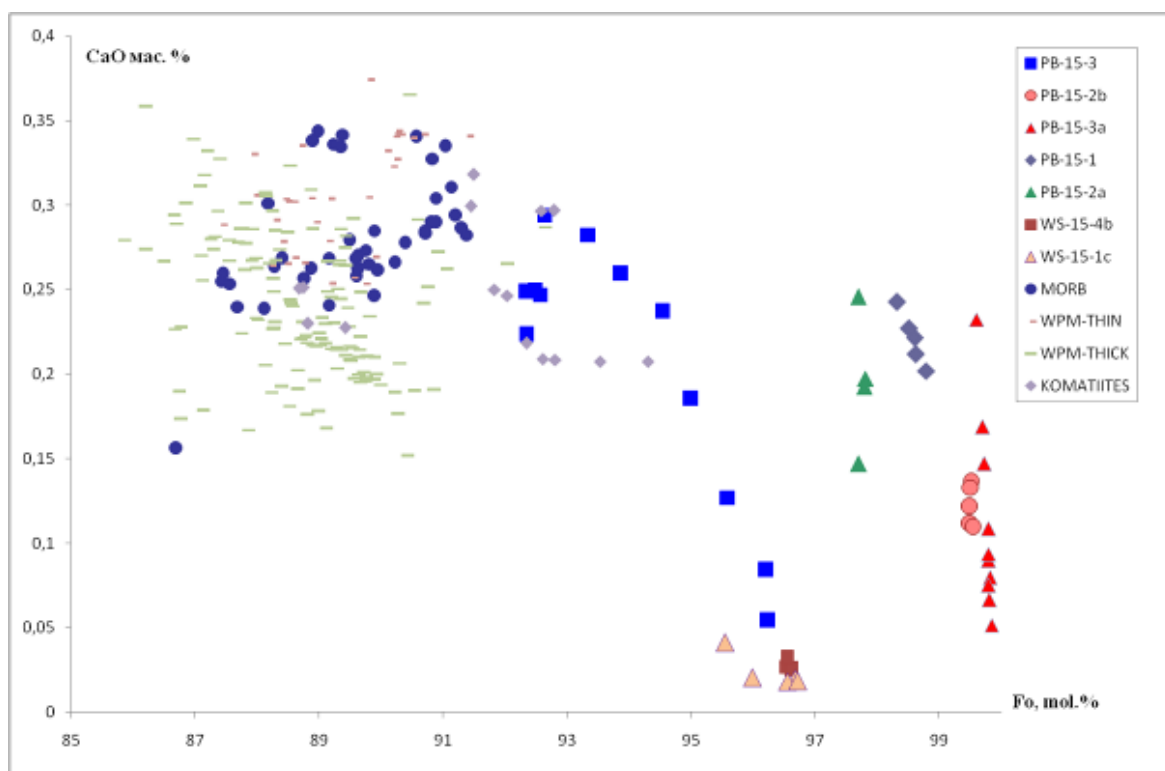


Рисунок 11.3 – Вариации состава скарных и магматических оливинов. Оливины магнезиальных скарнов: РВ-15-1, РВ-15-2а, РВ-15-2b, РВ-15-3, РВ-15-3а – Тажеран, WS-15-4b – Белая Выемка, WS-15-1с – Слюдянка; Оливины магматических пород, по данным [35]: MORB – базальты срединноокеанических хребтов, WPM-Thin – породы внутриплитного магматизма (мощность литосферы <70 км), WPM-Thick – породы внутриплитного магматизма (мощность литосферы >70 км), Komatiites – коматииты и связанные с ними магмы

Сопоставление полученных данных по содержанию Са в скарных оливинах с анализами из [41] для магматических оливинов (рисунок 11.3) показало более низкие концентрации Са в оливинах скарнов. Расположение точек состава скарных оливинов на диаграмме в широком диапазоне перекрывает положение точек анализов для магматических оливинов различных обстановок.

Содержание титана в оливинах распределено крайне неравномерно. Для большинства образцов характерны невысокие содержания, составляющие ~ 0,01 мас.%  $TiO_2$ . Однако в форстеритах с магнезиальностью  $Fo_{99}$  и выше содержание примесного  $TiO_2$  резко возрастает (рисунок 11.4).

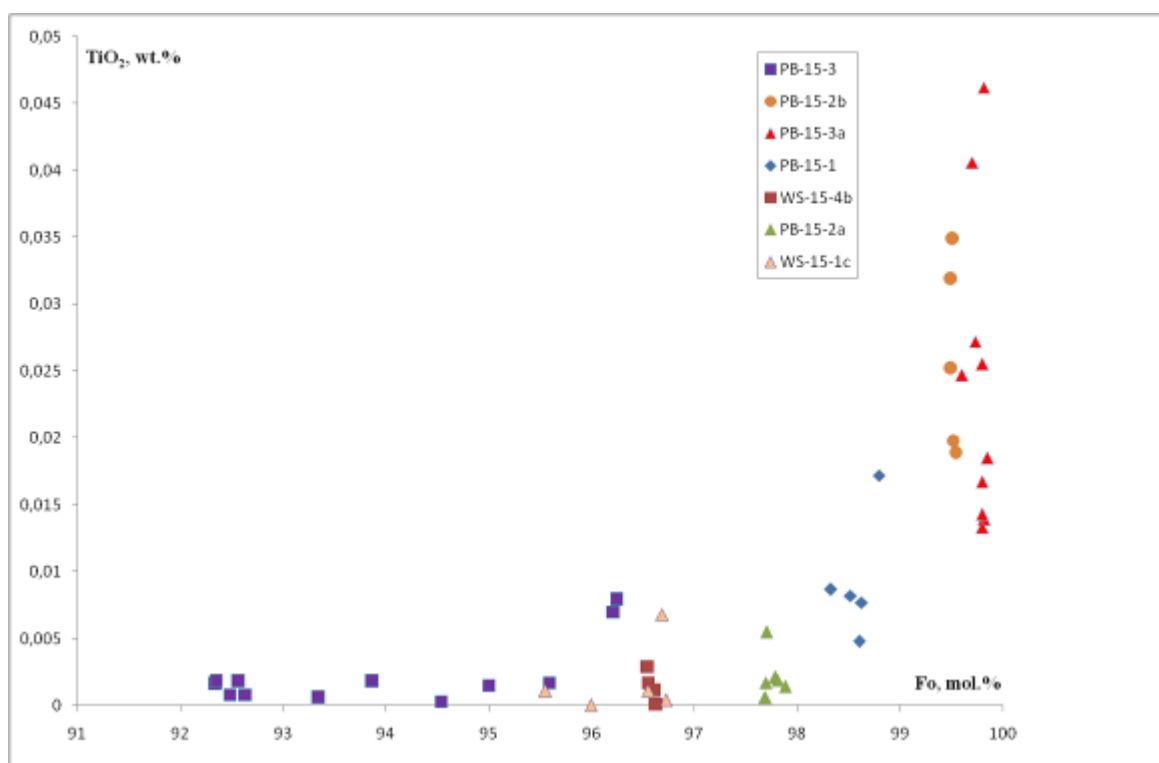


Рисунок 11.4 – Зависимость содержания примеси  $\text{TiO}_2$  от магниальности в скарновых оливинах. PB-15-1, PB-15-2a, PB-15-2b, PB-15-3, PB-15-3a – Тажеран. WS-15-4b – Белая Выемка, WS-15-1c – Слюдянка. Данные рентгеновской волновой спектрометрии (WDS).

Также отмечается резкая обратная корреляция в изученных оливинах содержания титана от содержания марганца. Высокие содержания титана характерны для оливина контактового ореола щелочного Тажеранского массива, для которого характерна необычная Ti-Zr-минерализация. Считается, что Ti и Zr крайне малоподвижные элементы. Изменение мобильности этих элементов может быть связано с высокой щелочностью высокотемпературных флюидов на ранних стадиях скарнообразования, где, как полагают многие авторы,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Zr}^{4+}$ ,  $\text{U}^{4+}$ ,  $\text{Th}^{4+}$ ,  $\text{Nb}^{3+}$ ,  $\text{Y}^{3+}$  образуют с  $\text{K}^+$  полиядерные комплексы, лигандами в которых выступают  $\text{F}^-$  и  $\text{PO}_4^{3-}$ . Вхождение титана в оливин, вероятно, связано с образованием локальных клиногумитовых молекул, равномерно распределенных в кристаллах форстерита.

Все изученные оливины практически не содержат никеля, хрома и кобальта – типичных примесей магматических оливинов. В скарновых оливинах их содержание обычно ниже 0,001 мас.%.

Наличие двух трендов распределения примеси Mn в оливине может служить критерием отличия магматических оливинов, от скарновых. Появление второго тренда с большими содержаниями Mn в магматических оливинах может являться свидетельством их скарнирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты НИР составляют актуальный и значимый вклад в фундаментальные знания о природном веществе, его происхождении, накоплении и рассеянии, а также 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 2018 года сотрудниками Минмузея РАН и с их участием был открыт и изучен **31 новый минеральный вид**: хреновит, рабдоборит-(V), рабдоборит-(W), манаевит-(Ce), параберцелиит, белогубит, зубковаит, ахирофанит, алеутит, эласмохлоит, ханауэрит, удинаяит, арсенудинаит, аковаит, феррипербёит-(La), радекшкодаит-(La), гладковскиит, феррьерит, дальнегорскит, красноштейнит, антофагастаит, плинусит, яржемскиит, алексомьяковит, миланридерит, круйенит, фальгарит, бадахшанит-(Y), наталиякуликит, авдеевит, перрбёит-(La). Утверждены в 2018 году Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации IMA. Это больше, чем в любом исследовательском коллективе мира.

Получены обширные данные о **современном минералообразовании, связанном с вулканическими и поствулканическими процессами**, на влк. Б. Толбачик (Камчатка). При изучении фумарольных возгонов было открыто и утверждено десять новых минеральных видов: хреновит, рабдоборит-(V), рабдоборит-(W), параберцелиит, зубковаит, ахирофанит, алеутит, эласмохлоит, удинаяит, арсенудинаит.

Новые данные о современном минералообразовании **в фумарольных возгонах подземных пожаров** удалось выявить на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Таджикистан): открыт новый минерал – первый природный сульфат ванадила и калия фальгарит, .

Продолжены работы по комплексному **изучению минералогии алмаза** из месторождения им. М.В. Ломоносова **Архангельской алмазоносной провинции**. Выявлены взаимосвязь вещественных особенностей основных типов кимберлитовых руд со степенью их алмазоносности и качественными характеристиками алмазов.

Получены новые данные о минералах щелочных массивов Хибинский (Кольский п-в) и **Дарай-Пиоз (Таджикистан)**. На последнем была зафиксирована **кадмиевая минерализация**, по всей вероятности, вообще **впервые отмеченная в щелочных породах**.

В продолжение темы изучения пегматитов получены новые данные **о минералах редкометальных гранитных пегматитов** Восточного и Юго-Западного Памира: Кухилала, Вез-Дары, Кукуртского пегматитового поля (Таджикистан), а также Карасу-Каравшинского месторождения Туркестанского хребта (Киргизия) и пегматитов Мьянмы (Бирмы) – с разнообразной и во многом **уникальной редкометальной минерализацией**. Открыты и изучены новые, а также редкие минералы.

Исследованы минеральные ассоциации и парагенезисы **редкой лантановой минерализации Мочалина Лога** (Южный Урал), где были открыты и изучены три новых лантановых минерала.

Дополнены данные по **уникальной таллиевой минерализации Воронцовского** золоторудного месторождения (Северный Урал): открыт и утвержден еще один минерал таллия, а по трем ранее открытым выпущена публикация.

Получены новые данные по цирконометрии кристаллического фундамента Западного Кавказа. В хлорит-серицитовых сланцах р. Киша (бассейн р. Белой) адгаринского метаморфического комплекса **обнаружены самые древние на Кавказе цирконы с U-Pb-возрастом около 3350 Ma.**

Проведены систематические работы по **изучению вариаций состава породообразующих минералов группы оливина, шпинели, кремнезема и граната**. Детальное исследование зональности ортопироксена (вулкан Безымянный, Камчатка) позволило с помощью численного моделирования диффузии определить временные интервалы между формированием зональности и последующими извержениями.

Проведены исследования и получены новые данные по составу по основным элементам и микропримесям **оливина магнезиальных скарнов Прибайкалья** (Тажеранский массив, Слюдянка, Белая Выемка) и выявлена его специфика по сравнению с оливином магматических пород.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Agakhanov A.A., Stepanenko D.A., Zubkova N.V., Pekov I.V., Pautov L.A., Kasatkin A.V., Karpenko V.Yu., Agakhanova V.A., Radek Š. and Britvin S.N. Avdeevite (Na,Cs)(Be<sub>2</sub>Li)Al<sub>2</sub>(Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>) a new mineral from the Khat Chey granitic pegmatite, Myanmar. // Mineralogical Magazine. – 2019. – В печати.
- 2 Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zubkova N.V., **Lykova I.S.**, Britvin S.N., Yapaskurt V.O., **Agakhanov A.A.**, Shchipalkina N.V., Turchkova A.G., Sidorov E.G. Fumarolic arsenates – a special type of arsenic mineralization // European Journal of Mineralogy. 2018. Vol. 30. No 2. P. 305–322.
- 3 Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zubkova N.V., **Agakhanov A.A.**, Pushcharovsky D.Y., Yapaskurt V.O., **Belakovskiy D.I.**, Vigasina M.F., Sidorov E.G., Britvin S.N. Cryptochalcite, K<sub>2</sub>Cu<sub>5</sub>O(SO<sub>4</sub>)<sub>5</sub>, and cesiodymite, CsKCu<sub>5</sub>O(SO<sub>4</sub>)<sub>5</sub>, two new isotypic minerals and the K–Cs isomorphism in this solid-solution series // European Journal of Mineralogy. 2018. Vol. 30. No 3. P. 593–607.
- 4 Siidra O.I., Lukina E.A., Nazarchuk E.V., Depmeier W., Bubnova R.S., **Agakhanov A.A.**, Avdontseva E.Y., Filatov S.K., Kovrugin V.M. Saranchinaite, Na<sub>2</sub>Cu(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, a new exhalative mineral from Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia, and a product of the reversible dehydration of kröhnkite, Na<sub>2</sub>Cu(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> // Mineralogical Magazine. 2018. Vol. 82. No 2. P. 257–274.
- 5 Pekov I.V., Zubkova N.V., **Agakhanov A.A.**, Yapaskurt V.O., Chukanov N.V., **Belakovskiy D.I.**, Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. VIII. arsenowagnerite, Mg<sub>2</sub>(AsO<sub>4</sub>)F // Mineralogical Magazine. 2018. Vol. 82. No 4. P. 877–888.
- 6 Nazarchuk E.V., Siidra O.I., **Agakhanov A.A.**, Lukina E.A., Avdontseva E.Y., Karpov G.A. Itelmenite, Na<sub>2</sub>CuMg<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>, a new anhydrous sulphate mineral from the Tolbachik volcano // Mineralogical Magazine. 2018. May 15. P. 1–18.
- 7 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. Arsenatrotitanite, NaTiO(AsO<sub>4</sub>) // Mineralogical Magazine. 2018. July 04. P. 1–18.
- 8 Zubkova N.V., Pekov I.V., Ksenofontov D.A., Agakhanov A.A., Turchkova A.G., Vigasina M.F., Pushcharovsky D.Yu., Sidorov E.G. Comparative crystal chemistry of minerals belonging to the system A<sub>3</sub>M<sub>6</sub>O<sub>2</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> (A = K, Na, Ca; M = Cu<sup>2+</sup>, Al, Fe<sup>3+</sup>) from alkali-rich fumarolic exhalations of the Tolbachik volcano (Kamchatka, Russia) // Proceedings of

- XXXV International Conference "Magmatism of the Earth and related strategic metals deposits". Moscow, GEOKHI RAS. 2018. 352-353.
- 9 Koshlyakova N.N., Pekov I.V., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Turchkova A.G., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Yu. Crystal chemistry of arsenate and vanadate garnets from fumarole exhalations of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia // Proceedings of XXXV International Conference "Magmatism of the Earth and related strategic metals deposits". Moscow, GEOKHI RAS. 2018. P. 160-162.
  - 10 Пеков И.В., Агаханов А.А., Зубкова Н.В., Кошлякова Н.Н., Щипалкина Н.В., Сандалов Ф.Д., Япаскурт В.О., Турчкова А.Г., Сидоров Е.Г. Вулканические эксгалационные системы окисленного типа – минералогические и геохимические уникалы // Международная конференция, посвященная 110-летию со дня рождения академика Владимира Степановича Соболева. Новосибирск. 2018. С. 49. <http://conf.ict.nsc.ru/SobolevVS110/ru>
  - 11 Медведев В.А., Вержак В.В., Веричев Е.М. и др. Отчет о результатах разведки кимберлитовых трубок месторождения им. М.В. Ломоносова в 1983-1987 гг. с подсчетом запасов алмазов по состоянию 01.03.1987г. ПГО «Архангельскгеология» и ПГО «Невскгеология» (НПГО). Архангельск, 1987. – 98 с.
  - 12 Медведев В.А., Пылаев Н.Ф., Весилов В.И. и др. Отчет о результатах доразведки трубки Архангельская и предварительной разведки трубки Снегурочка месторождения им. М.В. Ломоносова в 1987-1991 гг. ГРЭ 17 Невского ПГО. Архангельск, 1991. – 102 с.
  - 13 Саблуков С.Н. и др. Изучение петрографии, петрохимии и минералогии глубинных включений и их связь с продуктивностью объектов; разработка и внедрение критериев прогнозирования рудоносности. М., ЦНИГРИ. 1990. – 156 с.
  - 14 Третьяченко В.В. Минерагеническое районирование кимберлитовой области Юго-Восточного Беломорья. Автореферат дис. к. г.-м. н. Москва, 2008. – 28 с.
  - 15 Пылаев Н.Ф., Машкара А.М., Шкиль И.Э. и др. Геологические материалы к ТЭО постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов по кимберлитовым трубкам Пионерская, Поморская и им. Ломоносова месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. ОАО «Севералмаз», Поморская ГРЭ. Архангельск, 2014. – 175 с.
  - 16 Саблуков С.М., Саблукова Л.И. Отчет о проведении работ по теме «Разработка системы химико-генетической интерпретации результатов шлихоминералогических поисков на основе паспортизации трубок Зимнего Берега по особенностям мантийных ксенолитов» М: ООО ИНПК «РУСГЕО», 2009. – 198 с.



- 17 Файзиев А.Р., Дусматов В.Д. Химический состав халькопирита, сфалерита, пирита и леллингита некоторых рудопроявлений Центрального Таджикистана / В сборнике: Вопросы геологии Таджикистана. 1973. Вып. 3. С. 113–122.
- 18 Карпенко В.Ю., Паутов Л.А., Агаханов А.А., Сийдра О.И. Кадмиевая минерализация в щелочном массиве Дарай-Пиоз (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2018. Т. 52. В. 4.
- 19 Мираков М.А., Паутов Л.А., Шодибеков М.А., Плечов П.Ю., Карпенко В.Ю. Новая скандийсодержащая разновидность тусионита с Восточного Памира (Таджикистан) // Записки Российского минералогического общества. 2018. Т. 147. № 4. С. 84–96.
- 20 Дмитриев Э.А. Гранитные пегматиты Восточного Памира и особенности их камнесамоцветной минерализации // Изв. АН ТаджССР. Сер. геол. и физ.-техн. наук. 1983. № 3(89). С. 73–81.
- 21 Россовский Л.Н., Морозов С.А., Скригитиль А.М. Особенности формирования миароловых пегматитов Восточного Памира // Известия АН СССР. Сер. геол. 1991. № 5. С. 92–103.
- 22 Паутов Л.А., Мираков М.А., Шодибеков М.А. Находка герценбергита в гранитном миароловом пегматите Вез-Дара на Юго-Западном Памире (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2018. Т. 52. Вып. 1. С. 6–14.
- 23 Коноваленко С.И. Типы миароловых пегматитов кристаллической толщи юго-западного Памира / Геммология: Сборник статей. Томск: ФГУ «Томский ЦНТИ», 2006. С. 69–75.
- 24 Владимиров А.Г., Малых М.М., Дронов В.М., Чернер Э.С., Поляков Г.В. Индосинийский магматизм и геодинамика Южного Памира. Новосибирск. 1992. – 229 с.
- 25 Паутов Л.А., Шодибеков М.А., Мираков М.А., Файзиев А.Р., Хворов П.В. Уранополикраз  $(U,Y)(Ti,Nb)_2O_6$  из миаролового пегматита Музейный в районе месторождения Кухилал (Юго-Западный Памир, Таджикистан). // Новые данные о минералах. 2018. Т. 52. Вып. 2. С. 34-39.
- 26 Лабунцов А.Н. Геолого-минералогические исследования на Западном Памире и в провинции Бадахшан в Афганистане в 1928 г. // Труды Памирской экспедиции. Вып. IV. Минералогия. 1930. С. 64-66.
- 27 Россовский Л.Н., Морозов С.А. Особенности формирования гранитных пегматитов, залегающих в магнезиальных мраморах Юго-Западного Памира // ЗВМО. 1991. № 4. С. 34–42.

- 28 Файзиев А.Р., Эльназаров С.А. Минералогические особенности и генезис Кухилалского месторождения благородной шпинели (Юго-Западный Памир). Душанбе: Дониш, 2016. – 135 с.
- 29 Karpenko V.Yu., Pautov L.A., Zhitova E.S., Agakhanov A.A., Krzhinovskaya M.G., Siidra O.I., Rassulov V.A. Akopovaitе  $\text{Al}_4\text{Li}_2(\text{OH})_{12}(\text{CO})_3(\text{H}_2\text{O})_3$  a new mineral from the Karasu-Karavshinskie granitic pegmatite, northern slope of the Turkestan Ridge, Kyrgyzstan Kurguzai // *Mineralogical Magazine*. 2019. – В печати.
- 30 Zhitova E.S., Yakovenchuk V.N., Krivovichev S.V., Zolotarev A.A., Pakhomovsky Y.A., Ivanyuk G.Y. Crystal chemistry of natural layered double hydroxides. 3. The crystal structure of Mg, Al-disordered quintinite-2H // *Mineralogical Magazine*. 2010. V. 74 (5). P. 841–848.
- 31 Kasatkin A.V., Nestola F., Agakhanov A.A., Škoda R., Karpenko V.Y., Tsyganko M.V., Plášil J. Vorontsovite,  $(\text{Hg}_5\text{Cu})\Sigma_6\text{TlAs}_4\text{S}_{12}$ , and Ferrovorontsovite,  $(\text{Fe}_5\text{Cu})\Sigma_6\text{TlAs}_4\text{S}_{12}$ : The Tl- and Tl-Fe-Analogues of Galkhaite from the Vorontsovskoe Gold Deposit, Northern Urals, Russia // *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 5. P. 185.
- 32 Kasatkin A.V., Makovicky E., Jakub Plášil, Škoda R., Agakhanov A.A., Karpenko V.Y., Nestola F. Tsygankoite,  $\text{Mn}_8\text{Tl}_8\text{Hg}_2(\text{Sb}_{21}\text{Pb}_2\text{Tl})\Sigma_{24}\text{S}_{48}$ , a New Sulfosalt from the Vorontsovskoe Gold Deposit, Northern Urals, Russia // *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 5. P. 218.
- 33 Герасимов В.Ю., Лебедев В.А., Аракелянц М.М., Письменный А.Н. Термохронологическое моделирование возраста метаморфизма андалузитовых сланцев Кавказа // Тезисы докладов XVII Симпозиума по геохимии изотопов имени академика А.П. Виноградова: Москва. ГЕОХИ. 2004. С. 61–62.
- 34 Герасимов В.Ю., Письменный А.Н., Энна Н.Л. Цирконометрия метагранитоидов кристалликума Большого Кавказа. // Магматизм и метаморфизм в истории Земли. Материалы XI Всероссийского петрографического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2010. Том 1. С. 167–168.
- 35 Plechov P.Yu., Shcherbakov V.D., Nekrylov N.A. Extremely magnesian olivine in igneous rocks // *Russian Geology and Geophysics*. 2018. Vol. 59. Issue 12. P. 1702–1717.
- 36 Shcherbakov V.D. and P.Y. Plechov. 2018. P-Bearing Olivine from Lava Flow of 2012–2013 Tolbachik Volcano Eruption. *New Data on Minerals*. 2018. V. 52 (1). P. 15–17.
- 37 Nekrylov N., Portnyagin M.V., Kamenetsky V.S., Mironov N.L., Churikova T.G., Plechov P.Yu., Abersteiner A., Gorbach N.V., Gordeychik B.N., Krashennnikov S.P., Tobelko D.P., Shur M.Y., Tetroeva S.A., Volynets A.O., Hoernle K., Worner G. Chromium spinel in Late

- Quaternary volcanic rocks from Kamchatka: Implications for spatial compositional variability of subarc mantle and its oxidation state // *Lithos*. 2018. Vol. 322. P. 212–224.
- 38 Иванова Д.А., В.Д. Щербаков, П.Ю. Плечов, Н.А. Некрылов, В.О. Давыдова, М.А. Турова, Степанов О.В. Кристобалит в экструзивных породах вулкана Безымянный // *Новые данные о минералах*. 2018. Т. 52 (2). С. 51–59.
- 39 Давыдова В.О., В.Д. Щербаков, Плечов П.Ю. Оценки времени смешения магм в системе вулкана Безымянный (Камчатка) по данным диффузионной хронометрии // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. N. 4. С. 52–58.
- 40 Plechov P.Yu., Shcherbakov V.D., Nekrylov N.A. Extremely magnesian olivine in igneous rocks // *Russian Geology and Geophysics*. 2018. Vol. 59. Issue 12. P. 1702–1717.
- 41 Sobolev A.V., Hofmann A.W., Kuzmin D.V., Yaxley G.M. et al. The Amount of Recycled Crust in Sources of Mantle-Derived Melts // *Science*. 2007. V. 316. P. 412–417.
- 42 Milman-Barris M.S., Beckett J.R., Baker M.B., Hofmann A.E., Morgan Z., Crowley M.R., Vielzeuf D., Stolper E. Zoning of phosphorus in igneous olivine // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2008. Vol. 155. № 6. P. 739-765.
- 43 de Maisonneuve C.B., Costa F., Huber C., Vonlanthen P., Bachmann O., Dungan M.A. How do olivines record magmatic events? Insights from major and trace element zoning // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2016. Vol. 171. № 6. P. 56.
- 44 Welsch B., Hammer J., Hellebrand E. Phosphorus zoning reveals dendritic architecture of olivine. // *Geol.* 2014. Vol. 42. № 10. P. 867-870.
- 45 Plechov P., Blundy J., Nekrylov N., Melekhova E., Shcherbakov V., Tikhonova M.S. Petrology and Volatile Content of Magmas Erupted from Tolbachik Volcano, Kamchatka, 2012-13 // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2015. V. 307. P. 182–199.
- 46 Клопотов К.И. Слюдянка: краткий минералогический путеводитель. В мире минералов. Минералогический Альманах. 2006. Вып.10. С. 6–22.
- 47 Конев А.А. Самойлов В.С. Контактный метаморфизм и метасоматоз в ореоле Тажеранской щелочной интрузии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. – 246 с.
- 48 Старикова А.Е. Минералогия метасоматических пород Тажеранского массива. Автореферат дисс. канд. г.-м.н. Новосибирск, 2013. – 28 с.
- 49 Левицкий В.И., Петрова З.И. Минеральные ассоциации Белой Выемки / В кн.: *Минералогия Прибайкалья. Путеводитель Байкальской экскурсии XI съезда Международной минералогической ассоциации*. Иркутск, 1978. С. 52–66.
- 50 Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Группа оливина. 1982. С. 15–62.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Список публикаций по теме

1 Bindeman I.N., Schmitt A.K., Lundstrom C.C., Hervig R.L. Stability of Zircon and Its Isotopic Ratios in High-Temperature Fluids: Long-Term (4 months) Isotope Exchange Experiment at 850 degrees C and 50 MPa // FRONTIERS IN EARTH SCIENCE. 2018. Vol. 6. UNSP 59. MAY 25. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00059>

2 Davydova V.O., Plechov P.Yu., Shcherbakov V.D., Perepelov A.B. High-K basaltic trachyandesite xenoliths in pyroclastic deposits from the Bezymianny volcano (Kamchatka) // Russian Geology and Geophysics. 2018. Vol. 59. Issue 9. P. 1087–1099. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.08.003>

3 Davydova V.O., Shcherbakov V.D., Plechov P.Yu. The Timescales of Magma Mixing in the Plumbing System of Bezymianny Volcano (Kamchatka): Insights from Diffusion Chronometry // Moscow University Geology Bulletin. V. 73. Issue 5. P. 444–450. <https://doi.org/10.3103/S0145875218050058>

4 Chukanov N.V., Pekov I.V., Belakovskiy D.I., Britvin S.N., Stergiou V., Voudouris P., Magganas A. Katerinopoulosite,  $(\text{NH}_4)_2\text{Zn}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral from the Esperanza mine, Lavrion, Greece // European Journal of Mineralogy. 2018. V. 30. No 4. P. 821–826. <https://doi.org/10.1127/ejm/2018/0030-2746>

5 Chukanov N.V., Weiss S., Meisser N., Pekov I.V., Britvin S.N., Vozchikova S.A., Belakovskiy D.I., Ermolaeva V.N. Post-mining amorphous Cu-Al hydroxyphosphate from West Caradon Mine, Liskeard, UK // Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry. V. 195. N. 3. P. 205–210. <https://doi.org/10.1127/njma/2018/0105>

6 Chukanov N.V., Zubkova N.V., Meisser N., Ansermet S., Weiss S., Pekov I.V., Belakovskiy D.I., Vozchikova S.A., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Y. Martinandresite,  $\text{Ba}_2(\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32})_{\text{center}} \cdot 10\text{H}(2)\text{O}$ , a new zeolite from Wasenalp, Switzerland // Physics and Chemistry of Minerals. 2018. Vol. 45. Issue 6. P. 511–521. <https://doi.org/10.1007/s00269-017-0938-6>

7 Chukanov N.V., Zubkova N.V., Möhn G., Pekov I.V., Belakovskiy D.I., Van K.V., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Y. Triazolite,  $\text{NaCu}_2(\text{N}_3\text{C}_2\text{H}_2)_2(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral species containing 1,2,4-triazolate anion, from a guano deposit at Pabellón de Pica, Iquique // Mineralogical Magazine. 2018. Vol. 82. No 4. P. 1007–1014. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.088>

8 Gorelova L., Pakhomova A., Krivovichev S., Dubrovinsky L., Kasatkin. A.V. Paracelsian  $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  under high pressure: three new phase transitions and three new high-pressure phases //

XXII Meeting of the International Mineralogical Association, 13-17 August 2018, Melbourne, Book of Abstracts. P. 371.

9 Hawthorne F.C., Sokolova E.V., Agakhanov A.A., Pautov L.A., Karpenko V.Y., Grew E.S. Chemographic exploration of the hyalotekite structure-type // *Mineralogical Magazine*. 2018. Vol. 82. No 4. P. 929–937. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.076>

10 Juroszek R.; Krüger H., Galuskina I., Krüger B., Ježak L., Ternes B., Wojdyla J., Krzykawski T., Pautov L., Galuskin E. Sharyginite,  $\text{Ca}_3\text{TiFe}_2\text{O}_8$ , A New Mineral from the Bellerberg Volcano, Germany. // *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 7. P. 308. <https://doi.org/10.3390/min8070308>. National Science Centre (NCN) of Poland, 2016/23/N/ST10/00142

11 Kampf A.R., Plášil J., Kasatkin A.V., Marty J., Čejka J. Markeyite, a new calcium uranyl carbonate mineral from the Markey mine, San Juan County, Utah, USA // *Mineralogical Magazine*. 2018. Vol. 82. No. 5. P. 1089–1100. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.085>

12 Kasatkin A.V., Makovicky E., Jakub Plášil, Škoda R., Agakhanov A.A., Karpenko V.Y., Nestola F. Tsygankoite,  $\text{Mn}_8\text{Tl}_8\text{Hg}_2(\text{Sb}_2\text{Pb}_2\text{Tl})\Sigma_{24}\text{S}_4\text{S}_8$ , a New Sulfosalt from the Vorontsovskoe Gold Deposit, Northern Urals, Russia // *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 5. P. 218. <https://doi.org/10.3390/min8050218>

13 Kasatkin A.V., Nestola F., Agakhanov A.A., Škoda R., Karpenko V.Y., Tsyganko M.V., Plášil J. Vorontsovite,  $(\text{Hg}_5\text{Cu})\Sigma_6\text{TlAs}_4\text{S}_{12}$ , and Ferrovorontsovite,  $(\text{Fe}_5\text{Cu})\Sigma_6\text{TlAs}_4\text{S}_{12}$ : The Tl- and Tl-Fe-Analogues of Galkhaite from the Vorontsovskoe Gold Deposit, Northern Urals, Russia // *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 5. P. 185. <https://doi.org/10.3390/min8050185>

14 Kasatkin A.V., Plášil J., Škoda R., Belakovskiy D.I., Marty J., Meisser N., Pekov I.V. Redefinition of thérèsemagnanite,  $\text{NaCo}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6\text{Cl}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : new data and relationship to “cobaltogordaite” // *Mineralogical Magazine*. 2018. Vol. 82. No 1. P. 159–170. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.030>

15 Kovrugin V.M., Siidra O.I., Pekov I.V., Chukanov N.V., Khanin D.A., Agakhanov A.A. Embreyite: structure determination, chemical formula and comparative crystal chemistry // *Mineralogical Magazine*. 2018. Vol. 82. No 2. P. 275–290. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.041>

16 Litvin Yu.A., Bovkun A.V., Garanin V.K. Interaction of Titanium Minerals and Their Melts with Diamond-Forming Media (Experiments at 7-8 GPa) // *Geochemistry International*. 2018. Vol. 56. Issue 2. P. 148–161. <https://doi.org/10.1134/S0016702918010032>

17 Litvin Yu.A., Kuzyura A.V., Varlamov D.A., Bovkun A.V., Spivak A.V., Garanin V.K. Interaction of Kimberlite Magma with Diamonds Upon Uplift from the Upper Mantle to the Earth's Crust // *Geochemistry International*. 2018. Vol. 56. Issue 9. P. 881–900.

<https://doi.org/10.1134/S0016702918090070>

18 Lykova I.S., Chukanov N.V., Pekov I.V., Yapaskurt V.O., Giester G. Betalomonosovite: chemical and structural variability and genesis // *European Journal of Mineralogy*. 2018. Vol. 30. No 2. P. 289–304. <https://doi.org/10.1127/ejm/2018/0030-2719>

19 Lykova I.S., Varlamov D.A., Chukanov N.V., Pekov I.V., Zubkova N.V. Crystal chemistry of shuiskite and chromian pumpellyite-(Mg) // *EuropArsenatrotitanian Journal of Mineralogy*. 2018. V. 30. No 6. P. 1133–1139. <https://doi.org/10.1127/ejm/2018/0030-2789>

20 Menezes F.L.A.D., Chaves M.L.S.C., Chukanov N., Atencio D., Scholz R., Pekov I., da Costa G.M., Morrison S.M., Andrade M.B., Freitas E.T.F., Downs R.T., Belakovskiy D.I. Parisite-(La), ideally  $\text{CaLa}_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$ , a new mineral from Novo Horizonte, Bahia, Brazil // *Mineralogical Magazine*. 2018. Vol. 82. No 1. P. 133–144. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.028>

21 Mikhailenko D.S., Korsakov A.V., Rashchenko S.V., Seryotkin Yu.V., Belakovskiy D.I., Golovin A.V. Kuliginite, a new hydroxychloride mineral from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia: Implications for low-temperature hydrothermal alteration of the kimberlites // *American Mineralogist*. 2018. 103 (9). P. 1435–1444. <https://doi.org/10.2138/am-2018-6363>

22 Nekrylov N.A., Popov D.V., Plechov P.Yu., Shcherbakov V.D., Danyushevsky L.V., Dirksen O.V. Garnet-Pyroxenite-Derived End-Member Magma Type in Kamchatka: Evidence from Composition of Olivine and Olivine-Hosted Melt Inclusions in Holocene Rocks of Kekuknaisky Volcano // *Petrology*. 2018. Vol. 26. Issue 4. P. 329–350. <https://doi.org/10.1134/S0869591118040057>

23 Nekrylov N., Portnyagin M.V., Kamenetsky V.S., Mironov N.L., Churikova T.G., Plechov P.Yu., Abersteiner A., Gorbach N.V., Gordeychik B.N., Krashennikov S.P., Tobelko D.P., Shur M.Y., Tetroeva S.A., Volynets A.O., Hoernle K., Worner G. Chromium spinel in Late Quaternary volcanic rocks from Kamchatka: Implications for spatial compositional variability of subarc mantle and its oxidation state // *Lithos*. 2018. Vol. 322. P. 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.10.011>

24 Ogorodova L.P., Gritsenko Y.D., Vigasina M.F., Bychkov A.Y., Ksenofontov D.A., Melchakova L.V. Thermodynamic properties of natural melilites // *American Mineralogist*. 2018. 103 (12). P. 1945–1952. RFBR 18-29-12128 mk

25 Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Pushcharovsky D.Y., Yapaskurt V.O., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Sidorov E.G., Britvin S.N. Cryptochalcite,  $\text{K}_2\text{Cu}_5\text{O}(\text{SO}_4)_5$ , and cesiodymite,  $\text{CsKC}_5\text{O}(\text{SO}_4)_5$ , two new isotypic minerals and the K–Cs isomorphism in this solid-solution series // *European Journal of Mineralogy*. 2018. Vol. 30. No 3. P. 593–607. <https://doi.org/10.1127/ejm/2018/0030-2725>



26 Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zubkova N.V., Lykova I.S., Britvin S.N., Yapaskurt V.O., Agakhanov A.A., Shchipalkina N.V., Turchkova A.G., Sidorov E.G. Fumarolic arsenates – a special type of arsenic mineralization // *European Journal of Mineralogy*. 2018. Vol. 30. No 2. P. 305–322. <https://doi.org/10.1127/ejm/2018/0030-2718>

27 Pekov I.V., Sereda E.V., Zubkova N.V., Yapaskurt V.O., Chukanov N.V., Britvin S.N., Lykova I.S., Pushcharovsky D.Y. Genplesite,  $\text{Ca}_3\text{Sn}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral of the fleischerite group: first occurrence of a tin sulfate in nature // *European Journal of Mineralogy*. 2018. V. 30. No 2. P. 375–382. <https://doi.org/10.1127/ejm/2018/0030-2722>

28 Pekov I.V., Siidra O.I., Chukanov N.V., Yapaskurt V.O., Belakovskiy D.I., Turchkova A.G., Mohn G. Calamaite, a new natural titanium sulfate from the Alcaparrosa mine, Calama, Antofagasta region, Chile. // *European Journal of Mineralogy*. 2018. V. 30. No 4. P. 801–809. <https://doi.org/10.1127/ejm/2018/0030-2738>

29 Pekov I.V., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Yapaskurt V.O., Chukanov N.V., Belakovskiy D.I., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Y. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. VIII. arsenowagnerite,  $\text{Mg}_2(\text{AsO}_4)\text{F}$  // *Mineralogical Magazine*. 2018. Vol. 82. No 4. P. 877–888. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.067>

30 Pekov I.V., Zubkova N.V., Yapaskurt V.O., Belakovskiy D.I., Lykova I.S., Vigasina M.F., Ksenofontov D.A., Britvin S.N., Sidorov E.G., Khanin D.A., Pushcharovsky D.Yu. Feodosiyite,  $\text{Cu}_{11}\text{Mg}_2\text{Cl}_{18}(\text{OH})_8 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral from the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia // *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*. V. 195. N. 1. P. 27–39. <https://doi.org/10.1127/njma/2017/0081>

31 Plechov P.Yu., Shcherbakov V.D., Nekrylov N.A. Extremely magnesian olivine in igneous rocks // *Russian Geology and Geophysics*. 2018. Vol. 59. Issue 12. P. 1702–1717. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.12.012>

32 Shcherbakov V.D., Nekrylov N.A., Savostin G.G., Popov D.V., Dirksen O.V. The Composition of Melt Inclusions in Minerals from Tephra of the Soil-Pyroclastic Cover of Simushir Island (Central Kuril Islands) // *Moscow University Geology Bulletin*. V. 73. Issue 1. P. 31–42. <https://doi.org/10.3103/S014587521801009X>

33 Siidra O.I., Lukina E.A., Nazarchuk E.V., Depmeier W., Bubnova R.S., Agakhanov A.A., Avdontseva E.Y., Filatov S.K., Kovrugin V.M. Saranchinaite,  $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$ , a new exhalative mineral from Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia, and a product of the reversible dehydration of kröhnkite,  $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_2$  // *Mineralogical Magazine*. 2018. Vol. 82. No 2. P. 257–274. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.037>

34 Siidra O.I., Nazarchuk E.V., Agakhanov A.A., Lukina E.A., Zaitsev A.N., Turner R.,

Filatov S.K., Pekov I.V., Karpov G.A., Yapaskurt V.O. Hermannjahnite,  $\text{CuZn}(\text{SO}_4)_2$ , a new mineral with chalcocyanite derivative structure from the Naboko scoria cone of the 2012–2013 fissure eruption at Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia // *Mineralogy and Petrology*. Т. 112. Вып. 1. С. 123–134. <https://doi.org/10.1007/s00710-017-0520-4>. RSF 16-17-10085

35 Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Agakhanov A.A., Pautov L.A., Karpenko V.Y. The crystal structure of orlovite,  $\text{KLi}_2\text{Ti}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OF})$ : the first example of the short-range order of Ti in true trioctahedral micas // *European Journal of Mineralogy*. 2018. V. 30. No 2. P. 399–402. <https://doi.org/10.1127/ejm/2018/0030-2724>

36 Zelenski M., Kamenetsky V.S., Nekrylov N., Abersteiner A., Ehrig K., Khanin D. Textural, morphological and compositional varieties of modern arc sulfides: A case study of the Tolbachik volcano, Kamchatka // *Lithos*. 2018. Vol. 318. P. 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.07.029> Zolotarev A.A., Selivanova E.A., Krivovichev S.V., Savchenko Y.E., Panikorovskii T.L., Lyalina L.M., Pautov L.A., Yakovenchuk V.N. Shkatulkalite, a rare mineral from the Lovozero Massif, Kola Peninsula: A re-investigation. // *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 7. P. 303. <https://doi.org/10.3390/min8070303>

37 Zhitova E.S., Siidra O.I., Belakovsky D.I., Shilovskikh V.V., Nuzhdaev A.A., Ismagilova R.M. Ammoniovoltaite,  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_{52+\text{Fe}_{33}+\text{Al}}(\text{SO}_4)_{12}(\text{H}_2\text{O})_{18}$ , a new mineral from the Severo-Kambalny geothermal field, Kamchatka, Russia // *Mineralogical Magazine*. 2018. Vol. 82. No. 5. P. 1057–1077. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.083>

38 Zolotarev A.A., Selivanova E.A., Krivovichev S.V., Savchenko Y.E., Panikorovskii T.L., Lyalina L.M., **Pautov L.A.**, Yakovenchuk V.N. Shkatulkalite, a rare mineral from the Lovozero Massif, Kola Peninsula: A re-investigation. // *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 7. P. 303. <https://doi.org/10.3390/min8070303>

39 Гриценко Ю.Д. Коллекция титановых гранатов Минералогического музея имени А.Е.Ферсмана РАН // *Новые данные о минералах*. 2018. Т. 52(1). С. 3–5

40 Давыдова В.О., Щербаков В.Д., Плечов П.Ю. Оценки времени смешения магм в системе вулкана Безымянный (Камчатка) по данным диффузионной хронометрии // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. 2018. № 4. С. 52–58.

41 Иванова Д.А., Щербаков В.Д., Плечов П.Ю., Некрылов Н.А., Давыдова В.О., Турова М.А., Степанов О.В. Кристобалит в экструзивных породах вулкана Безымянный // *Новые данные о минералах*. 2018. Т. 52(2). С. 51–59.

42 Касаткин А.В., Левицкий В.В., Нестола Ф. Гипергенные минералы месторождения Малый Мукулан (Тырныаузское рудное поле, Северный Кавказ) // *Новые данные о минералах*. 2018. Т. 52(3). С. 70–76.

43 Коногорова Д. В., Криулина Г. Ю., Гаранин В. К. Уникальные алмазы России // Материалы Международной научно-практической конференции «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее» (к 100-летию МГРИ-РГГРУ). – Т. 1. – М: Издательство НПП «Фильтроткани», 2018. – С. 216–217.

44 Мираков М.А., Паутов Л.А., Шодибеков М.А., Плечов П.Ю., Карпенко В.Ю. Новая скандийсодержащая разновидность тусионита с Восточного Памира (Таджикистан) // Записки Российского минералогического общества. 2018. Т. 147. № 4. С. 84–96. <https://doi.org/10.30695/zrmo/2018.1474.06>

45 Некрылов, Н.А., Попов Д.В., Плечов П.Ю., Щербаков В.Д., Данюшевский О.В., Дирксен Л.В. Гранат-пироксенитовый источник расплавов на Камчатке: состав расплавных включений и оливина голоценовых пород Кекукнайского вулкана // Петрология. 2018. Т. 26 (4). С. 335–57.

46 Паутов Л.А., Мираков М.А., Шодибеков М.А. Находка герценбергита в гранитном миароловом пегматите Вез-Дара на Юго-Западном Памире (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2018. Т. 52(1). С. 6–14.

47 Паутов Л.А., Шодибеков М.А., Мираков М.А., Файзиев А.Р., Хворов П.В. Уранополикраз  $(U,Y)(Ti,Nb)_2O_6$  из миаролового пегматита Музейный в районе месторождения Кухилал (Юго-Западный Памир, Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2018. Т. 52(2). С. 34–39.

48 Плашил Я., Касаткин А.В., Шкода Р., Степанов С.Ю. Парапьерротит из Вороноцовского золоторудного месторождения, Северный Урал, Россия: кристаллическая структура и химический состав // ЗРМО. 2018. Том. 147. № 1. С. 68–78.

49 Поваренных М.Ю., Матвиенко Е.Н., Кнотько А.В., Шаталова Т.Б. К характеристике природных углеродных наноминералов и их агрегатов урочища Джаракудук (Узбекистан) // Минералогия. Миасс: ИМ УрО РАН. 2018. № 4 (1). С. 85–97.

50 Тищенко А.И., Касаткин А.В. Стевенсит из Первомайского карьера (Бахчисарайский район) – первая находка в Крыму // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2018. Том 4 (70). № 1. С. 190–197.

51 Чуканов Н.В., Воробей С.С., Ермолаева В.Н., Варламов Д.А., Плечов П.Ю., Янчев С., Бовкун А.В. Новые данные о химическом составе и колебательных спектрах минералов группы магнетоплюмбита // Записки Российского минералогического общества. 2018. Т. 147. № 3. С. 44-58.

52 Щербаков В.Д., Плечов П.Ю. Фосфорсодержащий оливин из лавового потока 2012–2013 гг. вулкана Толбачик // Новые данные о минералах. 2018. Т. 52(1). С. 15-17.