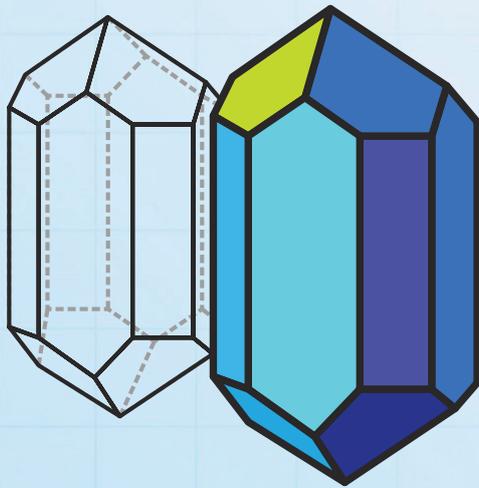


строение, свойства, методы исследования



МИНЕРАЛЫ

14-я конференция

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Уральское отделение

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого

Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

Российское минералогическое общество

Комиссия по рентгенографии, кристаллохимии и спектроскопии



МИНЕРАЛЫ

14-я конференция

**XIV ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«Минералы: строение, свойства,
методы исследования»**

**проводимая совместно с XI Всероссийской научной конференцией
молодых ученых с международным участием**

«Метеориты. Астероиды. Кометы»

28 мая — 1 июня 2024 г.

ЕКАТЕРИНБУРГ

2024

УДК 549.01

Материалы XIV Всероссийской научной конференции «Минералы: строение, свойства, методы исследования». Екатеринбург: Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, 2024. 144 с.

ISBN 978-5-89516-336-8

ОРГКОМИТЕТ:

Вотяков С.Л., д.г.-м.н., академик РАН, председатель, ИГГ УрО РАН, Екатеринбург
Зедгенизов Д.А., д.г.-м.н., проф. РАН, сопредседатель, ИГГ УрО РАН, Екатеринбург
Кривовичев С.В., д.г.-м.н., академик. РАН, сопредседатель, ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты
Филатов С.К., д.г.-м.н., проф., сопредседатель, СПбГУ, Санкт-Петербург
Аксенов С.М., д.х.н., ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты
Белогуб Е.В., д.г.-м.н., ИМин УрО РАН, Миасс
Вайнштейн И.А., д.ф.-м.н., проф. РАН, УрФУ, Екатеринбург
Гроховский В.И., к.т.н., УрФУ, Екатеринбург
Ерёмин Н.Н., д.х.н., член-корр. РАН, МГУ, Москва
Дымшиц А.М., к.г.-м.н., ИЗК СО РАН, Иркутск
Замятин Д.А., к.г.-м.н., ИГГ УрО РАН, Екатеринбург
Канева Е.В., к.г.-м.н., ИГХ СО РАН, Иркутск
Лютюев В.П., к.г.-м.н., ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
Петрова Е.В., к.ф.-м.н., УрФУ, Екатеринбург
Реутский В.Н., д.г.-м.н., проф. РАН, ИГМ СО РАН, Новосибирск
Удачин В.Н., д.г.-м.н., ИМин УрО РАН, Миасс
Чареев Д.А., д.х.н., ИЭМ РАН, Черноголовка
Шендрик Р.Ю., к.ф.-м.н., ИГХ СО РАН, Иркутск
Щапова Ю.В., к.ф.-м.н., ИГГ УрО РАН, Екатеринбург
Упорова Н.С., к.ф.-м.н., секретарь конференции, ИГГ УрО РАН, Екатеринбург



© Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, 2024

ISBN-978-5-89516-336-8

© Авторы тезисов, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

- 12 **Аксенов С.М.**
КРИСТАЛЛОХИМИЯ И СВОЙСТВА МОДУЛЯРНЫХ МИНЕРАЛОВ
- 13 **Айрузов А.Р., Дюндик С.С., Максимова Е.М., Петрова Е.В.**
ВЛИЯНИЕ УДАРНОГО МЕТАМОРФИЗМА НА СТРУКТУРНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОИЛИТА КАМЕННЫХ МЕТЕОРИТОВ
- 14 **Акрамов Д.Ф., Селезнева Н.В., Шишкин Д.А., Волегов А.С., Кузнецов Д.К. Казанцев В.А., Баранов Н.В.**
ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ КОБАЛЬТА ХРОМОМ НА СТРУКТУРУ
И СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ДЖАЙПУРИТА
- 15 **Берзин С.В., Петрова Е.В., Яковлев Г.А., Ахмедов Д.А., Карташова А.П., Сальгадо Э.Х., Вейтга Ф.Г.**
САМОРОДНАЯ МЕДЬ В МЕТЕОРИТЕ ВИНАЛЕС (L6)
- 16 **Бирюков Я.П., Бубнова Р.С.**
УТОЧНЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ТЕРМИЧЕСКОЕ
РАСШИРЕНИЕ БОРАТА $Ba_2Lu_3V_5O_{17}$
- 17 **Бирюков Я.П., Шаблинский А.П., Бубнова Р.С., Авдонцева М.С., Филатов С.К.**
НИЗКО- И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕНТГЕНДИФРАКЦИОННЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ОКСОБОРАТА ВАРВИКИТА
- 18 **Богданова Л.И., Щапова Ю.В., Михайловская З.А., Вотяков С.Л.**
ДИНАМИКА РЕШЕТКИ И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МОНАЦИТОПОДОБНЫХ ОРТОФОСФАТОВ P3Э
- 19 **Богданова Л.И., Щапова Ю.В., Сушанек Л.Я., Васильев Е.А., Вотяков С.Л.**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ
ПРИРОДНОГО АЛМАЗА: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
КОНФОКАЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ КРС С АНАЛИЗОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ
- 20 **Богомолова А.Е., Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В.**
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВОВ АМФИБОЛОВ ИЗ ХРОМИТИТОВ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ
ЕНГАЙСКОЕ-1 МАССИВА РАЙ-ИЗ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)
- 21 **Бородина У.О., Горяйнов С.В., Лихачёва А.Ю.**
КР-ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КАРБОНАТА НАТРИЯ ПРИ ВЫСОКИХ P-T ПАРАМЕТРАХ
- 22 **Бритвин С.Н.**
МИНЕРАЛОГИЯ ВОДЫ В ВЕЩЕСТВЕ МЕТЕОРИТОВ
- 23 **Брусницына Е.В., Муфтахетдинова Р.Ф., Яковлев Г.А., Гроховский В.И.**
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ МЕЗОСИДЕРИТА VACA MUERTA
- 24 **Буйкин А.И., Корочанцева Е.В., Лоренц К.А., Верховский А.Б.**
БЛАГОРОДНЫЕ ГАЗЫ, УГЛЕРОД И АЗОТ В РАЗНЫХ ЛИТОЛОГИЯХ ОБРИТА
ПЕСЬЯНОЕ: УДАРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ ИСТОРИЯ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ МЕЗОСИДЕРИТА VACA MUERTA
- 25 **Бубнова П.О., Упорова Н.С., Михайловская З.А., Петрова С.А.**
УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОФАЗНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ
ОКСИДОВ СО СТРУКТУРОЙ ШПИНЕЛИ

- 26 **Бубнова Р.С., Филатов С.К.**
ПОДОБИЕ И РАЗЛИЧИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАЗНЫХ КЛАССОВ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
- 27 **Булатов В.А., Замятин Д.А., Вотяков С.Л.**
МИКРОЗОНДОВЫЙ АНАЛИЗ МАЛЫХ ЗЕРЕН ФОСФАТНЫХ МИНЕРАЛОВ-ГЕОХРОНОМЕТРОВ:
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО
- 28 **Вайтиева Ю.А., Чуканов Н.В., Компанченко А.А., Аксенов С.М.**
ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР МИНЕРАЛОВ
СФЕНИСЦИДИТА $(\text{NH}_4\text{Fe}^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ И АНАПАИТА $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
ИЗ КЕРЧЕНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА
- 29 **Вантеев В.В., Кислов Е.В., Гончарук И.С.**
АССОЦИАЦИИ МИНЕРАЛОВ В ВУЛКАНИТАХ РАЙОНА САПФИРОНОСНОЙ РОССЫПИ
НАРЫН-ГОЛ (БАССЕЙН Р. ДЖИДА, ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)
- 30 **Васильев Е.А., Губанов Н.В., Зедгенизов Д.А.**
ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ АЛМАЗОВ В ОБОЛОЧКЕ
- 31 **Васин А.А., Зуев М.Г., Попов И.Д., Пустоваров В.А.**
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И АКТИВАТОРОМ В СОЕДИНЕНИЯХ
 $(\text{Ca}, \text{Ln})_{10}(\text{TO}_4)_6\text{O}_2$ ($\text{Ln}=\text{Eu}, \text{Er}, \text{Yb}, \text{Dy}$; $\text{T}=\text{Si}, \text{W}, \text{Ge}$) СО СТРУКТУРАМИ ТИПА АПАТИТА И ШЕЕЛИТА
- 32 **Волкова В.Е.**
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМОМЕТРА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ
РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ УГЛЕРОДИСТОГО МАТЕРИАЛА
В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА
- 33 **Вурмс Д.М., Кислов Е.В.**
РАЗЛИЧИЕ МИНЕРАЛОГИИ В ХРОМШПИНЕЛИ БУШВЕЛЬДСКОГО
КОМПЛЕКСА И САРАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
- 34 **Герасимов М.В., Диков Ю.П., Яковлев О.И.**
ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ИСПАРЕНИЯ МИНЕРАЛОВ:
ФОРМИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КЛАСТЕРОВ
- 35 **Герк С.А., Цыганова А.А., Кривощекова А.И., Голованова О.А.**
КОМПОЗИЦИОННЫЕ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ
- 36 **Герк С.А., Карпова А.И., Голованова О.А.**
КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ И ПРИРОДНЫХ БИОПОЛИМЕРОВ
- 37 **Гладкочуб Е.А., Селютина Н.Е., Костровицкий С.И., Дымшиц А.М.**
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРС-СПЕКТРОСКОПИИ И СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛОВ В КСЕНОЛИТАХ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ ЯКП
- 38 **Глухов В.С., Селезнев А.А., Малиновский Г.П., Ярошенко И.В.**
МИНЕРАЛЫ-НОСИТЕЛИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕПОНИРОВАННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГОРОДА
- 39 **Глухов М.С., Четвертиков Ю.О.**
НОВАЯ КОЛЛЕКЦИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ ЧАСТИЦ, СОБРАННЫХ
НА АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ВОСТОК
- 40 **Глухова А.А., Киселева Д.В., Глухов М.С., Окунева Т.Г., Рыбакова А.Д.**
МЕТОДИКА ПРОБОПОДГОТОВКИ И РАСТВОРЕНИЯ МЁДА ДЛЯ ИСП-МС АНАЛИЗА

- 41 **Голованова О.А.**
СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕНЕЗЕ ЖЕЛЧНЫХ КАМНЕЙ
- 42 **Гончарук И.С., Кислов Е.В., Вантеев В.В.**
НИЖНЕ-ОЛЛОМИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ АПОДОЛОМИТОВОГО НЕФРИТА
- 43 **Горюнов М.В., Оштрах М.И.**
ПАРАМЕТРЫ СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ЯДЕР ^{57}Fe И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СПЛАВОВ Fe-Ni-Co ВНЕЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
- 44 **Горяйнов С.В., Крылов А.С., Лихачева А.Ю.**
In-situ КР-ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛИКАТОВ И КАРБОНАТОВ ПРИ ВЫСОКИХ *P-T* УСЛОВИЯХ
- 45 **Давлетшина А.А., Замятин Д.А.**
МИКРОСТРУКТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ ЦИРКОНА ИЗ МЕТЕОРИТНЫХ КРАТЕРОВ КАРА (РОССИЯ) И ВРЕДЕФОРТ (ЮАР) ПО ДАННЫМ SEM-EBSD И КР-СПЕКТРОСКОПИИ
- 46 **Демина С.В., Шаблинский А.П., Бубнова Р.С., Поволоцкий А.В., Филатов С.К.**
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ СЕРИЙ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ $\text{BaBi}_2\text{B}_2\text{O}_7$
- 47 **Дирксен А., Васильев Е.А., Антонов А.В.**
ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗА БАСЕЙНА РЕКИ ЧИКМАН
- 48 **Дугушкина К.А.**
ХРОМИТ-ПЛАГИОКЛАЗОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ В ХОНДРИТАХ
- 49 **Дымшиц А.М., Тычков Н.С., Яковлев И.В., Мальковец В.Г.**
КСЕНОКРИСТАЛЛЫ ГРАНАТОВ И ПИРОКСЕНОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ В ПРИЛОЖЕНИИ К СОСТАВУ И СТРОЕНИЮ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ
- 50 **Еремин Н.Н., Еремина Т.А., Гурбанова О.А.**
ОКТАЭДРИЧЕСКИЕ И ТЕТРАЭДРИЧЕСКИЕ МОТИВЫ В СТРУКТУРНОЙ МИНЕРАЛОГИИ – ОТВЕТ ПРИРОДЫ ПЯТОМУ ПРАВИЛУ Л. ПОЛИНГА
- 51 **Желунцын И.А., Вотяков С.Л., Михайловская З.А.**
ЭШИНИТЫ СОСТАВА $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_6$: СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
- 52 **Желунцын И.А., Чебыкин Н.С., Замятин Д.А., Упорова Н.С.**
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УДАРНО-ПРЕОБРАЗОВАННОЙ РАСПЛАВНОЙ ПОРОДЫ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ ПО ДАННЫМ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
- 53 **Зайцев М.А., Герасимов М.В., Васильева А.С.**
О СИНТЕЗЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ: РОЛЬ УДАРНЫХ СОБЫТИЙ
- 54 **Замятина Д.А., Булатов В.А., Замятин Д.А., Мандрыгина Д.А.**
ФЕРГУСОНИТ ИЛЬМЕСКИХ ГОР (КОПЬ 298), ЮЖНЫЙ УРАЛ
- 55 **Замятин Д.А., Мандрыгина Д.А., Давлетшина А.А., Михалевский Г.Б.**
КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ РЕЙДИТА – ВЫСОКОБАРИЧЕСКОЙ ПОЛИМОРФНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЦИРКОНА
- 56 **Зарубина Е.С., Аксенов С.М., Расцветаева Р.К.**
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ МОДУЛЯРНОЙ КРИСТАЛЛОХИМИИ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ ЧЕВКИНИТА

- 57 **Зубов А.А., Шумилова Т.Г.**
СПЕЦИФИКА СУЛЬФИДОВ ЖЕЛЕЗА В КОРИЧНЕВЫХ ЖИЛЬНЫХ
РАСПЛАВНЫХ ТЕЛАХ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ
- 58 **Иванов А.В., Ефремова У.С., Брянский Н.В., Каримов А.А., Михеева Е.А., Демонтерова Е.И.,
Гладкочуб Е.А., Дубенский А.С., Ерофеева К.Г., Хубанов В.Б., Семенова Д.В., Карпов А.В.,
Родионов Н.В., Лепехина Е.Н., Ларионов А.Н., Вотяков С.Л., Червяковская М.В.,
Червяковский В.С., Панкрушина Е.А., Булатов В.А., Чебыкин Н.С., Мандрыгина Д.А.**
ЦИРКОН ВА1-2023 ИЗ РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ГРАНИТОВ РАПАКИВИ
ПРИМОРСКОГО КОМПЛЕКСА, ЗАПАДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ: ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ ДЛЯ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ
- 59 **Игошева В.С., Groшкин Н.Н., Малышев А.И., Киселева Д.В.**
АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И КОНЦЕНТРАТАХ
- 60 **Ильин Г.С., Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Аксенов С.М.**
К ВОПРОСУ О СИММЕТРИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ КАТИОНОВ
В ШЮЛЛЕРИТЕ $Ba_2Na(Mn,Ca)(Fe^{3+},Mg,Fe^{2+})_2Ti_2(Si_2O_7)_2(O,F)_4$
- 61 **Канева Е.В., Lacalamita M., Mesto E., Schingaro E., Шендрик Р.Ю.**
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КРИСТАЛЛОХИМИЯ СЛОЖНЫХ СЛОИСТЫХ
СИЛИКАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД МУРУНСКОГО МАССИВА
- 62 **Каримова Ф.Б., Джуманиязов Д.И.**
МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД
МЕСТОРОЖДЕНИЯ САРЫЧЕКУ (ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН)
- 63 **Карпова А.И., Голованова О.А.**
БИОКОМПЗИТЫ НА ОСНОВЕ СТРОНЦИЙЗАМЕЩЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА
- 64 **Карташова А.П., Ефремов В.В., Попова О.П.**
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗБРАННЫХ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ
- 65 **Киселев В.М., Голованова О.А.**
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР ГИДРОКСИАПАТИТА
- 66 **Кислов Е.В.**
ЧЕРНЫЙ НЕФРИТ КАВОКТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
- 67 **Козлов В.В.**
ОСОБЕННОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ
СЛОЖНОГО СОСТАВА МЕТОДАМИ ЭДС И ВДС НА БАЗЕ РЭМ
- 68 **Комарова В.А., Мозговых С.Н., Казанцев В.А., Селезнева Н.В., Баранов Н.В.**
МАГНИТОУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СЕЛЕНИДНЫХ
СОЕДИНЕНИЯХ СО СТРУКТУРОЙ ТИПА Cr_3S_4
- 69 **Коровин Р.Д., Меженев М.Е., Зайцев Д.В., Панфилов П.Е.**
О РАЗВИТИИ ТРЕЩИН В КОМПАКТИРОВАННЫХ ПОРОШКАХ
ИЗ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА
- 70 **Коровин Р.Д., Меженев М.Е., Зайцев Д.В., Панфилов П.Е.**
О РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

- 71 **Королева О.Н., Коробатова Н.М., Неволina Л.А., Штенберг М.В.**
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ
- 72 **Кузина Д.М., Гагтачека Ж., Муфтахетдинова Р.Ф., Юсупова А.Р.**
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ (АТАКАМА, ЧИЛИ)
- 73 **Кузнецов Э.Д., Васильева М.А., Перминов А.С., Сафронова В.С.**
ОГРАНИЧЕНИЯ НА СЦЕНАРИИ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛОДОГО
СЕМЕЙСТВА АСТЕРОИДОВ EMILKOWALSKI
- 74 **Лебеденко А.В., Клепиков И.В., Васильев Е.А., Антонов А.В., Панькин Д.В.**
МОРФОЛОГИЯ И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ АЛМАЗОВ ТИПА Па
ИЗ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ЗАПАДНОГО ПРИУРАЛЬЯ
- 75 **Лепеха С.В., Васильев Е.А., Зедгенизов Д.А., Сушанек Л.Я.**
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ СИСТЕМЫ 603/700/787 НМ В АЛМАЗЕ
- 76 **Лютюев В.П., Жук Н.А., Головатая О.С.**
ЭПР Fe-, Mn-ДОПИРОВАННЫХ КЕРАМИК BiNbO_4
- 77 **Лютюев В.П., Головатая О.С.**
МЕССБАУЭРОВСКАЯ И ЭПР СПЕКТРОСКОПИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ КАМЧАТКИ
- 78 **Максименко Н.И., Шумилова Т.Г.**
СПЕКАНИЕ МАТРИКСА КАК ИНДИКАТОР ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СТАНОВЛЕНИЯ
ОБЛОМОЧНЫХ ИМПАКТИТОВ (НА ПРИМЕРЕ ЗЮВИТОВ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ)
- 79 **Малич К.Н., Баданина И.Ю., Солошенко Н.Г., Служеникин С.Ф.**
ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА МЕДИ И ЦИНКА
СУЛЬФИДНЫХ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД НОРИЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ
- 80 **Мандрыгина Д.А., Замятин Д. А., Замятина Д. А.**
ФЕРГУСОНИТ: ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИ ОТЖИГЕ МЕТАМИКТНОГО СОСТОЯНИЯ
- 81 **Машина Е.В.**
МОРФОТИПЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ХОЛЕЛИТОВ
- 82 **Михайлова Ю.А., Пахомовский Я.А., Аксенов С.М., Мокрушина О.Д., Забавчик Н.И.**
ВОДОРОД И УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ГАЗЫ В ХИБИНСКОМ И ЛОВОЗЕРСКОМ
ЩЕЛОЧНЫХ МАССИВАХ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)
- 83 **Михайловская З.А., Айрбабамянц Ю.А., Богданова Л.И.**
СИНТЕЗ МИНЕРАЛОПОДОБНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРИМЕРАХ
ФОСФАТНЫХ И СЛОЖНООКСИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
- 84 **Мороз Т.Н., Пальчик Н.А. Жмодик С.М., Коробова Н.С.**
АПАТИТ В ПОРОДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОМТОР, РОССИЯ
- 85 **Муравьев Л.А., Горшков В.Ю., Овчаренко А.В., Шапов В.А.**
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА МЕСТЕ ПАДЕНИЯ ГЛАВНОЙ МАССЫ
МЕТЕОРИТНОГО ДОЖДЯ ЧЕЛЯБИНСК
- 86 **Муравьев Л.А., Корочанцев А.В., Гроховский В.И.**
НАХОДКА ГЛАВНОЙ МАССЫ МЕТЕОРИТНОГО ДОЖДЯ ЦАРЕВ

- 87 **Муфтахетдинова Р.Ф., Разоренов С.В., Хомская И.В., Гроховский В.И., Хотинев В.А., Яковлев Г.А., Брусницына Е.В., Савиных А.С., Гаркушин Г.В.**
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТОВ
В ПРОБЛЕМЕ АСТЕРОИДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
- 88 **Николаев А.Г., Попов М.П., Хасанова Н.М., Малышев А.В.**
НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ПРИРОДЕ ОКРАСКИ УРАЛЬСКИХ ФЕНАКИТОВ
- 89 **Николаев А.В., Финкельштейн А.Л., Белозерова О.Ю., Мехоношин А.С.**
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА МИНЕРАЛЬНЫХ МИКРОФАЗ
ПАЛЛАДИЯ В СУЛЬФИДНЫХ РУДАХ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ
МИКРОСКОПИИ И РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО МИКРОАНАЛИЗА
- 90 **Ожиганов М.Э., Медведев М.Г., Картеева В.М., Накибов Р.С., Сапунова У.А., Васюнин А.И.**
ИЗУЧЕНИЕ АНАЛОГОВ МЕЖЗВЕЗДНЫХ ЛЬДОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ
ПРИ ПОМОЩИ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ
- 91 **Петрова Е.В., Чукин А.В., Оштрах М.И.**
ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУР РАВНОВЕСНОГО КАТИОННОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ
В ОЛИВИНЕ И ОРТОПИРОКСЕНЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ ПО ДАННЫМ
РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ И МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
- 92 **Панкрушина Е.А., Чареев Д.А., Рогинский Е.М., Печурин М.С., Вотяков С.Л.**
ТИОИНДАТЫ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ: РТ-ЗАВИСИМАЯ РАМАНОВСКАЯ
СПЕКТРОСКОПИЯ, КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ
- 93 **Панфилов П.Е., Коровин Р.Д., Кабанова А.В., Меженев М.Е., Григорьев С.С., Зайцев Д.В.**
О РАЗРАБОТКЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ РЕСТОРАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ СТОМАТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ БИОМИНЕРАЛОВ – СКОРЛУПЫ КУРИНЫХ ЯИЦ
- 94 **Петров М.С., Нурканов Е.Ю., Кадушников Р.М.**
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
В ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
- 95 **Петрова Е.В., Чукин А.В., Фелнер И., Оштрах М.И.**
РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКЦИЯ, МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
И МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ВНУТРЕННЕГО ВЕЩЕСТВА
И КОРЫ ПЛАВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ
- 96 **Печурин М.С., Панкрушина Е.А., Рогинский Е.М., Вотяков С.Л.**
Р-ЗАВИСИМАЯ РАМАНОВСКАЯ *in situ* СПЕКТРОСКОПИЯ ПРИРОДНОГО
ФЕНАКИТА И *ab initio* РАСЧЕТЫ ЕГО ФОНОННОГО СПЕКТРА
- 97 **Попвасев К. С., Гракова О.В.**
ФРАМБОИДАЛЬНЫЙ ПИРИТ ИЗ ВЕРХНЕРИФЕЙСКИХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ
СЛАНЦЕВ ХРЕБТА ЕНГАНЕПЭ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)
- 98 **Попова О.П.**
АБЛЯЦИЯ И ФРАГМЕНТАЦИЯ КРУПНЫХ МЕТЕОРОИДОВ
- 99 **Попов А.А., Кокорин А.Ф.**
УСТАНОВКА ДЛЯ АНАЛИЗА АБЛЯЦИИ МЕТЕОРОИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТОКА ПЛАЗМЫ
- 100 **Прибавкин С.В., Бирюзова А.П., Пушкарев Е.В.**
ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ ХРОМШПИНЕЛИДОВ В ТЫЛАИТАХ
(ИЗРАНДИТАХ) АЛЕКСАНДРОВСКОГО КОМПЛЕКСА, ЮЖНЫЙ УРАЛ

- 101 Пушкирев Е.В., Шевелева С.И., Чебыкин Н.С.**
СОСТАВ ПОРФИРОВЫХ ВКРАПЛЕННИКОВ КЛИНОПИРОКСЕНА, КАК ИНДИКАТОР СМЕШЕНИЯ РАСПЛАВОВ И ДВУХСТАДИЙНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АНКРАМИТОВ РАЙОНА ГОРЫ КРУГЛАЯ (ИРЕНДЫКСКАЯ СВИТА)
- 102 Реутова О.В., Белоконова Е.Л.**
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУР НОВЫХ ИОДАТОВ НА ОСНОВЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ [$M(PO_3)_6$]
- 103 Реутский В.Н.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РОСТА КРИСТАЛЛА АЛМАЗА НА ЕГО СОСТАВ
- 104 Романенко А.В., Лихачева А.Ю., Рашенко С.В.**
КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ УПРУГОГО ПОВЕДЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО БЮЧЛИИТА $K_2Ca(CO_3)_2$ ПРИ СЖАТИИ ДО 20 ГПа
- 105 Савельев Д.Е., Гатауллин Р.А., Шабутдинов Т.Д.**
EBSD-ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ОФИОЛИТОВЫХ УЛЬТРАМАФИТОВ И ХРОМИТИТОВ УРАЛА: ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУРНОЙ И ВЕЩЕСТВЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ
- 106 Селезнева Н.В., Казанцев В.А., Баранов Н.В.**
ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ
- 107 Сидорова Е.Ю., Ситдикова Л.М., Хасанова Н.М.**
СТЕПЕНЬ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ГИПЕРГЕННОГО КАОЛИНИТА ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОГРАФИИ И ЭПР
- 108 Сизов Г.С., Кржижановская М.Г., Бубнова Р.С., Власенко Н.С., Филатов С.К.**
СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОКСОБОРАТА $Sm_2CaO(BO_3)_2$
- 109 Симанкова А.О., Пушкирев Е.В., Чебыкин Н.С.**
ПОРФИРОВЫЕ ВКРАПЛЕННИКИ КЛИНОПИРОКСЕНА В ДОЛЕРИТАХ ХАБАРНИНСКОГО АЛЛОХТОНА: СОСТАВ И ЗОНАЛЬНОСТЬ
- 110 Сначёв А.В., Игошева В.С., Рассомахин М.А., Баширов В.Э., Упорова Н.С.**
ГЕОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ СЛАНЦЕВ НОВОУСМАНОВСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)
- 111 Сначёва К.А., Щербакова Е.И.**
ЗАВАРИЦКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ – ГОРДОСТЬ МИРОВОЙ НАУКИ
- 112 Солотчин П.А., Солотчина Э.П., Жданова А.Н.**
МИНЕРАЛОГИЯ СЛОИСТЫХ СИЛИКАТОВ ДОННЫХ ОСАДКОВ ВЫСОКОГОРНОГО ОЗЕРА САГАН-НУР (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)
- 113 Сорокин Е.М., Герасимов М.В., Зайцев М.А., Щербаков В.Д., Рязанцев К.М., Крашенинников С.П., Яковлев О.И., Слюта Е.Н.**
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОФАЗНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА В РЕГОЛИТЕ ЛУНЫ
- 114 Сотникова В.Ф., Кислов Е.В.**
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНОГО НЕФРИТА Р. ЦИПА, ВИТИМСКИЙ НЕФРИТОНОСНЫЙ РАЙОН

- 115 **Сушанек Л.Я., Шапова Ю.В., Бирюков Д.Ю., Зацепин А.Ф.**
ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТИОНОВ ПО ПОЗИЦИЯМ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ
И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИЙ-АЛЮМИНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ
- 116 **Твердов И.Д., Карягина А.С., Грунина Т.М., Попонова М.С., Булыгина И.Н., Сенатов Ф.С., Готлиб Е.М.**
РАЗНОВИДНОСТИ УГЛЕРОДНОГО ВЕЩЕСТВА ИМАКТИТОВ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ
- 117 **Уляшев В.В., Шумилова Т.Г., Исаенко С.И.**
ХАРАКТЕРИСТИКА ДИОПСИДА, ПОЛУЧЕННОГО ТВЕРДОФАЗНЫМ
МЕТОДОМ ИЗ ЗОЛЫ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ И ДОЛОМИТА
- 118 **Упоров С.А., Евдокимов И.В., Стерхов Е.В., Быков В.А., Сидоров В.А., Щелкачев Н.М., Рыльцев Р.Е.**
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫЕ СПЛАВЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ
- 119 **Упорова Н.С., Леонова Л.В., Гуляева Т.Я.**
ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В ГИПСЕ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ
- 120 **Федяева М.А., Лепешкин С.В., Чуканов С.В., Оганов А.Р.**
ВЗАИМНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ХРОМОФОРНЫХ ВИДОВ ПОЛИСУЛЬФИДОВ В МИНЕРАЛАХ
ГРУППЫ СОДАЛИТА: ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ МОЛЕКУЛ S_8 С ПОМОЩЬЮ DFT
- 121 **Филатов С.К.**
СИММЕТРИЙНАЯ СТАТИСТИКА МИНЕРАЛОВ
- 122 **Хамроев У.Х., Сафаров С. Н., Асоев Х.Г., Шокириён Ф.М.**
ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЙ АСТЕРОИД (6037) 1988 EG И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПО ОПТИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ В ОБСЕРВАТОРИИ САНГЛОХ
- 123 **Хасанов Р.А., Королев Э.А., Низамутдинов Н.М., Хасанова Н.М.**
ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ В СТРУКТУРЕ АНГИДРИТА
КАК ИНДИКАТОРЫ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ
- 124 **Цыганова А.А., Голованова О.А.**
СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ И АЛЪГИНАТА
- 125 **Чареев Д.А.**
ПОЛУЧЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ ХАЛЬКОГЕНИДОВ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СВОЙСТВ
- 126 **Червяковская М.В., Червяковский В.С.**
ЛА-ИСП-МС ОПРЕДЕЛЕНИЕ Lu-Nf-ИЗОТОПНОГО СОСТАВА
ЦИРКОНА В РЕЖИМЕ «ВЛАЖНОЙ ПЛАЗМЫ»
- 127 **Червяковский В.С., Червяковская М.В.**
ПЕРВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА АПАТИТА ИЗ АНДЕЗИТОВ МАССИВА
ДИВИЙ КАМЕНЬ (СРЕДНИЙ УРАЛ) МЕТОДОМ ЛА-ИСП-МС
- 128 **Чубаров В.М., Финкельштейн А.Л.**
ОЦЕНКА ФОРМ ВХОЖДЕНИЯ МЕДИ В РУДАХ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ
- 129 **Шаблинский А.П., Демина С.В., Кржижановская М.Г., Бирюков Я.П., Бубнова Р.С., Филатов С.К.**
СУЛЬФАТЫ $Rb_2(SO_4)$, $Cs_2(SO_4)$ И $Rb_2Ca_2(SO_4)_3$: ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ
- 130 **Шарыгин В.В., Гроховский В.И., Яковлев Г.А.**
ПЛАТИНОИДНЫЕ ФАЗЫ В КОРЕ ПЛАВЛЕНИЯ ХОНДРИТОВ ЧЕЛЯБИНСК (LL5) И ОЗЕРКИ (L6)

- 131 **Шарыгин В.В.**
ВКЛЮЧЕНИЯ РАСПЛАВА В ФОСТЕРИТЕ ИЗ CV3 УГЛИСТОГО ХОНДРИТА АЛЛЬЕНДЕ
- 132 **Шарыгин В.В.**
МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ МЕТЕОРИТА КАПУСТИН ЯР (L/LL6)
- 133 **Шендрик Р.Ю., Богданов А.С., Мясникова А.С.**
ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СПЕКТРОВ
МИНЕРАЛОВ И ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ КАРТ
- 134 **Шершнева А.Е., Голованова О.А.**
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ОТЛОЖЕНИЙ НА ИСКУССТВЕННЫХ СОСУДАХ
- 135 **Ширяев П.Б., Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Пучков В.Н., Хиллер В.В.**
ТИТАНСОДЕРЖАЩИЙ ГИДРОКСИЛКЛИНОГУМИТ В ХРОМИТИТАХ
ВОЙКАРО-СЫНЬИНСКОГО МАСИВА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)
- 136 **Штенберг М.В., Коробатова Н.М., Неволina Л.А., Зайнуллина Р.Т., Королева О.Н.**
ХИМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ
И СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
- 137 **Щапова Ю.В., Вотяков С.Л.**
СТРУКТУРНОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ РАЗУПОРЯДОЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ
И ИХ СИНТЕТИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ ПО ДАННЫМ КОНФОКАЛЬНОЙ
ТЕМПЕРАТУРНО-ЗАВИСИМОЙ (8-770 К) ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
- 138 **Юсупова А.Р., Нургалieва Н.Г., Кузина Д.М.**
АУТИГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ В ОСАДКАХ ОЗЕР ЮЖНОГО УРАЛА
- 139 **Яковлев Г.А., Берзин С.В.**
НАХОДКА БОГАТОГО SiO₂ КОМПОНЕНТА (SRC) В УГЛИСТОМ ХОНДРИТЕ КАИНСАЗ (СОЗ.2)
- 140 **Яковлев Г.А., Гроховский В.И.**
ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В ВЕЩЕСТВЕ ВНЕЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
- 141 **Яковлева Д.В., Ситдикова Л.М.**
ОСОБЕННОСТИ РУДООБРАЗУЮЩЕГО АПАТИТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КУКИСВУМЧОРР (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)
- 142 **Якушик М.А., Давыдов А.А., Бутвина В.Г., Сафонов О.Г.**
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРАНАТОВОГО
ГАРЦБУРГИТА С ВОДНО-УГЛЕКИСЛО-СОЛЕВЫМ ФЛЮИДОМ ПРИ 5 ГПА

КРИСТАЛЛОХИМИЯ И СВОЙСТВА МОДУЛЯРНЫХ МИНЕРАЛОВ

Аксенов С.М.

ФИЦ Кольский научный центр РАН, Анатиты, Россия, aks.crys@gmail.com

Явление модулярности достаточно распространено в кристаллических структурах природных и синтетических неорганических соединений [Ferraris et al., 2008; Аксенов и др., 2023; Krivovichev et al., 2021]. Особенностью кристаллохимии таких модулярных структур является наличие стабильных единиц – блоков, которые могут иметь размерность 0 (отдельные кластеры), 1 (стержни) и 2 (слои) и повторяться в большом числе родственных соединений. При этом, проявление модулярности кристаллических структур хорошо согласуется с принципом минимальной сложности Krivovichev et al., 2021]. Чередование различных фрагментов создает предпосылки к образованию гибридных структур и полисоматических серий, а различные способы укладки одних и тех же модулей – к политипии и OD (“order-disorder”) структурам [Ferraris et al., 2008; Аксенов и др., 2023; Belokoneva, 2005].

В настоящее время модулярный подход является мощным инструментом современной минералогической кристаллографии и неорганической кристаллохимии, который позволяет не только более детально анализировать известные структуры и находить между ними структурное родство, но также и предсказывать потенциально новые структуры. Большое число примеров соединений с модулярными структурами позволяет говорить о том, что данное явление широко распространено среди природных и синтетических соединений.

Модулярное строение существенным образом влияет на физические свойства, которые могут служить либо диагностическими признаками того или иного минерального вида или нести важную геологическую информацию. Так, различные типы сочленения одномерно протяженных модулей определяют спайность представителей структурного семейства биопириболов (поскольку связь между соседними модулями слабее связей внутри самого

модуля), а различные отношения модулей в минералах группы гумита определяют их оптические константы. Кроме того, различные сдвиги слоев будут определять наличие или отсутствие центра симметрии для нелинейно-оптических материалов – бериллоборатов структурного семейства KBBF, производных от минерала берборита – $\text{Be}_2(\text{BO}_3)(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$ [Aksenov et al., 2024].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №20-77-10065-П.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.М., Чаркин Д.О., Банару А.М., Банару Д.А., Волков С.Н., Дейнеко Д.В., Кузнецов А.Н., Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Шкурский Б.Б., Ямнова Н.А. Модулярность, политипия, топология и сложности кристаллических структур неорганических соединений: обзор // ЖСХ. 2023. Т. 64. № 10. Статья 117102 (С. 1–238).
2. Aksenov S.M., Chukanov N.V., Tarasov V.P., Banaru D.A., Mackley S.A., Banaru A.M., Krivovichev S.V., Burns P.C. The local state of hydrogen atoms and proton transfer in the crystal structure of natural berborite, $\text{Be}_2(\text{BO}_3)(\text{OH})\cdot\text{H}_2\text{O}$: Low-temperature single crystal X-ray analysis, IR and ^1H NMR spectroscopy, and crystal chemistry and structural complexity of beryllium borates // Phys. Chem. Solids. 2024. V. 189. P. 111944
3. Belokoneva E.L. Borate crystal chemistry in terms of the extended OD theory: Topology and symmetry analysis // Crystallogr. Rev. 2005. V. 11. № 3. P. 151–198.
4. Ferraris G., Makovicky E., Merlino S. Crystallography of Modular Materials. OUP. 2008.
5. Krivovichev S.V. The principle of maximal simplicity for modular inorganic crystal structures // Crystals. 2021. V. 11. P. 1472.

ВЛИЯНИЕ УДАРНОГО МЕТАМОРФИЗМА НА СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОИЛИТА КАМЕННЫХ МЕТЕОРИТОВ

Айрузов А.Р.¹, Дюндик С.С.¹, Максимова Е.М.¹, Петрова Е.В.²

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия, dyundik.s@cfuv.ru

² Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия, evgeniya.petrova@urfu.ru

Соударения твердых тел в космическом пространстве являются одним из важнейших процессов трансформации вещества в космосе, в результате которой могут видоизменяться основные минеральные фазы метеоритов, а также образовываться новые. Силикатные минералы, такие как оливин, пироксен и плагиоклаз также подвержены изменениям. При ударе они могут потемнеть, в них возникает полосчатость, мозаичность и трещиноватость зерен, наблюдается частичное или полное оплавление вещества, а также скапливание металла и сульфидов железа в ударных прожилках [Bischoff, 1992]. Детальное исследование морфологии силикатных фаз каменных метеоритов лежит в основе классификации ударного метаморфизма (Shock stage (S0-S6)) [Stoffler et al., 1991].

В настоящей работе исследована связь ударного метаморфизма со структурными параметрами троилита FeS, выделенного методом магнитной сепарации из фрагментов каменных метеоритов Челябинск (LL5, S4, W0), Calama 022 (L6, S1, W1), NWA 869 (L4-6, S3, W1), Ravar (H4, S2, W1), Marsa Alam 009 (H6, S3, W3). Исследования проводились на рентгеновском дифрактометре Bruker D8 Advance с помощью кобальтового излучения. Съемка проводилась в интервале углов от 10° до 100° с шагом 0,02°.

По уширению дифракционных пиков троилита методом Вильямсона-Холла, [Williamson, 1953], были определены величины микродеформаций $\epsilon = \Delta d/d$, где d – величина межплоскостных расстояний в структуре минерала.

В результате наблюдается хорошая корреляция между величиной ударных нагрузок, испытанных соответствующими метеоритами и значениями микродеформаций в структуре троилита этих метеоритов (рис. 1), что позволяет применять данный метод для образцов с не установленной степенью ударного метаморфизма. Например, метеорита, Царев L5.

Вклад в работу Петровой Е.В. поддержан Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, проект FEUZ-2023-0014.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bischoff, A. Shock metamorphism as a fundamental process in the evolution of planetary bodies / A. Bischoff, D. Stöffler // *Europaen Journal of Mineralogy*. 1992. V. 4 (4). P. 707–755.
2. Stoffler D., Keil K., and Scott E. R. D. Shock metamorphism of ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991. Vol. 55. pp. 3845–3867.
3. Williamson G.K. X-ray line broadening from filed aluminum and wolfram / G.K. Williamson, W.H. Hall // *Acta Met.* 1953. V. 1. P. 22–31.

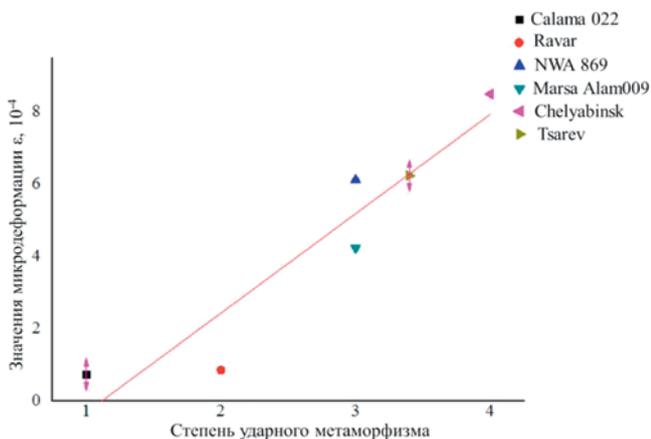


Рис. 1. Зависимость величины микродеформации от степени ударного метаморфизма.

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ КОБАЛЬТА ХРОМОМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ДЖАЙПУРИТА

Акромов Д.Ф.¹, Селезнева Н.В.¹, Шишкин Д.А.^{1,2}, Волегов А.С.¹,
Кузнецов Д.К.¹ Казанцев В.А.², Баранов Н.В.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина, ИЕНУМ, Екатеринбург, Россия

² Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Природный минерал джайпурит (CoS) мало исследован. Состав CoS был получен искусственно различными методами и изучен [Чухров, Бонштедт-Куплетская, 1960]. Синтетический джайпурит кристаллизуется в гексагональной сингонии типа никелина NiAs с пространственной группой $P6_3/mmc$. Свойства подобных соединений значительно зависят как от сорта атомов, так и от концентрации вакансий в катионной подрешетке. Например, в пирротине (Fe_7S_8) наличие вакансий в каждом втором катионном слое приводит к раскомпенсации намагниченностей между слоями, вследствие чего возникает ферримагнитное упорядочение в отличие от антиферромагнетизма в троилите FeS. Изоморфное пирротину соединение Co_7S_8 не обладает дальним магнитным порядком и является парамагнетиком Паули. Замещение кобальта железом в Co_7S_8 не приводит к значительному изменению в магнитном состоянии атомов кобальта, несмотря на появление ферримагнитного упорядочения при значительных концентрациях железа [Baranov et al., 2015]. Однако замещение кобальта хромом в значительной мере может повлиять на магнитное состояние атомов Co. Так, в соединении $CoCr_2Se_4$ в интервале температур от 200 К до 275 К наблюдается изменение спинового состояния атомов кобальта. Представляет интерес получение соединений типа $(Co,Cr)_{1-\delta}S$ и исследование их свойств в широком интервале температур.

В работе синтез выполнялся с помощью твердофазного ампульного метода. Рентгенографическая аттестация осуществлялась на дифрактометре Bruker D8 ADVANCE; измерения намагниченности на PPMS DynaCool T9 и вибрационном магнитометре Lake Shore VSM 7407; тепловое расширение измерено на dilatометре DL-1500 RHP/DL-1500-H; химиче-

ский состав исследовался сканирующим электронным микроскопом (СЭМ) Auriga CrossBeam.

В ходе работы нами было получено однофазное соединение $Co_{0.56}Cr_{0.4}S$, состав которого был определен СЭМ. Согласно рентгеновскому анализу, синтезированное соединение кристаллизуется в структурном типе NiAs с пространственной группой $P6_3/mmc$. При температуре 223 К обнаружена аномалия на температурной зависимости намагниченности. Так же наблюдается значительное увеличение намагниченности в интервале температур 660–900 К. После охлаждения намагниченность не возвращается в исходное состояние. В этом же интервале температур происходит необратимое увеличение размера образца до 6%. Методом рентгеновской терморентгенографии установлено, что это связано с переходом от гексагональной симметрии к кубической с выделением металлического кобальта. Обнаружено, что дополнительный отжиг с закалкой от 1000 °С возвращает соединение в исходное состояние.

Работа подготовлена при финансовой поддержке ППК 3.1.1.1.2-20.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чухров Ф.В., Бонштедт-Куплетская Э.М. Минералы, том 1. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1960. 619 с.
2. Baranov N.V., Ibrahim P.N.G., Selezneva N.V., Gubkin A.F., Volegov A.S., Shishkin D.A., Keller L., Sheptyakov D., Sherstobitova E.A. Layer-preferential substitutions and magnetic properties of pyrrhotite-type $Fe_{7-y}M_yX_8$ chalcogenides (X=S, Se, M=Ti, Co) // Journal of condensed matter physics. 2015. V. 27. P. 286003.

САМОРОДНАЯ МЕДЬ В МЕТЕОРИТЕ ВИНАЛЕС (L6)**Берзин С.В.^{1,2}, Петрова Е.В.², Яковлев Г.А.^{1,2}, Ахмедов Д.А.¹,
Карташова А.П.³, Сальгадо Э.Х.⁴, Вейтга Ф.Г.⁴**¹ *Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, berzin@igg.uran.ru*² *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*³ *ИНАСАН, Москва, Россия*⁴ *Институт геофизики и астрономии, Гавана, Куба*

Падение метеорита Виналес (Viñales) произошло ночью 1 февраля 2019 г на Кубе в провинции Пинардель-Рио. Метеорит изучался различными научными коллективами и классифицирован как обыкновенный хондрит L6 [Yin, Dai, 2021; Baziotis et al., 2023].

Минеральный состав метеорита Виналес: оливин $\text{Fa}_{25.1\pm 0.5}$ (N=13); ортопироксен $\text{Fs}_{21.0\pm 0.6}$, $\text{Wo}_{1.4\pm 0.2}$ (N=11); клинопироксен $\text{Fs}_{7.5\pm 0.3}$, $\text{Wo}_{45.1\pm 0.3}$ (N=4); плагиоклаз $\text{An}_{11.2\pm 0.4}$, $\text{Or}_{5.4\pm 1.2}$ (N=8); хромит, апатит, мерриллит, троилит, камасит, (Ni 5.9±0.3 мас.%, Co 2.0±0.1 мас.%, N=7), тэнит (Ni 23-33 wt.%), тетратенит. Метеорит несет следы ударных преобразований (S3-4). Следы земного выветривания практически отсутствуют (W0). Плессит, состоящий из тонкозернистого срастания камасита (Ni 3.3-3.8 мас.%) и тетратенит (Ni 49-54 мас.%), слагает зоны в зернах металла, преимущественно тэнита.

Самородная медь в виде зерен до 0,1 мм с неровными границами располагается преимущественно на границах зерен Fe-Ni-металла и троилита.

Самородная медь является редким минералом обыкновенных хондритов [Rubin, 1994; Максимова и др., 2013]. Рядом исследователей появление самородной меди в хондритах связывается с ударными событиями и пост-импактным метаморфизмом металла на родительских астероидах [Tomkins, 2009; Luszczek, Krzesinska, 2020]. Хондриты с включениями меди рассматриваются как потенциальные минеральные ресурсы будущих долгосрочных космических миссий [Luszczek, Krzesinska, 2020].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

ЛИТЕРАТУРА

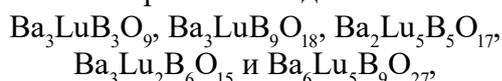
1. Максимова А.А., Яковлев Г.А., Гиззатуллина Р.Ф., Гроховский В.И. Особенности состава и морфологии металл-сульфидных ассоциаций в метеоритах типа LL5 // Минералы: строение, свойства, методы исследования: материалы V Всероссийской молодежной научной конференции (Екатеринбург, 14-17 октября, 2013). Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2013. С. 121–123.
2. Baziotis I.P., Xydous S., Papoutsis A., Hu J., Ma C., Ferrière L., Klemme S., Berndt J., Asimow P.D. Investigation of the shocked Vinales ordinary chondrite (L6) meteorite fall – Implications for shock classification, fragmentation, and collision dynamics // *Icarus*. 2023. V. 390. 115326.
3. Luszczek K., Krzesinska A.M. Copper in ordinary chondrites: Proxies for resource potential of asteroids and constraints for minimum-invasive and economically efficient exploitation // *Planetary and Space Science*. 2020. V. 194. 105092.
4. Rubin A. Metallic copper in ordinary chondrites. *Meteoritics* 1994. V. 29(1). P. 93–98.
5. Tomkins A.G. What metal-troilite textures can tell us about post-impact metamorphism in chondrite meteorites // *Meteoritics & Planetary Science*. 2009. V. 44(8). P. 1133–1149.
6. Yin F., Dai D. Petrology and mineralogy of the Vinales meteorite, the latest fall in Cuba // *Science Progress*. 2021. V. 104(2). P. 1–12.

УТОЧНЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ БОРАТА $Ba_2Lu_5B_5O_{17}$

Бирюков Я.П., Бубнова Р.С.

НИЦ «Курчатовский институт» – Институт химии силикатов
им. И.В. Гребенщикова, Санкт-Петербург, Россия, y.p.biryukov@mail.ru

На настоящий момент в системе $BaO-Lu_2O_3-B_2O_3$ известно пять тройных соединений:



последние два из которых были впервые получены и охарактеризованы авторами работы. Кроме того, на основе матриц $Ba_3LuB_9O_{18}$, $Ba_3Lu_2B_6O_{15}$ и $Ba_6Lu_5B_9O_{27}$ авторами впервые разработаны настраиваемые Eu^{3+} -активированные красноизлучающие люминофоры для LED-приложений [Kolesnikov et al., 2021; Bubnova et al., 2022; Biryukov et al., 2024]. Борат $Ba_2Lu_5B_5O_{17}$ изоструктурен Y-аналогу, известны работы по активации этой матрицы ионами Eu^{3+} и Ce^{3+} [Hermus et al., 2018], однако, на настоящий момент отсутствуют данные по результатам уточнения его кристаллической структуры, а также термическому поведению.

В настоящей работе борат $Ba_2Lu_5B_5O_{17}$ был получен методом многоступенчатого твердофазного синтеза. Кристаллическая структура была уточнена методом Ритвельда по порошковым данным. Термическое поведение было изучено методом терморентгенографии в интервале 25–1000 °С. Борат кристаллизуется в ромбической сингонии, пр. гр. *Pbcn*, параметры ячейки: $a = 17.3153$, $b = 6.5538$, $c = 12.8493$ Å. Структура представляет каркас, сложенный изолированными треугольниками $[BO_3]^{3-}$, искаженными лютеций- и барий-кислородными октаэдрами. В указанном интервале температур не наблюдается каких-либо фазовых переходов. При комнатной температуре термическое расширение анизотропно. Максимальное расширение наблюдается вдоль кристаллографической оси c ($\alpha_c = 14.03 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ при 25 °С), перпендикулярно которой располагаются борокислородные

треугольники $[BO_3]^{3-}$. При повышении температуры степень анизотропии ослабевает, при этом вдоль трех кристаллографических направлений значения коэффициентов термического расширения возрастают и сопоставимы между собой. Такой характер расширения может быть связан с изменением угла наклона треугольников $[BO_3]^{3-}$, ранее выявленного для $Ba_3LuB_3O_9$, что обусловлено вкладом деформаций искаженных барий-кислородных полиэдров, связанных с треугольниками по общим ребрам.

Работа поддержана Стипендией Президента РФ [СП-408.2022.3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Biryukov Y.P., Bubnova R.S., Povolotskiy A.V., Filatov S.K. Synthesis and optical properties of novel red-emitting phosphors $Ba_3Lu_{1-x}Eu_xB_9O_{18}$ ($x=0-0.85$) // *Ceram. Int.* 2024. V. 50. P. 3491–3496.
2. Bubnova R.S., Povolotskiy A.V., Biryukov Y.P., Kolesnikov I.E., Volkov S.N., Filatov S.K. Cation sites occupation and luminescence of novel red-emitting phosphors $Ba_6(Lu_{1-x}Eu_x)B_9O_{27}$ ($x=0.02-0.2$) // *Ceram. Int.* 2022. V. 48. P. 15966–15974.
3. Hermus M., Phan P.C., Duke A.C., Brgoch J. Tunable optical properties and increased thermal quenching in the blue-emitting phosphor series: $Ba_2(Y_{1-x}Lu_x)_5B_5O_{17}:Ce^{3+}$ ($x=0-1$) // *Chem. Mater.* 2017. V. 29. P. 5267–5275.
4. Kolesnikov I.E., Bubnova R.S., Povolotskiy A.V., Biryukov Y.P., Povolotckaia A.V., Shorets O.Yu., Filatov S.K. Europium-activated phosphor $Ba_3Lu_2B_6O_{15}$: influence of isomorphic substitution on photoluminescence properties // *Ceram. Int.* 2021. V. 47. P. 8030–8034.

НИЗКО- И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕНТГЕНДИФРАКЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКСОБОРАТА ВАРВИКИТА

Бирюков Я.П.¹, Шаблинский А.П.¹, Бубнова Р.С.¹, Авдонцева М.С.², Филатов С.К.²

¹ НИЦ «Курчатовский институт» – Институт химии силикатов
им. И.В. Гребенщикова, Санкт-Петербург, Россия, у.р. biryukov@mail.ru
² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук
о Земле, Санкт-Петербург, Россия, filatov.stanislaw@gmail.com

Варвикит – природный оксоборат $M^{2+}M^{3+}(\text{BO}_3)_2\text{O}$ (M^{2+} – Fe, Mg, M^{3+} – Fe, Ti, Cr, Al), синтетические аналоги которого обладают важными функциональными свойствами, главным образом, магнитными и мультиферроидными.

Известно, что синтетический варвикит $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}(\text{BO}_3)_2\text{O}$ обладает двумя полиморфными модификациями: низко- (моноклинная сингония, пр. гр. $P2_1/n$) и высокотемпературной (ромбическая сингония, пр. гр. $Pnma$) с температурой структурного перехода 327–347 К [Shimomura et al., 2007]. Однако, моноклинная модификация на настоящий момент неизвестна для природных варвикитов. В кристаллической структуре варвикита катионы M^{n+} координированы шестью атомами кислорода с образованием октаэдров, слагающих разнонаправленные ленты, лежащие в плоскости bc . Ленты связываются в каркас треугольниками $[\text{BO}_3]^{3-}$.

В настоящей работе термическое поведение варвикита состава $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})\text{Fe}^{3+}(\text{BO}_3)_2\text{O}$ было изучено по данным методов порошковой и монокристаллической терморентгенографии в интервале температур от 93 до 513 К. При уточнении экспериментальных порошковых данных методом Ритвельда в качестве структурных моделей были взяты моноклинная и ромбическая модификации в интервале температур 93–513 К. Однако, при использовании моноклинной модели угол β , равный $90.22(2)^\circ$, изменялся в пределах ошибки (вариации $\beta \sim 0.01^\circ$) во всем интервале температур, что скорее всего свидетельствует об отсутствии структурного перехода в исследуемом природном варвиките [Бирюков и др., 2023].

Для проверки были проведены высокотемпературные измерения на монокристалле при 300, 330, 345 и 500 К, однако, по результатам уточнения кристаллической структуры моноклинная модификация не была установлена. В интервале температур 93–400 К основной вклад в анизотропию термического расширения варвикита вносит предпочтительная ориентировка треугольников $[\text{BO}_3]^{3-}$ – расширение минимально в плоскости их нахождения bc , а вдоль перпендикулярной им оси a – максимально. Кроме того, выше 270 К начинает проявляться отрицательное расширение вдоль оси b . Выше 400 К, вероятно, в связи с частичным окислением ионов Fe^{2+} до Fe^{3+} в термическом расширении начинает преобладать затухающий характер по параметрам a и b вплоть до отрицательного линейного и объемного расширения.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 22-77-00038.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков Я.П., Бубнова Р.С., Филатов С.К. Анизотропия термического расширения оксобората варвикита // Физика и химия стекла. 2023. Т. 49. Р. 538–545.
2. Shimomura S., Nakamura S., Ikeda N., Kaneko E., Kato K., Kohn K. Structural properties of a mixed valence compound Fe_2BO_4 // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2007. V. 310. P. 793–795.

ДИНАМИКА РЕШЕТКИ И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МОНАЦИТОПОДОБНЫХ ОРТОФОСФАТОВ РЗЭ

Богданова Л.И., Шапова Ю.В., Михайловская З.А., Вотяков С.Л.

*Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН,
Екатеринбург, Россия, bogdanovalouisa@gmail.com*

Ортофосфаты легких РЗЭ (La - Gd) со структурой монацита (*np.sp. P2₁/n*) характеризуются высокой механической, термической, химической, радиационной стойкостью и обладают высокой изоморфной емкостью, что позволяет допировать их как редкоземельными (Er³⁺, Yb³⁺, Eu³⁺, Sm³⁺, Ce³⁺, Tb³⁺, Dy³⁺ и др.), так и другими катионами (Mn²⁺, Pb²⁺, Zr⁴⁺ и др.). Указанные свойства фосфатов делают их перспективными люминофорами с перестраиваемым спектром и цветом фотолюминесценции за счет варьирования типа и концентрации ионов-активаторов и сенсibilизаторов. Свойства основной фосфатной матрицы имеют важное значение в процессах передачи возбуждения и величины выхода фотолюминесценции.

В настоящей работе рассмотрено влияние химического состава на структуру и фотолюминесцентные свойства многокомпонентных монацитоподобных матриц. Методом соосаждения с последующим отжигом (прекурсоры – нитраты исходных РЗЭ, дигидрофосфат аммония, pH = 2, температуры отжига 230, 500, 800, 1000, 1200 °C) синтезированы керамики переменного состава твердых растворов (La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy)PO₄. Однофазная моноклинная структура соединений подтверждена данными рентгеновской дифракции и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). С использованием T-зависимой (80–770 K) КРС продемонстрировано влияние конфигурационной энтропии на ангармонизм колебаний решетки многокомпонентных ортофосфатов. Проанализированы спектры свечения Nd³⁺, Sm³⁺, Gd³⁺, Dy³⁺ в зависимости от состава матрицы (спектрометр Horiba LabRam HR 800 Evolution, возбуждение лазерным излучением с длиной волны 488 нм, T = 77 K, спектральное разрешение ~ 0,1 нм, пространственное разрешение ~ 2 мкм). Установлены зависимости параметров ФЛ Nd³⁺ от химического состава, структурного разупорядочения твердых растворов и температуры. Отмечена роль температурного и индуцированного разупорядочением факторов

тушения люминесценции. Показана перспективность использования эмиссионных переходов Nd³⁺ (⁴F_{3/2} → ⁴I_{9/2}) в качестве «зондов» структурного разупорядочения фосфатных керамик.

Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН по теме № 124020300057-6.

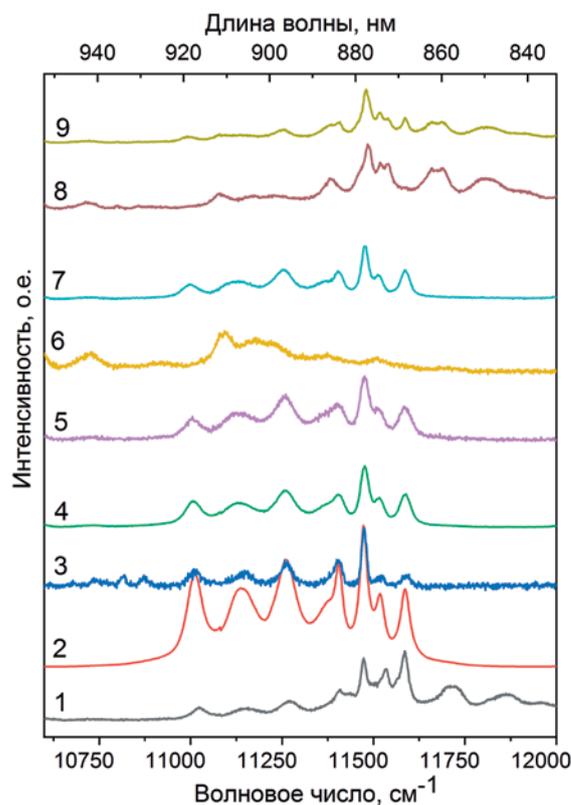


Рис. 1. Спектры ФЛ (возбуждение 488 нм, T = 80K) монацитоподобных однокомпонентных LnPO₄, Ln = Ce(1), Nd (2), Sm(6), Eu(8), Gd(9), и многокомпонентных керамик Ce_{0,2}Pr_{0,2}Nd_{0,2}Eu_{0,2}Gd_{0,2}PO₄ (3), Ce_{0,2}Nd_{0,2}Sm_{0,2}Eu_{0,2}Gd_{0,2}PO₄ (4), Ce_{0,2}Nd_{0,2}Sm_{0,2}Gd_{0,2}Dy_{0,2}PO₄ (5), Nd_{0,2}Sm_{0,2}Eu_{0,2}Gd_{0,2}Dy_{0,2}PO₄ (7). Нумерация спектров – в порядке уменьшения среднего ионного радиуса катиона

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПРИРОДНОГО АЛМАЗА: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНФОКАЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ КРС С АНАЛИЗОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Богданова Л.И.¹, Шапова Ю.В.¹, Сушанек Л.Я.¹, Васильев Е.А.², Вотяков С.Л.¹

¹ Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, bogdanovalouisa@gmail.com

² Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия,

Представлены методические приемы определения внутренней структурной неоднородности кристаллов природного алмаза, основанные на конфокальной спектроскопии комбинационного рассеяния света с анализом поляризации, в том числе с угловым разрешением, при высоком спектральном ($0.5\text{--}0.6\text{ см}^{-1}$) и пространственном (1 мкм) разрешении. Параметры колебательной моды F2g в алмазе (положение, ширина, интенсивность, форма, в том числе доля гауссова и лоренцева вкладов в уширение) определяются суперпозиционным влиянием ряда факторов, в числе которых тип и содержание структурных напряжений, деформаций, различных типов дефектов, а также ориентировка кристаллографических осей кристалла относительно направлений падающего и рассеянного лучей и направлений их электрических векторов поляризации. Реализованная аналитическая процедура включает:

- 1) анализ кристаллографической ориентировки образца в системе координат спектрометра и возможных разориентировок его фрагментов с погрешностью $\sim 8\text{--}15^\circ$;
- 2) визуализацию распределения структурных напряжений, деформаций, двойников, примесных дефектов и их ассоциатов на основе картирования поверхности образцов по спектральным параметрам колебательной моды F2g (рис. 1);

- 3) получение статистических характеристик внутренней структурной неоднородности образцов на основе диаграмм частоты встречаемости спектральных параметров при их статистически значимом количестве (~ 103): унимодальности (уни-, бимодальные распределения), ширины распределений (от ~ 0.1 до $\sim 0.6\text{ см}^{-1}$ для FWHMcorr и от ~ 0.04 до $\sim 0.6\text{ см}^{-1}$ для положения линии).

Апробация методики выполнена на примере синтетических CVD монокристаллов алмаза, допированных азотом и бором; возможность типизации природных образцов по статистическим характеристикам внутренней неоднородности рассмотрена на примере образцов из кимберлитовых трубок Якутии и из россыпей Западного Приуралья. Показана возможность использования статистических характеристик неоднородности в качестве одного из типоморфных признаков коренного источника алмазов.

Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН по теме № 123011800012-9. Образцы из россыпей Западного Приуралья предоставлены Е.А. Васильевым в рамках выполнения работ по гранту РНФ 21-77-20026. Авторы благодарны Д.А. Зедгенизову, Н.В. Губанову за предоставление образцов из кимберлитов и И.В. Клепикову за предоставление синтетических образцов.

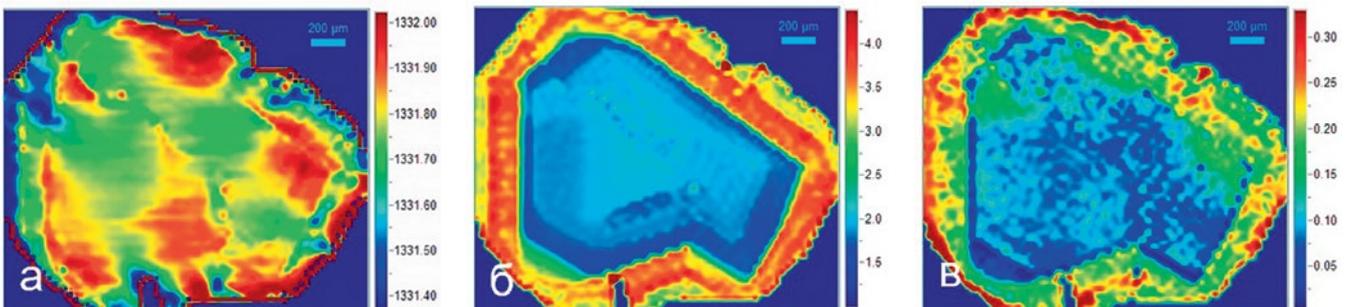


Рис. 1. Карты распределения спектральных параметров положения ρ , см^{-1} (а), ширины FWHM, см^{-1} (б) и гауссова вклада в уширение колебательной моды F_{2g} (на примере образца алмаза из кимберлитов Inter-66)

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВОВ АМФИБОЛОВ ИЗ ХРОМИТИТОВ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЕНГАЙСКОЕ-1 МАССИВА РАЙ-ИЗ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Богомолова А.Е., Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Исследован состав амфиболов из хромовых руд проявления Енгайское-1 массива Рай-Из. Амфибол образует включения в зернах хромшпинелида и длиннопризматические идиоморфные зерна в силикатной части руды. В хромшпинелидах амфибол по составу соответствует хромистому паргаситу с содержанием Cr_2O_3 3.41–3.68 мас. %. Амфибол, развитый в силикатной части по составу отвечает тремолиту с Cr_2O_3 0.80–0.90 мас. %. Это соответствует 0.39–0.42 формульным единицам Cr в пересчете на 23 ат. кислорода при верхнем пределе вхождения катионов элемента в структуру минерала 0.43 ± 0.06 ф.е. [Fialips-Guédon et al., 2000].

При сопоставлении составов амфиболов из хромититов месторождения Центральное установлено, что тремолиты и паргаситы этих объектов равновесны по содержанию Al_2O_3 и Na_2O (рис. 1). Это свидетельствует о постоянстве условий их образования и изохимизме этого процесса. Таким образом, тремолит из цемента хромитита и хромовый паргасит

из включений в хромшпинелиде имеют метаморфическое происхождение.

Результаты исследования показывают, что амфибол из среднехромистых хромовых руд содержит большее количество хрома по сравнению с амфиболами из высокохромистых хромититов. Это указывает на его возможную роль как концентратора хрома в процессе хромитообразования.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН, тема № 123011800014-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахрушева Н.В. Метаморфизм хромитоносных гипербазитов Полярного Урала: автореферат дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 1996. 24 с.
2. Fialips-Guédon, Claire-Isabelle, Robert, Jean-Louis and Delbove, François. Experimental study of Cr incorporation in pargasite // *American Mineralogist*. 2000. V. 85. № 5–6. P. 687–693.

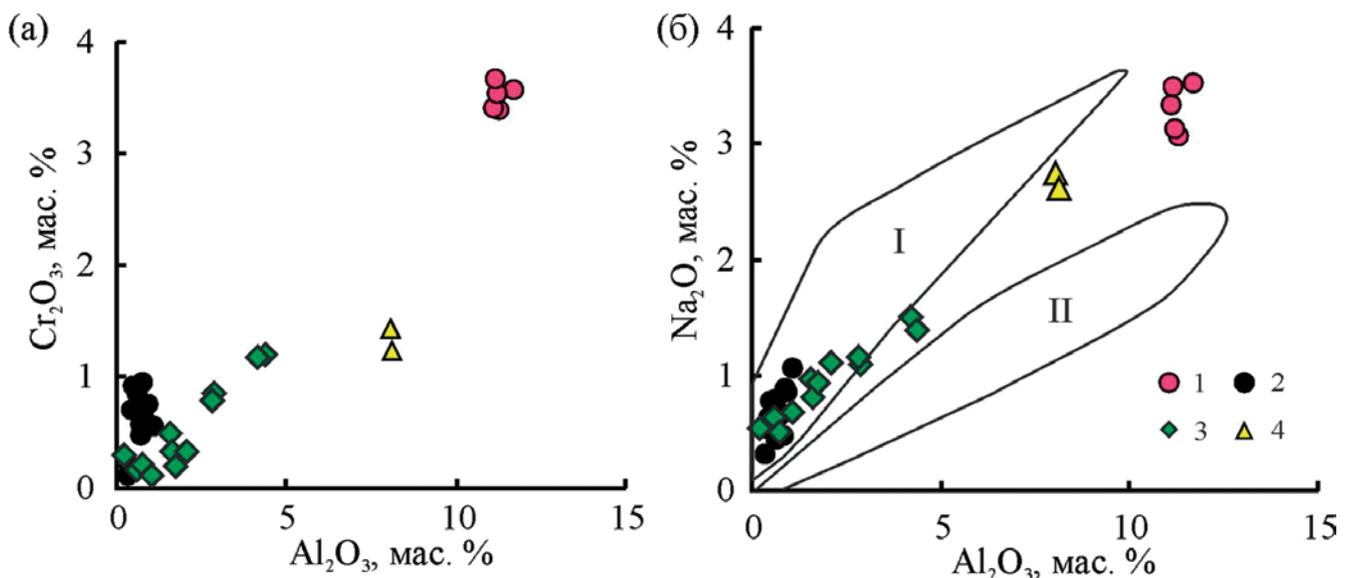


Рис. 1. Зависимости содержаний Cr_2O_3 от Al_2O_3 и Na_2O от Al_2O_3 в амфиболах из хромититов массива Рай-Из.

1 – хромовый паргасит из включения в рудообразующей шпинели хромитита рудопроявления Енгайское-1;

2 – тремолит из силикатной части хромитита рудопроявления Енгайское-1;

3, 4 – амфиболы из хромититов месторождения Центральное: 3 – силикатная часть, 4 – включения в хромшпинелиде.

Поля составов по [Вахрушева, 1996] амфиболов из ультрамафитов вмещающих оруденение: I – высокохромистого типа; II – глиноземистого типа

КР-ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КАРБОНАТА НАТРИЯ ПРИ ВЫСОКИХ *P-T* ПАРАМЕТРАХ

Бородина У.О., Горяйнов С.В., Лихачёва А.Ю.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии
и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия*

Синтетический карбонат натрия, Na_2CO_3 , был сжат в алмазной ячейке в водной среде при повышении давления и температуры до 1 ГПа / 410 °С и 1.2 ГПа / 300 °С. Изучение образца методом КР-спектроскопии проводилось на спектрометре Horiba Jobin Yvon LabRam HR800 (ИГМ СО РАН, Новосибирск).

В исходном КР-спектре Na_2CO_3 (рис. 1) мы наблюдаем моды при 50–250 см^{-1} : колебания решётки; 699 + 703 см^{-1} : $(\text{CO}_3)^{2-}$ ν_4 моды, деформационные асимметричные колебания С–О связи; 1061 + 1080 + 1083 см^{-1} : $(\text{CO}_3)^{2-}$ ν_1 моды, симметричные валентные колебания; и 1422 + 1431 см^{-1} : $(\text{CO}_3)^{2-}$ ν_3 , асимметричные валентные колебания.

В КР-спектре образца после эксперимента, кроме мод, характерных для карбонатов, наблюдается несколько пиков в области 1360–1400 см^{-1} , соответствующих формиату натрия, HCOONa [Tajima et al., 1981]. Помимо этого, в спектре появляется несколько дополнительных пиков в области колебаний решётки и в области $(\text{CO}_3)^{2-}$ ν_4 колебаний; меняется вид спектра наиболее интенсивных $(\text{CO}_3)^{2-}$ ν_1 мод: более явно проявляется дуплетность пика, моды смещаются и проявляются на частотах 1070+1090 см^{-1} .

Также появляется дополнительный пик при 1535 см^{-1} . В связи с этими изменениями КР-спектра мы предполагаем, что Na-карбонат при изученных параметрах частично разлагается с дальнейшим образованием Na-формиата. Результаты нашего эксперимента напрямую подтверждают гипотезу Хориты и Берндта [Horita, Berndt, 1999] о возможном образовании органических молекул, формиатов в системе карбонат-вода-металл.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (122041400176-0) и гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 21-55-14001_ANF.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tajima I., Takahashi H., Machida K. Polarized IR reflection and Raman spectra of sodium formate crystal // *Spectrochim Acta A*. 1981. V. 37. Is. 10. P. 905–910.
2. Horita J., Berndt M. E. Abiogenic methane formation and isotopic fractionation under hydrothermal conditions // *Science*. 1999. V. 285. Is. 5430. P. 1055–1057.

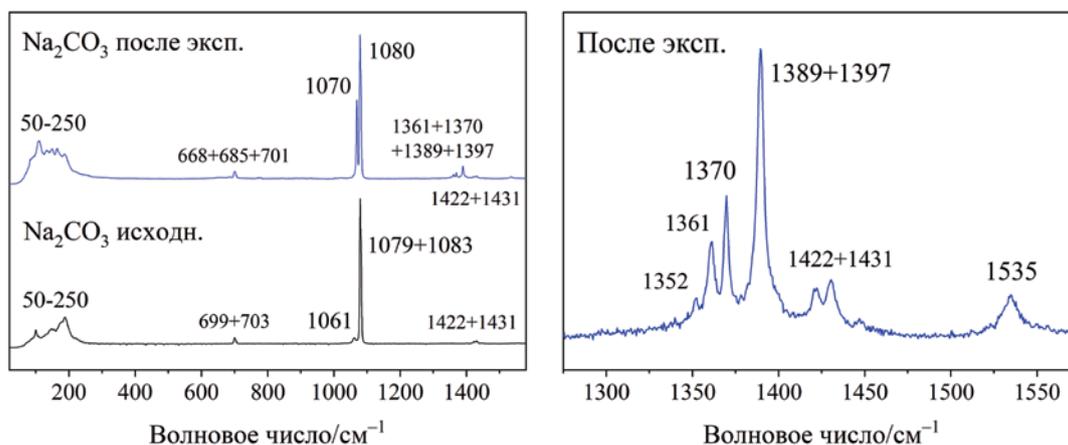


Рис. 1. КР-спектры исходного Na_2CO_3 и образца после эксперимента при высоких *P-T*. В области 1350–1400 см^{-1} появились пики, соответствующие спектру Na-формиата

МИНЕРАЛОГИЯ ВОДЫ В ВЕЩЕСТВЕ МЕТЕОРИТОВ

Бритвин С.Н.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, sergei.britvin@spbu.ru

Вода является вторым по распространённости веществом в Солнечной системе. В составе Земли, по расчётам, на свободную и связанную воду приходится не более 0.4 масс.%, однако в литосферных и гидросферных процессах она играет ключевую роль – как реакционная среда и регулятор кислотно-основных, окислительно-восстановительных и Р-Т условий. Структурно связанная вода входит в состав 53–55% минеральных видов. Можно утверждать, что своё минеральное, петрологическое и геохимическое разнообразие Земля получила благодаря присутствию воды. Вопрос определения источников земной воды является одним из ключевых в современной космической минералогии.

Водосодержащие минералы космического происхождения можно подразделить на несколько групп, в зависимости от состава и предполагаемого генезиса.

1. Лёд – зафиксирован в составе вещества комет [Davies et al., 1997].

2. Водные сульфаты магния, такие как эпсомит $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – являются типоморфными минералами наиболее примитивных углистых хондритов группы CI. Это первые водосодержащие минералы, открытые в метеоритах [Thénard, 1806].

3. В углистых хондритах, относящихся к группам CI и CM2, распространены силикаты Mg и Fe, относящиеся к группам хлорита и серпентина, а также смешаннослойные фазы с модулированными структурами [Zega et al., 2004].

4. В углистых хондритах группы CM2 распространены слоистые минералы с гибридными структурами, состоящими из сульфидных и гидроксидных слоёв [Pignatelli et al., 2017]. Это наиболее сложная для изучения группа водосодержащих метеоритных фаз.

5. Водные слоистые сульфиды хрома. Минералы данной группы распространены в метеоритах, относящихся к энстатитовым хондритам (EH3-4) и энстатитовым ахондритам (AUB) [Бритвин и др., 2001]. Это малоизученная группа метеоритных сульфидов, среди которых возможно нахождение новых минеральных фаз.

Современные методы минералогической кристаллохимии, появившиеся за последнее десятилетие, позволяют по-новому исследовать водные минералы космического происхождения.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 24-17-00228.

ЛИТЕРАТУРА

1. Davies J.K., Roush T.L., Cruikshank D.P., Bartholomew M.J., Geballe T.R., Owen T., de Bergh C. The Detection of Water Ice in Comet Hale-Bopp // *Icarus*. 1997. V. 127. P. 238–245.
2. Thénard L.J. Analyse d'un akrolithe tombe dans l'arrondissement d'Alais, le 15 mars 1806 // *Annales de Chimie*. 1806. Vol. 58. P. 103–110.
3. Zega T.J., Garvie L.A.J., Dódony I., Buseck P.R. Serpentine nanotubes in the Mighei CM chondrite // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2004. V. 223. P. 141–146.
4. Pignatelli I., Marrocchi Y., Mugnaioli E., Bourdelle F., Gounelle M. Mineralogical, crystallographic and redox features of the earliest stages of fluid alteration in CM chondrites // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2017. V. 209. P. 106–122.
5. Бритвин С.Н., Гуо Ё.С., Коломенский В.Д., Болдырева М.М., Крецер Ю.Л., Яговкина М.А. Кроносит $\text{Ca}_{0.2}(\text{H}_2\text{O})_2\text{CrS}_2$ – новый минерал из энстатитового ахондрита Norton County // *Записки РМО*. 2001. Вып. 130. № 3. С. 29–36.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ МЕЗОСИДЕРИТА VACA MUERTA

Брусницына Е.В.¹, Муфтахетдинова Р.Ф.¹, Яковлев Г.А.^{1,2}, Гроховский В.И.¹

¹ Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, jeka_bru@list.ru

² Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого
Уральского отделения РАН, Екатеринбург

Мезосидериты — железокаменные метеориты, имеющие брекчированное строение. Содержат примерно одинаковое количество силикатных и металлических компонентов, в которых металлические компоненты представлены зернами с неоднородным содержанием Fe, Ni и Co, различные по структуре и морфологии. На сегодняшний день предложено ряд гипотез, описывающих образование и формирование мезосидеритов [Hewins, 1983; Scott et al., 2001], но единого мнения по данному вопросу нет.

В настоящей работе исследовалась микроструктура металлических минералов мезосидерита Vaca Muerta (A1) с помощью оптического инвертированного микроскопа Zeiss Axiovert 40 MAT и электронного микроскопа FE-SEM ΣIGMA VP. Поверхность образца была подготовлена по стандартной металлографической методике.

Металлические минералы в исследуемом шлифе площадью 32 см² представлены камаситом α-Fe(Ni, Co), содержание Ni варьируется от 4 до 7,5 вес. %, и тэнитом γ-Fe(Ni, Co), с содержанием Ni до 50 вес. %. По результатам исследования можно выделить несколько типов металлических структур, различных по морфологии и фазовому составу.

- 1) Металлические частицы с видманштеттеновой структурой. Особенностью таких зерен является наличие светлой каемки рекристаллизованного камасита.
- 2) Отдельные зерна камасита.
- 3) Зерна тэнита внутри отдельных частиц камасита.

- 4) Зональные частицы с градиентом по никелю, в центральной части присутствует структура облачной зоны ($\gamma^{\prime} + \alpha_2$), α_2 Fe(Ni, Co) – модификация камасита, γ^{\prime} – упорядоченная фаза FeNi со структурой L1₀ [Yang et al., 1996].

- 5) Частицы тэнита в ассоциации с троилитом (FeS).

- 6) Частицы камасита в ассоциации с троилитом (FeS).

Разнообразие состава и морфологий металлических минералов указывает на сложную историю образования и формирования вещества мезосидерита Vaca Muerta.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития УрФУ в соответствии с программой «Приоритет-2030» и проект №FEUZ-2023-0014 (Б.Е.В., Г.В.И.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Hewins R. H. Impact Versus Internal Origins for Mesosiderites // Journal of Geophysical Research. 1983. V. 88. P. B257–B266.
2. Scott E. R. D., Haack H., Love S. G. Formation of Mesosiderites by Fragmentation and Reaccretion of a Large Differentiated Asteroid // Meteoritics & Planetary Science. 2001. V. 36. P. 869–881.
3. Yang C.-W., Williams D.B., Goldstein J.I. A revision of the Fe–Ni phase diagram at low temperature // Journal of Phase Equilibria. 1996. V. 17. P. 522–531.

БЛАГОРОДНЫЕ ГАЗЫ, УГЛЕРОД И АЗОТ В РАЗНЫХ ЛИТОЛОГИЯХ ОБРИТА ПЕСЬЯНОЕ: УДАРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ ИСТОРИЯ

Буйкин А.И.¹, Корочанцева Е.В.¹, Лоренц К.А.¹, Верховский А.Б.²

¹ ГЕОХИ РАН, Москва, Россия, bouikine@mail.ru

² School of Physical Sciences, The Open University, Milton Keynes, MK7 6AA, UK 6AA, UK

Обрит Песьяное, энстатитовый ахондрит магматического происхождения, – богатая газами полимиктовая брекчия, в которой впервые были обнаружены газы солнечного ветра (SW) [Герлинг, Левский, 1951]. В минеральном составе метеорита преобладают три разновидности энстатита (прозрачный, белый и серый), различающиеся по степени ударной переработки и содержанию минеральных и газовых включений. Наличие последних в зернах белого и серого энстатита побудило нас изучить в мономинеральных пробах этих типов пироксенов изотопный и элементный состав благородных газов, N и C методами ступенчатого дробления и окисления. Изотопные анализы были выполнены на модифицированном газовом масс-спектрометре VG 3600 в Институте наук о Земле Университета г. Хайдельберг (Германия) и на высокочувствительном масс-спектрометрическом комплексе Finesse в Открытом Университете (Англия).

При дроблении из газовых полостей образцов выделяется смесь SW, планетарного (Q) и космогенного компонентов благородных газов. Последний компонент также выделяется из треков, образованных при облучении вещества галактическими космическими лучами. В захваченном аргоне доминирует радиогенный (⁴⁰Ar) компонент. Газовые компоненты, как первичные (Q), так и накопленные в материале в течение его эволюции, в том числе реголитовой истории (радиогенный, космогенный, SW), были перераспределены из первоначальных позиций в газовые полости пироксенов в результате ударного события. В частности, мобилизованные газы были захвачены в трещины по спайности, образованные в результате ударных изменений энстатита. Таким образом, основным захваченным компонентом этого метеорита являются летучие, накопленные в процессе преобразования вещества в поверхностном слое астероида, а не магматические.

При дроблении из образцов выделяется значительно больше захваченных и космогенных благородных газов, чем из проб других обритов [Miura et al., 2007]. При этом, брекчия демонстрирует гетерогенное распределение летучих компонентов и значительные вариации отношения (⁴⁰Ar/³⁶Ar)_{захв.} (от 17 до 1221), что исключает интенсивную переработку материала метеорита ударными процессами.

Валовый изотопный состав C, полученный при ступенчатом окислении, составляет $\delta^{13}\text{C} = -21.2 \pm 0.2\%$. Использование разных методов выделения газов позволило установить, что N солнечного типа и магматический ($\delta^{15}\text{N} = -0.1 \pm 3.2\%$) находятся в газовых полостях, в то время как N, привнесенный ударниками ($\delta^{15}\text{N} \sim +45\%$), химически связан.

Разные возраста экспозиции серого и белого пироксенов (44 и 55 млн лет, соответственно) и гетерогенное распределение газов солнечного типа в Песьяном указывают на различную историю облучения материала до образования брекхии. В качестве альтернативы/дополнения, космогенные газы в сером пироксене, наиболее измененном в результате ударного метаморфизма компоненте брекхии, могли быть потеряны и/или частично перераспределены в газовые включения в результате ударного метаморфизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герлинг Э.К., Левский Л.К. О происхождении инертных газов в каменных метеоритах // Докл. АН СССР. 1956. Т. 110. № 5. С. 750–753.
2. Miura Y.N., Hidaka H., Nishiizumi K., Kusakabe M. Noble gas and oxygen isotope studies of aubrites: A clue to origin and histories // GCA. 2007. V. 71. P. 251–270.

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОФАЗНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ОКСИДОВ СО СТРУКТУРОЙ ШПИНЕЛИ

Бубнова П.О.¹, Упорова Н.С.¹, Михайловская З.А.¹, Петрова С.А.²

¹ Институт Геологии и Геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

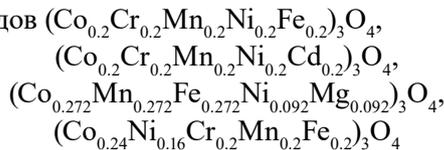
nuporova84@yandex.ru

² Институт Металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

danaus@mail.ru

Высокоэнтропийные оксиды (ВЭО) – это относительно новый класс материалов, содержащие пять или более катионов, находящихся в эквимольных соотношениях, и имеющих тенденцию к формированию единой кристаллической структуры за счет стабилизации высокой конфигурационной энтропией. Данные материалы имеют широкую область применения в качестве катализаторов в химической промышленности, в электрохимических и магнитоэлектрических устройствах и датчиках. Так, в работе [1] ВЭО $(\text{CoCrFeMnNi})_3\text{O}_4$ представлен в качестве перспективного магнитомягкого материала, проявляющим ферромагнитные свойства при комнатной температуре. Интерес представляет исследование данных материалов за счет введения или замещения катионов 3d-элементов, определяющих магнитное поведение ВЭО.

Настоящая работа посвящена поиску оптимальных условий синтеза однофазных высокоэнтропийных оксидов



глицин-нитратным методом из кристаллогидратов $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ в качестве прекурсоров, а также MnO_2 , предварительно переведенный в раствор с помощью концентрированной азотной и щавелевой кислот. Реакционная

смесь подвергалась последовательному отжигу при температурах 700 °С (5 часов), 800 °С (12 часов) и 1050 °С (12 часов). После каждой стадии термообработки полученный порошок перетирала в агатовой ступке в среде этилового спирта до гомогенизации. Однофазность образцов (рис. 1а) подтверждена методом рентгенофазового анализа (XRD-7000 (Shimadzu, Япония); ДРОН-3, (Россия)). Высокоэнтропийные оксиды $(\text{Co}_{0.2}\text{Cr}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.2}\text{Fe}_{0.2})_3\text{O}_4$, $(\text{Co}_{0.2}\text{Cr}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.2}\text{Cd}_{0.2})_3\text{O}_4$, $(\text{Co}_{0.24}\text{Ni}_{0.16}\text{Cr}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{Fe}_{0.2})_3\text{O}_4$ и $(\text{Co}_{0.272}\text{Mn}_{0.272}\text{Fe}_{0.272}\text{Ni}_{0.092}\text{Mg}_{0.092})_3\text{O}_4$

имеют структуру шпинели и характеризуются кубической сингонией с пространственной группой $\text{Fd-}3\text{m}$, параметры элементарных ячеек уточнены методом Ле Бейла в программе Fullprof (рис. 1б) и равны $a=8.335 \text{ \AA}$, $a=8.343 \text{ \AA}$, $a=8.338 \text{ \AA}$ и $a=8.359 \text{ \AA}$, соответственно.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГГ УрО РАН, тема № 124020300057-6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mao A., Quan F., Xiang H.Z., Zhang Z.G., Kuramoto K., Xia A.L. Facile synthesis and ferrimagnetic property of spinel $(\text{CoCrFeMnNi})_3\text{O}_4$ high-entropy oxide nanocrystalline powder. // J. Mol. Struct. 2019. V. 1194. P. 11–18.

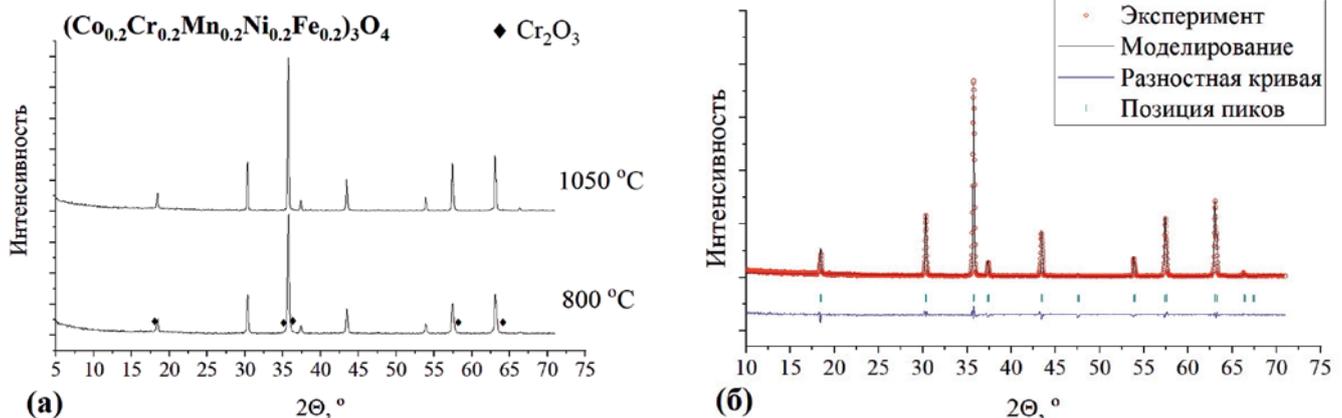


Рис. 1. Сравнение рентгенограмм $(\text{Co}_{0.2}\text{Cr}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.2}\text{Fe}_{0.2})_3\text{O}_4$ при 800 и 1050 °С (а); обработка рентгенограммы $(\text{Co}_{0.2}\text{Cr}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.2}\text{Fe}_{0.2})_3\text{O}_4$ методом Ле Бейла (б)

ПОДОБИЕ И РАЗЛИЧИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАЗНЫХ КЛАССОВ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Бубнова Р.С.^{1,2}, Филатов С.К.²

¹ *Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург, Россия, rimta_bubnova@mail.ru*

² *Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия, filatov.stanislav@gmail.com*

Кристаллическое строение химических соединений определяет их многие физические свойства. Примеры можно черпать из подобия термических деформаций боратов, карбонатов и нитратов с т. кальцита и арагонита $M(ТО_3)$ ($M = Lu/Nd, Ca, Na/K, T = B^{3+}, C^{4+}, N^{5+}$) [Bubnova, Filatov, 2016], а также силикатов и им подобных ванадатов пироксенового строения [Бубнова, Филатов, 2008] и многих других; более свежие примеры будут представлены в докладе. Однако несмотря на подобие анизотропии термического расширения величина объемного и линейного расширения в сопоставляемых классах может различаться в 5–10 раз в зависимости от заряда центрального атома в треугольных или тетраэдрических радикалах.

Таким образом, если мы хотим количественно оценить и сопоставить физические свойства (термическое расширение, температура плавления и др.) различных классов веществ, нам следует обратить внимание на остаточный заряд аниона [Филатов, 1990]. Наименее прочными являются связи вне анионных комплексов, поэтому мерой прочности таких соединений может служить в первом приближении величина *остаточного заряда полианиона* (точнее – заряд Z одного треугольника / тетраэдра). В результате мы приходим к выводу: прочностные свойства химического соединения определяются энергией его наименее прочных связей. Таким образом, величина термического расширения, как и температура плавления будут возрастать по мере понижения остаточного заряда.

Не менее актуален вопрос: почему в одних классах кислородных соединений известны кристаллические структуры только с изолированными треугольниками $ТО_3$ или тетраэдрами $ТО_4$, например в карбонатах (*кальцит* $CaCO_3$), природных сульфатах (*барит* $BaSO_4$), природных фосфатах (апатит $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$) и т. п., а в других классах соединений радикалы присутствуют как в изолированном, так и в полимеризованном состояниях, примерами таких соединений являются силикаты, германаты, бораты. Можно заключить, что, чем больше заряд центрального атома анионного полиэдра (например, треугольник / тетраэдр), тем меньше величина остаточного заряда этого полиэдра, и тем более низкими оказываются возможности для полимеризации полиэдров.

Примеры терморентгендифракционных съемок образцов выполнены в Ресурсном Центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного Парка СПбГУ.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 22-13-00317.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бубнова Р.С., Филатов С.К. *Высокотемпературная кристаллохимия*. СПб.: Наука, 2008. 760 с.
2. Филатов С.К. *Высокотемпературная кристаллохимия*. Л.: Недра, 1990. 288 с.
3. Bubnova R.S, Filatov S.K. Self-assembly and high anisotropy thermal expansion of compounds consisting of $ТО_3$ triangular radicals // *Struct. Chem.* 2016. V. 27. P. 1647–1662.

МИКРОЗОНДОВЫЙ АНАЛИЗ МАЛЫХ ЗЕРЕН ФОСФАТНЫХ МИНЕРАЛОВ-ГЕОХРОНОМЕТРОВ: ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Булатов В.А., Замятин Д.А., Вотяков С.Л.

ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург; vladislavtalica@gmail.com

Микрозондовый анализ состава единичных зерен, минеральных включений, ламелей размером в единицы мкм – достаточно сложная аналитическая задача, актуальная и при выполнении U-Th-Pb датирования минералов-геохронометров. При размере зерна минерала, сопоставимом с областью генерации рентгеновского излучения, его минеральное окружение может вносить значимый вклад в наблюдаемый суперпозиционный рентгеноэмиссионный спектр. В настоящей работе на основе моделирования методом Монте-Карло [Joy, 1995] движения электронов и генерации рентгеновского излучения в монаците, чералите и ксенотиме рассмотрены вопросы пространственного разрешения при микрозондовом анализе содержания в них элементов U, Th, Pb, P, Si, Ca, S, используемых при анализе кристаллохимических характеристик и химическом U-Th-Pb датировании описанных фосфатных минералов. С использованием программы Casino v^{2.51} при энергии первичных электронов $E = 10 \div 20$ кэВ, диаметре пучка $d = 10 \div 1000$ нм, шаге профилирования 50 нм и угле отбора рентгеновского излучения 40° определены области генерации линий $P K_{\alpha}$, $Th M_{\alpha}$, $U M_{\alpha}$, $Pb M_{\alpha}$ в фосфатных ми-

нералах-геохронометрах, в том числе, находящихся в окружающей силикатной матрице состава $CaSiO_3$ (рис. 1). Пространственное разрешение при анализе зерен фосфатных минералов в силикатной матрице, в первую очередь, определяется областью генерации линии $Si K_{\alpha}$. Показано, что размер области генерации перечисленных четырех линий при $E = 15$ кэВ и $d = 10$ нм в монаците, черолите и ксенотиме составляет (0.6, 0.7, 0.7, 0.6); (0.7, 0.8, 0.8, 0.7) и (0.9, 0.6, 0.6, 0.5 мкм), соответственно; на основе оптимизации параметров пучка выполнена оценка минимального размера аналитических зон минералов, в частности, для монацита при $d = 10$ и 1000 нм минимальная зона составляет 1.6 и 2.4 мкм, соответственно.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН № 124020300057-6 и 123011800012-9 в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

- Joy D.C. Monte Carlo Modeling for Electron Microscopy and Microanalysis // New York: Oxford University Press, 1995. 216 p.

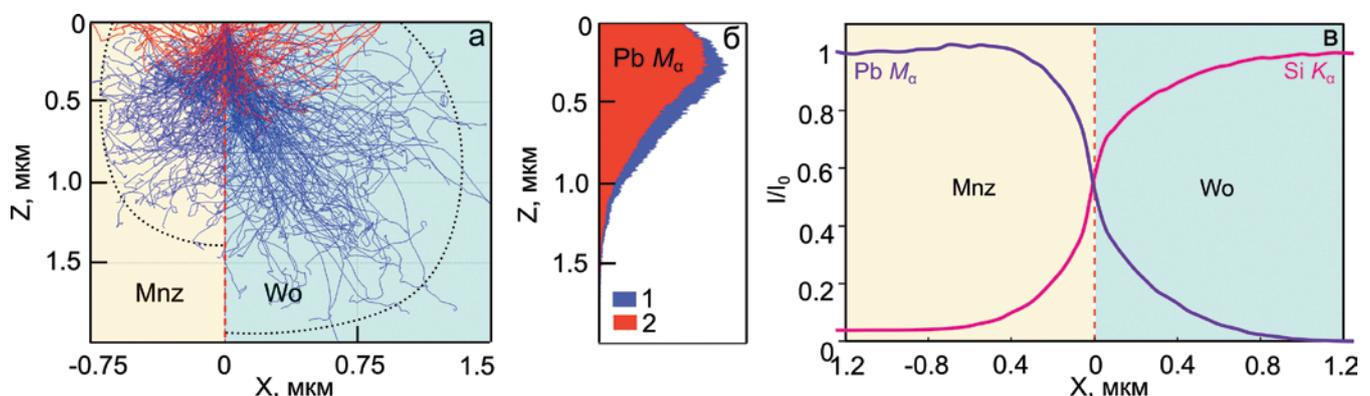


Рис. 1. Траектория распределения электронов по глубине в зерне монацита (желтый) на границе с волластонитом (голубой) (а); область генерации (синий) и выхода (красный) рентгеновской линии $Pb M_{\alpha}$ в монаците; (в) модельный профиль интенсивности линий $Pb M_{\alpha}$ (фиолетовый) и $Si K_{\alpha}$ (алый) на границе монацит-волластонит (в). Области черным пунктиром – зоны распространения электронов в минералах; красный пунктир – граница между минералами; $d = 10$ нм.

**ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР МИНЕРАЛОВ
СФЕНИСЦИДИТА $(\text{NH}_4)\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ И АНАПАИТА
 $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ИЗ КЕРЧЕНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА**

Вайгиева Ю.А.¹, Чуканов Н.В.², Компанченко А.А.³, Аксенов С.М.^{1,3}

¹ *Лаборатория арктической минералогии и материаловедения ФИЦ
КНЦ РАН, Анапиты, Россия, aks.crys@gmail.com*

² *Федеральный исследовательский центр проблем химической физики
и медицинской химии РАН, Черноголовка, Россия, nikchukanov@yandex.ru*

³ *Геологический институт КНЦ РАН, Анапиты, a.kompanchenko@ksc.ru*

Сфенисцидит – природный фосфат трехвалентного железа с идеализированной формулой $(\text{NH}_4)\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, который относится к группе лейкофосфита и является NH_4 -доминантным представителем. Первоначально сфенисцидит был обнаружен в почвенном профиле в районе гнездования пингвинов на острове Элефант (остров Мордвинова), Британская антарктическая территория [Wilson et al., 1986]. Минерал образовался в результате взаимодействия растворов фосфата аммония из гуано пингвинов со слюдястыми и хлоритовыми минералами в почве, а название минерала связано с латинским названием пингвинов – *Sphenisciformes*.

Анапайт – природный двухвалентный железофосфатный минерал с идеализированной формулой $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, который относится к минералам с общей формулой $A_3(\text{XO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ [Wolfe, 1940]. Первоначально анапайт обнаружен в железорудном меторождении на южном берегу Таманского полуострова (Краснодарский край, Россия) [Sachs, 1902]. Анапайт является вторичным минералом в зонах окисления железной руды и встречается в богатых фосфором осадочных породах.

Изученные образцы сфенисцидита и анапайта найдены в Керченском железорудном бассейне. Сфенисцидит характеризуется высоким содержанием калия и алюминия, эмпирическая формула по данным микронзондового анализа:



Кристаллические структуры изучены методом рентгеноструктурного анализа с использованием

монокристалльного дифрактометра Rigaku XtaLAB Synergy-S (HyPix детектор). Параметры моноклинной элементарной ячейки для сфенисцидита: $a = 9.8334(5) \text{ \AA}$, $b = 9.6878(5) \text{ \AA}$, $c = 9.7761(5) \text{ \AA}$, $\beta = 102.702(4)^\circ$; пр. гр. $P2_1/n$. Модель структуры уточнена до итогового значения $R_1 = 4.59\%$ с использованием $742I > 3\sigma(I)$. Параметры триклинной элементарной ячейки для анапайта: $a = 5.8998(3) \text{ \AA}$, $b = 6.4420(4) \text{ \AA}$, $c = 6.8141(3) \text{ \AA}$, $\alpha = 70.846(5)^\circ$, $\beta = 78.366(4)^\circ$, $\gamma = 75.795(5)^\circ$ пр. гр. P . Модель структуры уточнена до итогового значения $R_1 = 2.06\%$ с использованием $742I > 3\sigma(I)$.

Кристаллические структуры, в целом, аналогичны ранее изученным, но характеризуются рядом индивидуальных особенностей, что выражается в характере распределения водородных связей между молекулами воды и кислородами-акцепторами. Данный факт подтверждается экспериментально ИК-спектроскопией.

*Работа выполнена за счет гранта Российского
Научного Фонда № 20-77-10065-П.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Wilson M.J., Bain D.C. Spheniscidite, a new phosphate mineral from Elephant Island, British Antarctic Territory // Mineral Mag. 1986. V. 50. P. 291–293.
2. Wolfe C W. Classification of minerals of the type $A_3(\text{XO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ // American Mineralogist. 1940. V. 25(12). P. 787–809.
3. Sachs A. Der Anapait, ein neues Kalkeisenphosphat von Anapa am Schwarzen Meere // Zeitschrift Für Angewandte Chemie. 1902. V. 15(5). P 111–112.

АССОЦИАЦИИ МИНЕРАЛОВ В ВУЛКАНИТАХ РАЙОНА САПФИРОНОСНОЙ РОССЫПИ НАРЫН-ГОЛ (БАССЕЙН Р. ДЖИДА, ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Вантеев В.В.¹, Кислов Е.В.¹, Гончарук И.С.^{1,2}

¹ Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, Vanteev997@mail.ru

² Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова, Улан-Удэ, Россия

Россыпь Нарын-Гол расположена в западной части Джидинского рудного района, в Закаменском районе Республики Бурятия. В геологическом отношении район россыпи Нарын-Гол сложен отложениями верхнеордовикской джидинской свиты, «вершинными» вулканитами Правого Барун-Хобольского стратовулкана и «долинными» площадными базальтами неоген-четвертичного возраста (βN_2-Q_1), верхнеплейстоценовыми (Q_{1-II}) аллювиальными отложениями и голоценовыми аллювиальными, элювиально-делювиальными, делювиальными и элювиальными образованиями. Основным ценным минералом россыпи – сапфир, среди других минералов россыпи выделяются гранат, санидин, авгит, энстатит, оливин, шпинель, псевдоморфозы гетита по пириту [Kislov et al., 2022].

Широкий необычный набор минералов россыпи свидетельствует о нескольких источниках, преимущественно вулканогенных. Хобольская группа вулканов, с которой предположительно связана россыпь, ранее детально не изучалась. При визуальном осмотре вулканитов было обнаружено большое количество минеральных включений, которые стали объектом исследований с целью установления природы их образования.

Изучено 19 шлифов вулканических пород района россыпи Нарын-Гол на электронном сканирующем микроскопе. В «вершинных» и «долинных» вулканитах района россыпи Нарын-Гол по морфологическим признакам и размерности выделены три ассоциации минералов: магакристовая, лерцолитовая (ксенолитовая) и собственно базальтовая. Зерна *мегакристовой ассоциации* имеют неправильные очертания, размерность зерен достигает размерами нескольких мм, в отдельных

случаях – 1.5 см. Наблюдается неоднородность состава от центральной части к периферии зерен, вызванная взаимодействием с базальтовым расплавом при транспортировке. *Лерцолитовая (ксенолитовая) ассоциация* представлена агрегатами изометричных зерен минералов. В центральной части ксенолитов зерна имеют исходный состав, по периферии наблюдаются обрастания минералами с повышенной железистостью, затекания расплава в межзерновое пространство, что приводит к разрушению лерцолитов. Собственно *базальтовые минералы* представлены мелкими, размером до 30 мкм, идиоморфными зёрнами, расположенными хаотично, их состав отличается от минералов ранее приведенных ассоциаций.

Мегакристы в результате взаимодействия с транспортирующей базальтовой магмой подверглись коррозии, затекам расплава по трещинам, обрастанием минералами другого состава. В ксенолитах лерцолитов помимо оливина и пироксена зафиксированы шпинель, хромшпинель различного состава, титаномагнетит, также подвергшиеся дезинтеграции, коррозии и обрастанию. Кристаллизация собственно базальтовых минералов происходила непосредственно из базальтового расплава по мере его охлаждения. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что основная часть минералов россыпи – мегакристы, захваченные базальтовым расплавом в пределах верхней мантии и вынесенные на поверхность Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kislov E.V., Aseeva A.V., Vanteev V.V., Sinyov A.Yu., Eliseeva O.A. Naryn-Gol Creek Sapphire Placer Deposit, Buryatia, Russia // Minerals. 2022. Т. 12, 509.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ АЛМАЗОВ В ОБОЛОЧКЕ

Васильев Е.А.¹, Губанов Н.В.^{2,3}, Зедгенизов Д.А.²¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия *Vasilev_EA@pers.spmi.ru*² Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия³ Институт геологии и минералогии СО УрО РАН, Новосибирск, Россия

Изучены алмазы в оболочке из россыпи Красновишерского района Урала и кимберлитовых трубок Якутии методами абсорбционной и люминесцентной (ФЛ) микроспектроскопии, катодолюминесцентной (КЛ) микроскопии. Установлено, что оболочка содержит одно- и двухатомные азотные и азотно-вакансионные дефекты $C(N)$, NV , $H2(N_2V)$, $H3(N_2V)$, $A(N_2)$. Во всех образцах с C центрами выявлен азотно-водородный дефект N_3VN , значит он образуется уже на первых этапах естественного отжига. В спектрах ИК поглощения внешней зоны выявляются пики 1354, 1363, 1374 cm^{-1} , соответствующие, по-видимому, низкотемпературным дефектам [Lai, 2020].

По характеристикам оболочки кристаллы разделяются на две группы. В первой группе оболочка имеет желтую окраску за счет C центров в различной концентрации. Во второй группе оболочка бесцветная или серая, в них концентрация C центров ниже предела обнаружения методами абсорбционной спектроскопии. В спектрах ФЛ оболочки второй группы не выявляется система $H2$. По остальному комплексу характеристик оболочка не имеет существенных отличий. В некоторых образцах выявлены участки оболочки характеризуется с красной катодолюминесценцией. Выявленные закономерности подтверждают модель образования A дефектов через азотно-вакансионные NV - и $H2$. Эти системы в спектре ФЛ является индикатором наличия в кристалле C дефектов при концентрации, не вызывающей желтую окраску. Выделена не описанная ранее система с БФЛ 836 нм (1.48 эВ) с фоновыми повторениями через 0.06 эВ. Эта система регистрируется

так же в облученных и отожженных синтетических НРТ кристаллах с C и NV -центрами. Выделена не описанная ранее система с БФЛ 525.3 нм с фоновыми повторениями 0.059 эВ. В приповерхностной зоне оболочки изученных кристаллов высокую интенсивность имеют линии 490.4, 523.7, 638 нм. Красная КЛ связана в одних случаях с NV (638 нм), в других случаях с пиками 689 и 698 нм. Высокая интенсивность ФЛ и, соответственно, концентрация дефектов NV , $H2$ характерна для приповерхностного слоя оболочки. По-видимому, имело место быстрое снижение температуры, которое привело не только к прекращению роста оболочки, но и к сохранению низкотемпературных азотно-вакансионных дефектов [Yelisseyev, 2004]. Необходимо дальнейшее исследование тонкой зональности и приповерхностного слоя оболочки для восстановления термической истории финальных стадий алмазообразования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 21-7720026.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lai M.Y., Stachel T., Breeding C.M., Stern R.A. Yellow diamonds with colourless cores – evidence for episodic diamond growth beneath Chidliak and the Ekati Mine, Canada // *Mineralogy and Petrology*. 2020. V. 114. P. 91–103.
2. Yelisseyev A.P., Pokhilenko N.P., Steeds J.W., Zedgenizov D.A., Afanasiev V.P. Features of coated diamonds from the Snap Lake/King Lake kimberlite dyke, Slave craton, Canada, as revealed by optical topography // *Lithos*. 2004. V. 77. P. 83–97.

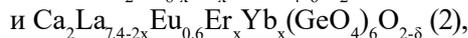
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И АКТИВАТОРОМ В СОЕДИНЕНИЯХ $(Ca, Ln)_{10}(TO_4)_6O_2$ ($Ln=Eu, Er, Yb, Dy$; $T=Si, W, Ge$) СО СТРУКТУРАМИ ТИПА АПАТИТА И ШЕЕЛИТА

Васин А.А.¹, Зуев М.Г.¹, Попов И.Д.¹, Пустоваров В.А.²

¹ Институт Химии Твёрдого Тела УрО РАН, Екатеринбург, РФ, email: andrey-htt@yandex.ru

² УрФУ им. Первого Президента РФ Б. Н. Ельцина, Физико-технологический институт, Екатеринбург, РФ, email: v.a.pustovarov@urfu.ru

Золь-гель методом синтеза были синтезированы две серии образцов



имеющих чистые фазы типа апатита (Пр. гр. $P6_3/m$). Методом ЭПР спектроскопии удалось установить наличие в анионной подрешётке парамагнитных центров – GeE' (узкий сигнал с $g=1.98$), с данными центрами связано наличие свечения в виде широкой полосы в области $430 \div 580$ нм (рис. 1б). Для образцов (1) при $x > 0.025$ увеличивается заселённость 5d оболочки иона Er^{3+} , что сопровождается переносом энергии от дефектов германатной подрешётки к ионам Er (III). Таким образом для образцов (1) характерно возбуждение свечения матрицы при $x \leq 0.025$ и внутрицентровое возбуждение, через f-d переходы, ионов Er^{3+} (рис. 1а) при $x > 0.025$, что сопровождается появлением узких линий люминесценции, соответствующих f-f переходам: ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ (два пика: 436 и 442 нм), ${}^4F_{5/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ (пик – 456 нм), ${}^4F_{7/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ (три пика: 487, 492 и 496 нм).

Также золь-гель методом синтеза была получена серия твёрдых растворов $Ca_2La_{8-x}Dy_xSi_{5.6}W_{0.4}O_{26.4-8}$ (3) со структурами типа апатита и кристаллофосфор $Ca_8Eu_2Si_3W_3O_{26}$ (4) со структурой типа паранита (Пр. гр. $I4_1/a$). Свечение неактивированной матрицы образцов (3) наблюдается в ближней УФ, сине-зелёной и оранжевой областях и обусловлено наличием дефектов типа NBOHC в силикатной подрешётке и высвечиванием анионных групп WO_4^{2-} . При возбуждении ионов Dy^{3+} фотонами с энергией 4.77 эВ (260 нм) наблюдается совместное высвечивание кремнийкислородного дефекта NBOHC и диспрозия, что приводит к усилению жёлтой линии, соответствующей переходу ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$, и сдвигу белого свечения в тёплую область (ССТ для образца с $x=0.32$ – 4192 К). При перекрытии полосы высвечивания автолокализованных экситонов на оксоанионах WO_4^{2-} и линий возбуждения в состоянии 5D_J ($J \geq 2$) ионов Eu^{3+} в образце (4).

Работа выполнена в соответствии с госзаданием ИХТТ УрО РАН № 124020600004-7 и частично поддерживается РНФ (проект № 22-19-00239)

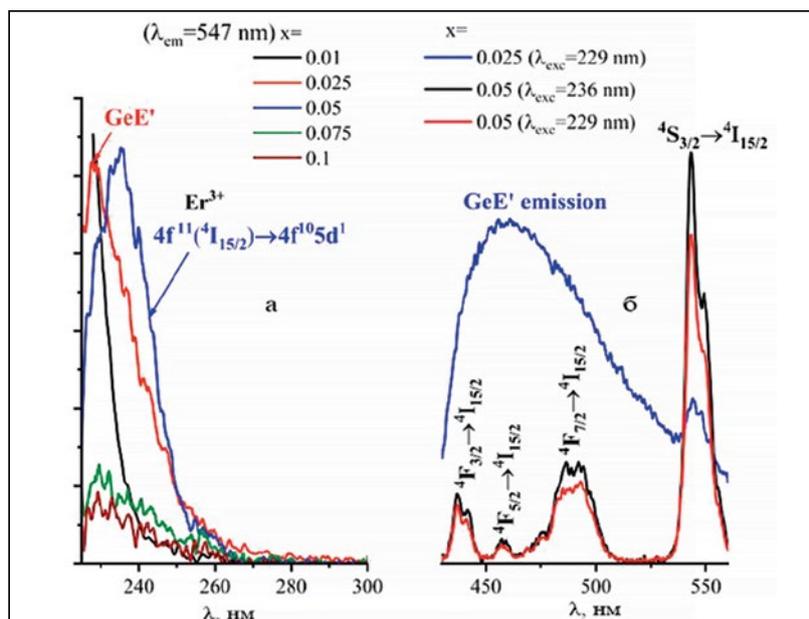


Рис. 1. Спектры возбуждения фотолюминесценции (а) и спектры фотолюминесценции (б) образцов $Ca_2La_{8-x}Er_x(GeO_4)_6O_2$

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМОМЕТРА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ УГЛЕРОДИСТОГО МАТЕРИАЛА В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Волкова В.Е.

ИГМ СО РАН, Новосибирск, Россия, volkovave@igm.nsc.ru

Одним из относительно новых и перспективных методов определения температуры метаморфизма является геотермометр, базирующийся на данных рамановской спектроскопии углеродистого материала (RMCM). RMCM определяет структуру углеродистого вещества (УВ), которая зависит от температуры, что позволяет рассчитывать максимальную температуру преобразования органического материала и, следовательно, пиковые температурные условия метаморфизма, вмещающих УВ пород. Как все новые методы, геотермометр нуждается в проверке на различных объектах.

В качестве таких объектов нами были выбраны вмещающие породы месторождений Енисейского кряжа – Эльдорадо и Олимпиадинского (золоторудные), а также Горевского (свинцово-цинковое). Для них были восстановлены параметры температурных условий метаморфизма с использованием методов традиционной минералогической термометрии (Grt-Bt геотермометр [Holdaway, 2000]), а также на основе анализа рамановских спектров УВ определены значения температуры графитизации микровключений УВ в минералах вмещающих пород по геотермометру [Beyssac et al., 2002].

В результате выполненных измерений получены близкие значения температур по обоим геотермометрам (табл. 1). При этом интервалы температур, рассчитанные по геотермометру на основе УВ, несколько шире, чем интервалы, полученные при использовании гранат-биотитового геотермометра. Таким образом, метод, основанный на изучении структуры УВ, показывает хорошую сходимость получаемых температур с результатами методов традиционной термометрии, однако требуются дополнительные исследования для выявления и учета факторов, обуславливающих расширение получаемых интервалов температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beyssac O., Goffé B., Chopin C., Rouzaud J. N. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: a new geothermometer // *J. metamorphic Geol.*, 2002, Vol. 20, pp. 859–871.
2. Holdaway M. J. Application of new experimental and garnet Margules data to the garnet-biotite geothermometer // *American Mineralogist*, 2000, Vol. 85, pp. 881–892.

Таблица 1. Результаты оценки температур метаморфизма для вмещающих пород месторождений Енисейского кряжа

Объект изучения (вмещающие породы на месторождениях)	Значения температур по гранат-биотитовому геотермометру [Holdaway, 2000]		Значения температур по геотермометру на основе данных рамановской спектроскопии УВ [Beyssac et al., 2002]	
	интервалы	среднее	интервалы	среднее
Олимпиадинское (гранат-биотитовые и гранат-ставролитовые сланцы)	515–545 °C	530 °C	470–560 °C	511 °C
	555–590 °C	570 °C	460–610 °C	540 °C
	555–580 °C	565 °C	410–580 °C	510 °C
Эльдорадо (гранат-биотитовые сланцы)	550–590 °C	565 °C	450–610 °C	555 °C
Горевское (гранат-хлорит-биотитовые прослой)	490–545 °C	522 °C	470–560 °C	516 °C

РАЗЛИЧИЕ МИНЕРАЛОГИИ В ХРОМШПИНЕЛИ БУШВЕЛЬДСКОГО КОМПЛЕКСА И САРАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Вурмс Д.М.¹, Кислов Е.В.^{2,3}

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, vurms@list.ru*

² *Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ*

³ *Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, evg-kislov@ya.ru*

С 1929 по 1938 г. Сарановские массивы разведывались и изучались С. А. Вахромеевым и И. А. Зиминим. Первым на их сходство со знаменитым африканским расслоенным рудоносным массивом Бушвельд (ЮАР) указал И.А. Зимин [Зимин, 1938], что позже было забыто. В связи с этим было решение изучить и сравнить минералогию хромшпинели расслоенных массивов: Бушвельда и Сарановского месторождения.

Изучен минеральный состав хромитов Бушвельдского комплекса из восточного, северного и западного лимбов: два образца из Рифа Меренского, 4 образца UG2, 3 образца UG1, 2 образца MG3, 1 образец LG6.

Включения сложены амфиболами, альбитом, ангидритом, аспидолитом, бадделеитом, баритом, борнитом, бреггитом, вольфрамитом, галенитом, золото-висмутом, изоферропалтиной, ирарситом, каолинитом, коввелином, ксингцхонгитом, куперитом, лауритом, маланитом, масловитом, мандипитом, миллеритом, мончеитом, мусковитом, оливином, палладистой платной, пентландитом, пирротином, плагиоклазом, платарситом, пумпеелитом, рутилом, сперрилитом, тальк, теларггалитом, титанитом, торий-цирконием, торитом, флогопитом, халькопиритом, хлоритом, циозитом, шриланкитом, элекриумом.

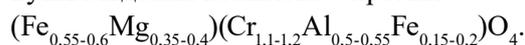
В образцах Южного Сарановского проанализированы 75 силикатных включений в 52 зернах хромита. Включения сложены амфиболами, хромсодержащим хлоритом, альбитом, аспидолитом, хромовым глаголевитом и флогопитом, апатитом и хлорапатитом, оливином, доломитом, диопсидом, жадеитом, ильменитом, магнезитом, миллеритом, пентландитом, псиломеланом, рутилом, серпентинитом, титанитом, хроммагнетитом, цирконом.

В образцах Северного проанализированы включения в 69 зернах хромита. Включения сложены хлоритом, амфиболами, аспидолитом, рутилом, энстатитом, апатитом и хлорапатитом, хромовым глаголевитом, ильменитом, кальцитом, халькозино, оливином, доломитом, флогопитом, вонезитом, серпентинитом, альбитом, тальком, уваровитом, халькопиритом, талнахитом, борнитом, марганцевым сфалеритом, цирконом.

Помимо включений, имеются различия и хромшпинели.

Согласно современной классификации [Bosi et al., 2019], хромшпинель как в Главном Сарановском месторождении $(\text{Fe}_{0,45-0,6}\text{Mg}_{0,45-0,6})(\text{Cr}_{1,2-1,3}\text{Al}_{0,5-0,6}\text{Fe}_{0,15-0,2})\text{O}_4$, так и в Южном Сарановском массиве $(\text{Fe}_{0,45-0,5}\text{Mg}_{0,5-0,58})(\text{Cr}_{1-1,3}\text{Al}_{0,45-0,5}\text{Fe}_{0,15-0,4})\text{O}_4$, должна быть отнесена к хромит-магнезиохромиту, с некоторыми различиями в формульных коэффициентах по сравнению с Главным месторождением.

Бушвельдский комплекс – хромит



ЛИТЕРАТУРА

1. Зимин И.А. Сарановское хромоворудное месторождение // Тр.Урал. НИИ геологии, разведок и исследования минерал, сырья. 1938. Вып. 2. С. 163–183.
2. Barnes S.J., Roeder P.L. The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks // Journal of Petrology. 2001. V. 42. N 12. P. 2279–2302.
3. Bosi F., Biagioni C., Pasero M. Nomenclature and classification of the spinel supergroup // Eur. J. Mineral. 2019. V. 31. P. 183–192.

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ИСПАРЕНИЯ МИНЕРАЛОВ: ФОРМИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КЛАСТЕРОВ

Герасимов М.В.¹, Диков Ю.П.², Яковлев О.И.³

¹ ИКИ РАН, Москва, Россия

² ИГЕМ РАН, Москва, Россия

³ ГЕОХИ РАН, Москва, Россия

Целью наших экспериментов было изучение поведения магнезиальных силикатов, алюмосиликатов и силикатов кальция в условиях ударного испарения, характерного для высокоскоростных ударов планетезималей. Эксперименты проводились путем моделирования ударно-испарительных процессов с использованием легкогазовой пушки и установки с мощным лазерным импульсом [Gerasimov et al., 1998].

Проведенные эксперименты показали, что испарение, характерное для высокоскоростных ударов, происходит с формированием устойчивых молекулярных соединений – кластеров. Были определены некоторые из них.

- а) Магнезиосиликаты. Была выявлена однородность химической структуры конденсированных материалов с преобладающей цепочной полимеризацией кремний-кислородных тетраэдров, связанных в молекулярный кластер с соотношением Mg/Si около 1, или “энстатитовый” кластер [Яковлев и др., 1995].
- б) Алюмосиликаты. Наблюдается положительная корреляция концентраций Al и Na [Яковлев и др., 1996; Яковлев и др., 1997]. Испарение алюмосиликатов протекает с активностью “нефелинового” (Na:Al:Si = 1:1:1) и силлиманитового (Al:Si = 2:1) кластеров [Герасимов и др., 2016].
- в) Силикаты кальция. Эксперименты показали активность “волластонитового” кластера (Ca:Si = 1 : 1) [Герасимов и др., 2012].

Испарение кластеров приводит к непредсказуемой летучести включенных тугоплавких элементов

(например, Ca, Al). Термодинамическая оценка с использованием кода «Magma» [Fegley Jr, Cameron, 1987] подтверждает активность “энстатитового”, “нефелинового”, “волластонитового” и “силлиманитового” кластеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев О.И., Диков Ю.П., Герасимов М.В. Экспериментальное исследование ударного и импульсного испарения ультраосновного вещества // Геохимия. 1995. № 8. С. 1235–1248.
2. Яковлев О.И., Диков Ю.П., Герасимов М.В., Бычков А.М. Исследование высокотемпературного импульсного испарения твердых растворов в системе альбит-ортоклаз // Геохимия. 1996. № 8. С. 782–790.
3. Яковлев О.И., Диков Ю.П., Герасимов М.В., Влотцка Ф. Особенности испарения Al из силикатных расплавов // Геохимия. 1997. № 12. С. 1181–1195.
4. Герасимов М.В., Диков Ю.П., Яковлев О.И. Кластерный тип испарения силикатов: новые экспериментальные данные // Петрология. 2012. Т. 20(5). С. 439–448.
5. Герасимов М.В., Диков Ю.П., Яковлев О.И. Новые экспериментальные данные кластерного испарения полевых шпатов // Петрология. 2016. Т. 24(1). С. 55–82.
6. Gerasimov M.V., Ivanov B.A., Yakovlev O.I., Dikov Yu.P. Physics and Chemistry of Impacts. Earth, Moon, and Planets. 1998. V. 80(1–3). P. 209–259.
7. Fegley B. Jr., Cameron A.G.W. A vaporization model for iron/silicate fractionation in the Mercury protoplanet // Earth and Planet. Sci. Lett. 1987. V. 82. P. 207–222.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

Герк С.А., Цыганова А.А., Кривошекова А.И., Голованова О.А.

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия, gerksa_11@mail.ru

Цель работы: синтез кальций-фосфатных композитов на основе гиалуроновой кислоты, и изучение их структурно-морфологических и резорбционных свойств.

Композиты Са-Р-высокомолекулярная гиалуроновая кислота (ВГК) получали из среды приближенной по неорганическому составу к синовиальной жидкости человека [Герк и др., 2018]. В раствор солей кальция и магния (CaCl_2 и MgCl_2) вводили раствор с осадкообразующими анионами (Na_2HPO_4 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 , KCl , NaCl) и ВГК 2 % масс. Кислотность модельного раствора составляла 7.4.

Синтез композитов Са-Р-композитов на основе смеси фосфатов кальция и геля ВГК. Композиты готовили путем введения в 2% гель ВГК полученный Са-Р-порошок в количестве 10, 30, 50 мас. % и интенсивно перемешивали и высушивали при 25 °С. Кальций фосфатный порошок получен путем осаждения из раствора, содержащего осадкообразующие кальция и магния по разработанной методике [Golovanova O.A. и др., 2016] и прототипа синовиальной жидкости.

Установлено, что все синтезированные композиты в среде ВГК однофазны состоят из ГА ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5$), представлены округлыми и чешуйчатыми кристаллитами. Минеральная компонента Са-Р-композитов полученных в геле ВГК, представлена фазами октакальций фосфата (ОКФ), брушита и гидроксиапатита. Показано, что агрегаты композитных материалов имеют форму «розеток»,

состоящих из пластинчатых кристаллов. Выявлено, что площадь удельной поверхности материалов на основе геля ВГК в 4–5 раз меньше по сравнению с порошками ГА-ВГК, полученными из модельных растворов синовии и составляет 16–26 м²/г. Чем больше неорганического наполнителя, тем меньше Суд. композитов. Резорбируемость на начальном этапе в 0,9%-ном. растворе NaCl и в ацетатном буферном композитов фосфаты кальция/гель ВГК в 10 раз меньше чем у порошков ГА-ВГК. Скорость растворения смесевых порошков тем меньше, чем больше в их составе неорганического наполнителя.

Таким образом, в зависимости от способа синтеза композитов на основе гиалуроновой кислоты (путем осаждения из раствора или смешением Са-Р-порошка с полимером) можно получать материалы с разной биорезорбцией.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 23-23-00668.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герк С.А., Голованова О.А., Одажиу В.Н. Структурно-морфологические и резорбционные свойства карбонатгидроксиапатита, полученного в присутствии глицина // Неорганические материалы. 2018. Т. 54(3). С. 322–332.
2. Golovanova O.A., Tsyganova A.A., Chikanova E.S. Targeted synthesis of octacalcium phosphate and a study of its properties // Glass Physics and Chemistry. 2016. 42(6). 615–620.

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ И ПРИРОДНЫХ БИОПОЛИМЕРОВ**Герк С.А., Карпова А.И., Голованова О.А.***Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, Омск, Россия, gerksa_11@mail.ru*

Композиции фосфатов кальция с природными биополимерами перспективны как пористые биосовместимые и биоразлагаемые субстраты, на которых происходит активно дифференцировка клеток при восстановлении костных дефектов.

Цель работы: синтезировать кальций-фосфатные композиты в матрице хитина, хитозана, гиалуроновой кислоты, определить влияние ионов магния, органического полимера на фазовый состав, морфологические и термические свойства материалов.

Синтез композитов Са-Р-высокомолекулярная гиалуроновая кислота (ВГК). Образцы получали из среды приближенной по неорганическому составу к синовиальной жидкости человека. В раствор солей кальция и магния (CaCl_2 и MgCl_2) вводили раствор с осадкообразующими анионами (Na_2HPO_4 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 , KCl , NaCl) и ВГК 2% масс. Кислотность модельного раствора составляла 7.4.

Синтез композитов Са-Р-хитозан и Са-Р-хитин. Готовили 0.02 М раствор с мольным соотношением солей $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2/(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, равным 1.70, содержащий 0.16 г полимера (хитина или хитозана). Корректировали кислотность среды 25%-ным раствором аммиака до 12 ± 0.05 .

Синтез композитов Mg-Са-Р-хитозан и Mg-Са-Р-хитин. Магнийсодержащие порошки получали по методике синтеза с хитином и хитозаном, мольное соотношение катионов $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ в растворе составляло 1:9.

Установлено, что фазовый состав порошков зависит от природы полисахарида и содержания ионов магния в маточном растворе. Избыточное содержание ионов магния способствует образованию метастабильных фаз гидроксиапатита. Порошки на основе хитозана (без ионов магния) и гиалуроновой кислоты представлены карбонатгидроксиапатитом. Композиты с хитином и магнийсодержащие образцы с хитозаном двухфазны, содержат карбонатгидрокси-

апатит и примесную фазу витлокита. В данном случае ионы магния дестабилизируют структуру апатита и образуется витлокитсодержащая фаза. Образцы карбонатгидроксиапатит-гиалуроновая кислота, синтезированные в присутствии незначительного количества ионов магния, наиболее окристаллизованы. В системах с гиалуроновой кислотой апатитовая фаза образуется из-за особых реологических свойств растворов полисахарида.

Все кальций-фосфатные композиты, синтезированные в матрице полисахаридов, за исключением магнийсодержащих порошков на основе хитина и хитозана, представлены округлыми и чешуйчатыми кристаллитами, являются термически устойчивыми. Резорбируемость композитов в физиологическом растворе хлорида натрия зависит от содержания в них полисахарида и ионов магния. Наиболее растворимыми являются образцы гидроксиапатит – хитозан (хитин) и магнийсодержащий гидроксиапатит-ВГК. Образцы гидроксиапатит-полисахарид (хитин, хитозан), содержащие в составе значительное количество ионов магния, резорбируются с меньшей скоростью. По уменьшению резорбируемости композитов составлен следующий ряд: ГА-хитозан – ГА-ВГК – Са-Р-хитин – Mg-Са-Р-хитозан – Mg-Са-Р-хитин.

Таким образом, кальций-фосфатные композиты в матрице хитозана или хитина перспективны для создания резорбируемых керамических материалов, их магнийсодержащие композиции могут применяться для создания биоподобных имплантатов с ограниченной скоростью резорбции *in vivo*. Композиты карбонатгидроксиапатит-высокомолекулярная гиалуроновая кислота можно использовать для создания остеокондуктивных скаффолдовых систем, востребованных в медицине при восстановлении больших костных дефектов.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 23-23-00668.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРС-СПЕКТРОСКОПИИ И СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛОВ В КСЕНОЛИТАХ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ ЯКП

Гладкочуб Е.А.¹, Селютина Н.Е.^{1,3}, Костровицкий С.И.^{1,2}, Дымшиц А.М.¹

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, log@crust.irk.ru

² Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия, dir@igc.irk.ru

³ Институт экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского РАН, Черногловка, Россия, IEM_direct@iem.ac.ru

Количественная оценка минеральных соотношений в шлифах и тонко-полированных пластинках крайне важна для любых расчетов термодинамических параметров горных пород. Способ количественной оценки минералов путем исследования оптических свойств фаз с помощью поляризационного микроскопа используется повсеместно, но он не отличается высокой точностью, что может сказаться на качестве дальнейшего исследования. В данной работе рассматривается комплекс методов, эффективных для идентификации минеральных фаз и последующей обработки данных.

Для предварительной идентификации минералов в ксенолитах из кимберлитов Якутской кимберлитовой провинции был использован метод спектроскопии комбинационного рассеяния света (далее КРС-спектроскопия) с использованием конфокального КРС-спектрометра WITec alpha300R в ИЗК СО РАН, с последующей полуколичественной диагностикой на сканирующем электронном микроскопе Tescan MIRA 3 LMN в ИГХ СО РАН. Основным преимуществом КРС-спектроскопии в данном исследовании является возможность ускорить и удешевить подготовительные работы для сканирующей электронной микроскопии (далее СЭМ), так как метод экспрессный и не требует дорогой пробоподготовки. Работа производилась в несколько этапов:

1) Была сделана серия BSE-изображений образцов в высоком разрешении, с последующей «сшивкой» их в карту шлифа;

2) КР-спектроскопия позволила идентифицировать основные минеральные группы: группу граната (пироп, альмандин, спессартин), группу пироксенов

(диопсид, авгит, энстатит), группу полевых шпатов (ортоклаз, альбит, анортит), а также обнаружить акцессорные минералы (апатит, циркон, монацит). Данный этап позволил существенно сократить затраты времени при поиске и идентификации минералов с помощью СЭМ;

3) Определение химических составов минеральных фаз было произведено для дальнейшего расчета эффективных валовых составов изучаемых пород;

4) Расчет эффективных валовых составов производился посредством пиксельного анализа BSE-изображений. Для пересчета объемных (площадных) на BSE-фотографиях соотношений фаз в массовые проценты использованы средние значения плотностей соответствующих минералов.

Дальнейшей целью исследований является реконструкция теплогенерации пород кристаллического фундамента Сибирского кратона [1]. Для этих расчетов необходимо определить P-T условия последнего равновесия минеральных ассоциаций (планируется провести расчеты с помощью программного комплекса PERPLE_X) и определить точные процентные соотношения между породообразующими и акцессорными минералами в породе.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 22-77-10073.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gruber B., Chacko T., Pearson D.G., Currie C., Menzies A. Heat production and moho temperatures in cratonic crust: evidence from lower crustal xenoliths from the slave craton // *Lithos*. 2021. V. 380. P. 105889.

МИНЕРАЛЫ-НОСИТЕЛИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕПОНИРОВАННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГОРОДА

Глухов В.С.^{1,2}, Селезнев А.А.^{1,2}, Малиновский Г.П.², Ярмошенко И.В.²

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, glukhov.v.s.work@gmail.com

² Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, ie@ecko.uran.ru

В городской среде процесс седиментогенеза сопровождается образованием поверхностных депонированных отложений (СПДО), происхождение которых обусловлено накоплением природных и техногенных частиц фракции от 2 мкм до 1000 мкм в пониженных участках рельефа. Вещественный состав отложений обусловлен геологией и антропогенным воздействием промышленной инфраструктуры района. Урбоседименты играют важную роль в городской среде, поскольку служат геохимическим барьером и вследствие чего накапливают тяжелые металлы (ТМ). Компоненты отложений, в состоянии аэрозоля, представляют потенциальную угрозу загрязнения окружающей среды ТМ. [Seleznev et al., 2020].

Цель исследования заключалась в выявлении минералов-носителей тяжелых металлов в современных поверхностных депонированных отложениях городской среды. Задачи исследования: определить вещественный состав проб 25 проб СПДО; построить матрицу парных корреляций (МПК) между элементами и минералами проб осадка; выявить минералы, которые обладают значимой корреляционной связью ($p < 0,05$; $R > 0,5$) с большим количеством ТМ СПДО.

Материалы и методы. Объектом исследования являются 25 проб СПДО фракции 2–10 мкм города Ростов-на-Дону, отобранные в селитебных зонах города в осенний сезон 2019 года. Пробы прошли пробоподготовку в ИПЭ УрО РАН [Seleznev et al., 2020]. В исследовании были использованы методы масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), рентгенофазовый анализ (РФА) и статистический анализ. Минеральный состав проб

был определен методом РФА. Элементный состав проб был определен методом ICP-MS.

Результаты и выводы. Построение МПК между полученными минералами и элементами 25 проб СПДО г. Ростов-на-Дону, показало, что минералы группы плагиоклаза, хлоритов и гидрослюд имеют большее количество значимых связей ($p < 0,05$; $R > 0,5$) с ТМ. В пробах СПДО плагиоклазы, хлориты и гидрослюды положительно коррелируют с такими элементами как V, Mn, Co, Ni, Mo, Cd, Sn.

Заключение. Предположительно минералы группы плагиоклаза, хлоритов и гидрослюд являются минералами-носителями ТМ [Буланов и др., 2005] в СПДО. Полученный результат необходимо подтвердить исследованием минералов методом сканирующей электронной микроскопии в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (СЭМ-ЭДС).

Работа выполняется при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-17-20036. Исследования методом комбинационного рассеяния выполнены в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН. Дооснащение ЦКП проведено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № 075-15-2021-680).

ЛИТЕРАТУРА

1. Буланов В.А., Сизых А.И. Кристаллохимизм порообразующих минералов: Учеб. пос.– Иркутск: Иркут. Ун-т, 2005 – 220 с. ISBN 5-9624-0035-6
2. Seleznev A.A., Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P. Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities // Scientific Reports. 2020. V. 10(1) P. 1668.

НОВАЯ КОЛЛЕКЦИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ ЧАСТИЦ, СОБРАННЫХ НА АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ВОСТОК

Глухов М.С.^{1,2,3}, Четвериков Ю.О.⁴

¹ *Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого, Екатеринбург, Россия,*

² *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия,*

³ *Казанский федеральный университет, Россия, Казань, gluhov.mikhail2015@yandex.ru*

⁴ *НИЦКИ ПИЯФ, Гатчина, Россия, chetverikov_yo@pnp.i.nrc.ki.ru*

Потепление климата Земли в 20 веке – широко известная проблема, которая имеет две главные точки зрения. Первая – увеличение антропогенного влияния на климат Земли, другая – естественные причины. Согласно [Carrillo-Sanchez., 2016], одна из естественных причин это влияние зодиакального пылевого облака, которое является основным источником космического вещества (КВ), поступающего на Землю.

Основные проблемы этих исследований касаются методики сбора и выделения космической пыли (КП) и микрометеоритов (ММ), а также мониторинга выпадений, изучения параметров потока КВ, объединения имеющихся знаний специалистов из разных научных областей [Гиндилс и др., 2014]. Все это имеет большое значение для понимания механизмов переноса КП на поверхность Земли, для определения её возможного источника, и оценки влияния на изменение климата.

Антарктида является самым чистым местом для сбора КП и ММ. Станция «Восток» расположена в центре Антарктики и является одним из лучших мест для поиска внеземного материала, поскольку атмосфера Антарктического плато содержит на порядок меньше аэрозолей естественного и искусственного происхождения, чем в среднем по миру [Chetvertikov et al., 2023].

Коллекция сезона 12.2023–01.2024 была собрана путем фильтрации свежего снега в период с 27 декабря 2023 г. по 22 января 2024 на антарктической станции «Восток». Метод отбора включал сбор свежеснежавшего снега из подготовленных днем ранее траншей. Всего проведено 23 сбора, суммарное количество проб 69. Интервал сборов свежего снега исключал полеты самолетов, баки со снегом вскрывались только в чистой зоне. Там же из ото-

бранного материала были подготовлены препараты для проведения будущих исследований.

С помощью бинокулярного микроскопа на поверхности изученных препаратов были обнаружены микрочастицы сферической, изометричной, вытянутой и неправильной формы, размером менее 1 мм. Сферические микрочастицы имеют металлический блеск, черный цвет, гладкую или шероховатую поверхность. Остальные микрочастицы имеют шероховатую поверхность, одни имеют металлический блеск, другие – матовый блеск в комбинации с бурым, черным или охристо-желтым цветом. Долгосрочное и непрерывное накопление подобной информации позволит в будущем детализировать и систематизировать данные о структуре, составе и динамике прохождения отдельных метеорных скоплений, что даст представление о структуре и особенностях эволюции родительских тел метеороидов, и позволит дать оценку влияния КП на климат Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиндилс Л.М., Капралов М.И Проблемы изучения космической пыли на Земле: (к программе исследования. Дубна: ОИЯИ, 2014. 87 с.
2. Carrillo-Sanchez, J. D., Nesvorny, D., Pokorny, P., Janches, D., and Plane, J. M. C. Sources of Cosmic Dust in the Earth's Atmosphere // *Geophysical Research Letters*. 2016. V. 43(23). P. 979–986.
3. Chetverikov Y.O., Ezhov V.F., Glukhov M.S., Ivankova E.M., Loshachenko A.S., Kalganov V.D., Yakubovich O.V. Extraterrestrial dust flux monitoring at Antarctic Vostok station: New collection of extraterrestrial spherules fallen from May to September 2017 // *Meteoritics & Planetary Science*. 2023. P. 1–19.

МЕТОДИКА ПРОБОПОДГОТОВКИ И РАСТВОРЕНИЯ МЁДА ДЛЯ ИСП-МС АНАЛИЗА**Глухова А.А.¹, Киселева Д.В.^{1,2}, Глухов М.С.^{1,2,3}, Окунева Т.Г.², Рыбакова А.Д.^{1,2}**¹ *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, linaa_andreevna@mail.ru*² *Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия*³ *Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия*

В последние годы подтверждение подлинности и прослеживаемость происхождения пищевых продуктов стали основным требованием для потребителей и производителей по всему миру. Мед и продукты пчеловодства обладают высокой добавленной стоимостью, представляют большой интерес для оценки его подлинности (как географического происхождения, так и цветочных источников). Химический состав меда обычно связан с его ботаническим происхождением и, в меньшей степени, с географическим районом, где он был собран, поскольку окружающая среда (например, почва и климат) определяет медоносную флору. Дополнение элементного состава изотопными данными ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) в цепочке пчела – мед (продукт пчеловодства) – почва – растения – медоносы – вода, а также использование хемометрических подходов к установлению связей в ней позволят разработать способ подтверждения географического происхождения меда и продуктов пчеловодства. Особенно важными являются исследования, направленные на контроль содержания тяжелых металлов, что имеет прямое отношение к продовольственной безопасности и качеству окружающей среды [Ligor et al., 2022; Smith, Weis, 2020; Zhou et al., 2018]. Важно отметить, что существенный объем исследований по данной теме наиболее широко развит за пределами Российской Федерации, а работы отечественных исследователей, посвященные данной теме редки, что говорит о большом потенциале развития данного направления.

Анализ литературных данных показал, что методика пробоподготовки меда на анализ содержания микроэлементов с применением ИСП-МС

[Ligor et al., 2022; Smith, Weis, 2020; Zhou et al., 2018] носит сходные этапы, с некоторыми различиями. Пользуясь известными данными, нами был разработан и предложен следующий вариант пробоподготовки проб меда для микроэлементного анализа: образцы меда массой 1 г растворяли на водяной бане (90 градусов, 30 мин) в 1 мл воды и варьировали степени разбавления и объемы добавленных реагентов (концентрированной азотной кислоты и перекиси водорода). Далее пробу нагревали в течение нескольких часов на водяной бане, добавляли 150 мкл раствора In (1 ppm) и доводили до 15 мл водой.

После проведения ИСП-МС анализа были выявлены способы растворения, позволяющие количественно перевести мед в раствор и использовать их в дальнейшем для определения изотопного отношения стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhou X., Taylor M. P., Salouros H., Prasad S. Authenticity and geographic origin of global honeys determined using carbon isotope ratios and trace elements // *Scientific Reports*. – 2018. V. 8(1). P. 14639.
2. Ligor M., Kowalkowski T., Buszewski B. Comparative Study of the Potentially Toxic Elements and Essential Microelements in Honey Depending on the Geographic Origin // *Molecules*. 2022. V. 27. P. 5474.
3. Smith K.E., Weis D. Evaluating Spatiotemporal Resolution of Trace Element Concentrations and Pb Isotopic Compositions of Honeybees and Hive Products as Biomonitoring for Urban Metal Distribution // *GeoHealth*. 2020. V. 4(7). P. e2020GH000264.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕНЕЗЕ ЖЕЛЧНЫХ КАМНЕЙ

Голованова О.А.

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия, golovanoa2000@mail.ru

Человек непосредственно связан с внешней средой обитания и часто реагирует на любые негативные ситуации в ней, которые могут привести к различным нарушениям в функционировании организма. Результатом могут быть отклонения от нормального функционирования, включая возникновение патологических новообразований, поражающих практически все органы человека.

Основную детоксикационную функцию в организме выполняет печень, ей отведена важная роль в поддержании постоянства внутренней среды организма, нарушение которого является результатом дестабилизирующего воздействия экзогенных факторов (пищи, состава воды и др.). Это приводит к возникновению различных патологий, одной из которых является желчекаменная болезнь, как результат заболевания печени и желчного пузыря. В последнее время интерес к проблеме все более возрастает из-за резкого ухудшения экологической обстановки в мире, что является одним из важнейших факторов роста заболеваний, приводящих к возникновению минеральных патологий. Изучение биоминералов и минералообразования в живых организмах продолжает оставаться важнейшим направлением биоминералогических исследований.

Известно, что большинство желчных камней имеет сложный полиминеральный состав, включающий значительное число органических и неорганических веществ: холестерин, билирубин, желчные кислоты, белки, гликопротеиды, различные соли, кальций, некоторые микроэлементы. Современный этап изучения желчнокаменной болезни характеризуется исследованием молекулярных механизмов секреции желчи, регуляторных процессов, состава и физико-химических свойств нормальной и литогенной желчи, выявлением процессов и субстанций, спо-

собствующих или препятствующих образованию и формированию желчных камней, установлением взаимосвязи множественных факторов, определяющих процесс литогенеза, с особенностями состава и структуры желчных камней.

Актуальной задачей является биохимическое определение качественного и количественного состава желчи, в частности определение главных билиарных липидов: холестерина, суммы желчных кислот, лецитина с расчётом их соотношений – индексов литогенности. Эти данные представляют научный интерес, а так же могут быть использованы для профилактики ранней стадии холестеринового литогенеза.

В данной работе внимание будет уделено аминокислотам в составе желчи, которые присутствуют в ней в свободном виде, как и во многих других биологических жидкостях тела человека, причем концентрация данных органических веществ может варьироваться как естественным, так и искусственным образом. Известно, что аминокислоты могут оказывать влияние на состав и свойства карбоната кальция при осаждении его из водных растворов, а также ингибировать его кристаллизацию. Термодинамическим моделированием процесса кристаллизации CaCO_3 в желчи установлено, что в норме желчь пересыщена ионами Ca^{2+} и HCO_3^- , поэтому её стабильность обусловлена существованием данного раствора в виде коллоидной системы, самопроизвольно снижающей величины SI путём мицеллообразования. Введение аминокислот в достаточной концентрации приводит к повышению стабильности желчи за счёт снижения мольной доли свободных ионов Ca^{2+} .

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023).

НИЖНЕ-ОЛЛОМИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ АПОДОЛОМИТОВОГО НЕФРИТА**Гончарук И.С.^{1,2}, Кислов Е.В.², Вантеев В.В.²**¹ *Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова,
Улан-Удэ, Россия, goncarukirina993@gmail.com*² *Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия*

Нижне-Олломинское месторождение Витимской нефритоносной провинции расположено на правом берегу реки Нижняя Оломи (левый приток реки Голубе) в Муйском районе Республики Бурятия. Район месторождения сложен в основном гранитами витимканского комплекса *С₁*, а также доломитовыми мраморами и амфиболитами. Продуктивные на нефрит кальцит-тремолитовые скарны приурочены к краевым частям блоков доломитового мрамора и тектонически ослабленным зонам в них. Кальцит-тремолитовыми скарны слагают линзы и жиллообразные зоны, зачастую, но не всегда содержат линзы и отдельные блоки нефрита.

Нефрит светлоокрашенный, оттенки преимущественно от светло-зеленого до зеленого, серовато-зеленого, светло-серого. Окраска зависит от содержания железа, возможно других элементов группы железа. Твердость нефрита 6–6,5 по шкале Мооса. Блеск матовый, излом раковистый или занозистый. Дефекты: прожилки кальцит-тремолитового скарна, зерна доломита и кальцита, трещиноватость, дендриты минералов марганца.

В нефрите определены 17 минералов. По морфологии и взаимоотношениям между собой они разделены по парагенезисам: реликтовый (апатит, бадделлит, доломит, рутил, титанит, торианит, циркон); метасоматические: донефритовый (диопсид, флогопит, эпидот), нефритовый (кальцит I, тремолит); гидротермальный (галенит, сфалерит); регрессивный (кальцит II, тальк, хлорит, цирконолит).

Формирование нефрита, судя по взаимоотношениям минералов, проходит в несколько стадий.

Первоначально доломит на прогрессивной стадии замещается диопсидом. На регрессивном этапе уже диопсид замещается тремолитом с образованием нефрита. В другом варианте диопсид замещается кальцит-тремолитовым скарном. При этом кальцит скарна также может замещаться тремолитом. При продолжении регрессивного процесса тремолит замещается хлоритом и кальцитом или тальком и кальцитом.

Значение $\delta^{18}\text{O}$ нефрита относительно SMOW составляет $-18.14 \div -21.01\%$; кальцит-тремолитового скарна -19.66% ; эпидот-тремолитового скарна -1.01% . Полученные результаты свидетельствуют об образовании нефрита в результате гидротермально-метасоматического преобразования доломитов флюидами метеорного происхождения.

Таким образом, известковые кальцит-тремолитовые скарны, продуктивные на нефрит, приурочены к тектонизированным частям тел доломитовых мраморов на контакте с алюмосиликатными породами. Минералы разделены на реликтовый, метасоматические донефритовый и нефритовый, гидротермальный, регрессивный парагенезисы. Изотопный состав кислорода свидетельствуют об образовании нефрита в результате гидротермально-метасоматического преобразования доломитов флюидами метеорного происхождения.

Авторы признательны за материалы АО «Аллами», персонально З.В. Даржаеву. Анализы выполнены по гранту РНФ № 22-27-20003 с использованием оборудования ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (Улан-Удэ). Тезисы и доклад подготовлены в рамках темы НИР АААА-А21-121011390003-9.

ПАРАМЕТРЫ СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ЯДЕР ^{57}Fe И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СПЛАВОВ Fe-Ni-Co ВНЕЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Горюнов М.В., Оштрах М.И.

Физико-технологический институт, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Российская Федерация, e-mail: goryunov_asd@mail.ru

Метеориты несут уникальную информацию о процессах формирования вещества Солнечной системы, его последующей эволюции и действии экстремальных космических факторов, таких как, например, охлаждение со скоростью $1\text{--}15^\circ$ в миллион лет. Подобные условия ведут к формированию фаз, которые невозможно воспроизвести в земных условиях. Большинство метеоритов содержит сплав Fe-Ni-Co: в железных метеоритах он составляет основную часть, в железокремнистых – примерно, половину, а в каменных – не более ~ 20 вес.% от всех железосодержащих фаз. В сплаве Fe-Ni-Co в метеоритах могут содержаться следующие фазы с различной концентрацией Ni: до 7 ат.% для $\alpha\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$, $\sim 8\text{--}25$ ат.% для $\alpha_2\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$, $\sim 26\text{--}48$ ат.% для $\gamma\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$ и $\sim 48\text{--}52$ ат.% для $\gamma\text{-FeNi}(\text{Co})$.

Анализ мессбауэровских спектров различных железных, железокремнистых и каменных метеоритов, измеренных с высоким скоростным разрешением, позволил выявить компоненты спектров и оценить их параметры сверхтонкой структуры, которые были соотнесены с $\alpha\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$, $\alpha_2\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$, $\gamma\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$ и $\gamma\text{-FeNi}(\text{Co})$ фазами. Были получены следующие диапазоны эффективного магнитного поля на ядрах

^{57}Fe (H_{eff}) для различных фаз и соответствующих диапазонов концентраций Ni:

$$\sim 345 \text{ кЭ} \leq H_{\text{eff}} \leq \sim 365 \text{ кЭ}$$

$$\text{для } \alpha_2\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co}), \sim 327 \text{ кЭ} < H_{\text{eff}} \leq \sim 345 \text{ кЭ},$$

$$\text{для } \alpha\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co}), \sim 283 \text{ кЭ} \leq H_{\text{eff}} \leq \sim 327 \text{ кЭ},$$

для $\gamma\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$, включая диапазон $\sim 283 \text{ кЭ} \leq H_{\text{eff}} \leq \sim 295 \text{ кЭ}$, для $\gamma\text{-FeNi}(\text{Co})$ (см. рис. 1) [Goryunov and Oshtrakh, 2024]. Для парамагнитной $\gamma\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Co})$ фазы ($\sim 29\text{--}33$ ат.% Ni) диапазон изменения изомерного сдвига (δ) составил $\sim -0.200 \text{ мм/с} < \delta < \sim +0.150 \text{ мм/с}$.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2023-0013. М.В.Г. и М.И.О. выражают благодарность за поддержку по программе развития УрФУ «Приоритет 2030» (финансирование Министерства науки и высшего образования Российской Федерации).

ЛИТЕРАТУРА

- Goryunov M.V., Oshtrakh M.I. ^{57}Fe hyperfine parameters and phase compositions in Fe-Ni-Co alloys from iron, stony-iron and stony meteorites. // Interact. 2024. V. 245. Art. No. 19.

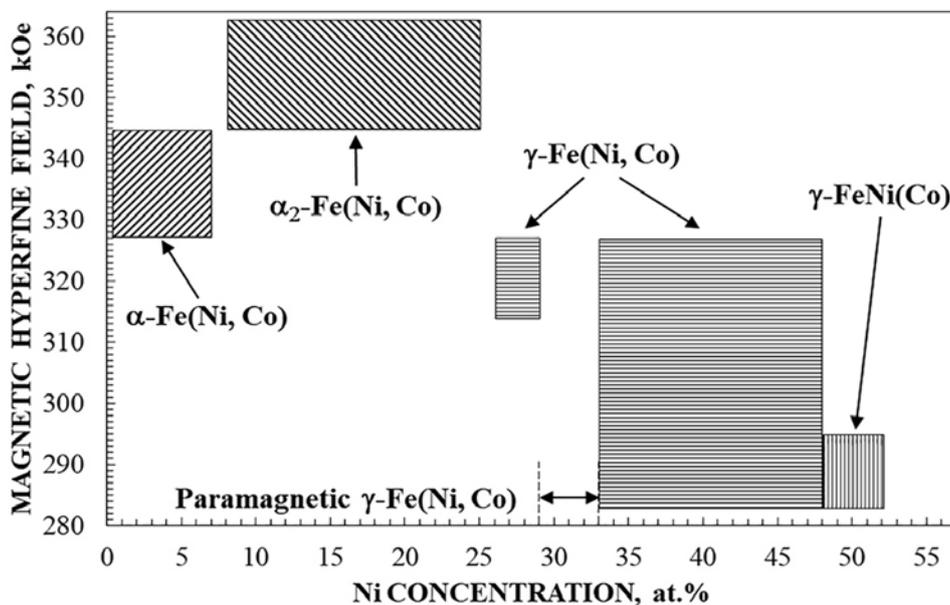


Рис. 1. Предполагаемые диапазоны магнитного сверхтонкого поля на ядрах ^{57}Fe для различных фаз сплава Fe-Ni-Co в метеоритах в зависимости от концентрации Ni

***In-situ* КР-ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛИКАТОВ И КАРБОНАТОВ ПРИ ВЫСОКИХ *P-T* УСЛОВИЯХ**

Горайнов С.В.¹, Крылов А.С.², Лихачева А.Ю.¹

¹ *ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
Новосибирск, Россия, svg@igm.nsc.ru, alih@igm.nsc.ru*

² *ФГБУН Институт физики им. Л.В. Куренского КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия, shusy@iph.krasn.ru*

В работе обсуждаются изученные *in-situ* методами закономерности поведения ряда минералов при высоких *P-T* параметрах, моделирующего процессы с участием водного флюида в холодных зонах субдукции. В качестве основного *in-situ* метода использовалась КР-спектроскопия в сочетании с алмазной ячейкой; был выбран ряд минералов (силикатов, Na-Ca-карбонатов и смешанных карбонато-силикатов): фенгит, апофиллит, давсонит, шортит и таумасит. КР спектры записаны на спектрометрах T64000 и LabRam HR800 (HORIBA Jobin Yvon) с возбуждением линией 532 нм лазера Nd:YAG.

Слоистый фенгит $K(Al,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$ продемонстрировал высокую *P-T* стабильность при сжатии в воде до 12.5 ГПа и 373 °С. Гидратированный слоистый Ca-K-Na-силикат апофиллит и таумасит $Ca_3Si(OH)_6(SO_4)(CO_3) \cdot 12H_2O$ были изучены при высоких *P-T*. Апофиллит сохранял исходную фазу до давления ~8 ГПа (при 23 °С). Сравнительный КР-анализ поведения апофиллита в различных средах (спиртах метанол/этанол, воде, парафине и без среды) показал, что вода не проникает в каналы структуры апофиллита [Likhacheva et al., 2023]. При сжатии без среды возникает нарастающая негидростатичность, которая вызывает растрескивание образца и уширение КР-полос. Анализ поведения таумасита в двух средах (спиртах метанол/этанол и воде) свидетельствует, что вода не проникает в островную структуру таумасита, таким образом, апофиллит и таумасит не образуют сверх-гидратированную фазу (СГФ).

Методом *in-situ* КР-спектроскопии изучено поведение карбоната давсонита $NaAlCO_3(OH)_2$ в водной среде при высоких *P-T* (до 1 ГПа и 450 °С). Давсонит оказался стабильным до $P = 1$ ГПа

и $T = 250$ °С. Признаки сверхгидратации этого минерала не обнаружены. После частичного растворения исходного минерала в системе давсонит – вода образовалась стеклоподобная карбонатная фаза. Показано, что шортит $Na_2Ca_2(CO_3)_3$ имеет различные каналы распада при высоких *P-T* [Goryainov et al., 2021], причем при определенных условиях происходит абиогенное образование органических соединений Na-Ca-формиатов.

Обсуждаются *P-T* области стабильности указанных минералов, фазовые переходы, возможность образования гидратированных фаз и СГФ, аморфизация, растворение в водном флюиде и их разложение при высоких *P-T* параметрах, что важно для понимания субдукционных процессов с участием водного флюида.

Работа выполнена при поддержке Госзадания ИГМ СО РАН (Номер государственного учета: 122041400176-0) и ИФ КНЦ СО РАН и гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 21-55-14001-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Likhacheva A.Yu., Goryainov S.V., Ignatov M.A., Romanenko A.V., Seryotkin Yu.V. Comparative study of the HP-HT behavior of a layered silicate apophyllite in water and paraffin oil.// *J. Raman Spectrosc.* 2023. V. 54(2). P. 209–216.
2. Goryainov S.V., Krylova S.N., Borodina U.O., Krylov A.S. Dynamical immiscibility of aqueous carbonate fluid in the shortite-water system at high-pressure–temperature conditions.// *J. Phys. Chem. C.* 2021. V. 125(33). P. 18501–18509.

МИКРОСТРУКТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ ЦИРКОНА ИЗ МЕТЕОРИТНЫХ КРАТЕРОВ КАРА (РОССИЯ) И ВРЕДЕФОРТ (ЮАР) ПО ДАННЫМ SEM-EBSD И КР-СПЕКТРОСКОПИИ

Давлетшина А.А., Замятин Д.А.

*Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН,
Екатеринбург, Россия, alina.davletshina.2000@gmail.com*

В результате падения крупных метеоритов в породах мишени достигаются давления до 300 ГПа и температуры до 15000 °С за время от $3 \cdot 10^{-9}$ до 1 секунд. Минерал циркон ($ZrSiO_4$) отличается высокой устойчивостью к ударным давлениям до 80 ГПа и тугоплавкостью, благодаря чему может сохраняться в полностью переплавленных породах. Циркон может использоваться для определения режимов и условий формирования кратеров. Поведение кристаллов в экстремальных и сверхбыстрых условиях отличается от равновесных и требует детального исследования влияния ударных воздействий микроаналитическими методами.

Цель работы – анализ микроаналитических данных (микрдеформации, комбинационное рассеяние) основных типов ударно-преобразованных зерен циркона; выявление типоморфных особенностей, возникших в результате ударных воздействий.

Изображения в отраженных электронах (BSE) и катодолюминесценции (CL), карты элементные (EDS) и дифракции отраженных электронов (EBSD)

получены на сканирующем электронном микроскопе (SEM) Tescan MIRA LMS с детекторами Oxford Instruments EDS X-max80 и EBSD Nordlys Nano. Спектры комбинационного рассеяния (КР) – на спектрометре Horiba LabRam HR800 Evolution. Образцы – фрагменты импактных расплавов из кратеров Вредерфорт (Южная Африка) и из Кара (хр. Пай-Хой, Россия).

Детальный анализ позволил выявить зерна размером больше 5 мкм. Обнаружены основные типы микрдеформации: плоские полосы, плоские трещины, микродвойники, гранулярное строение, простые оксиды ZrO_2 и SiO_2 (рис. 1а), рейдит (рис. 1б). Установлено, что КР-спектры значительно преобразованных зерен отличаются уширением линии $\nu_3(SiO_4)$ и проявлением дополнительных полос рейдита и ZrO_2 (рис. 1в).

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН (№ 124020300057-6 и № 123011800012-9) в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН.

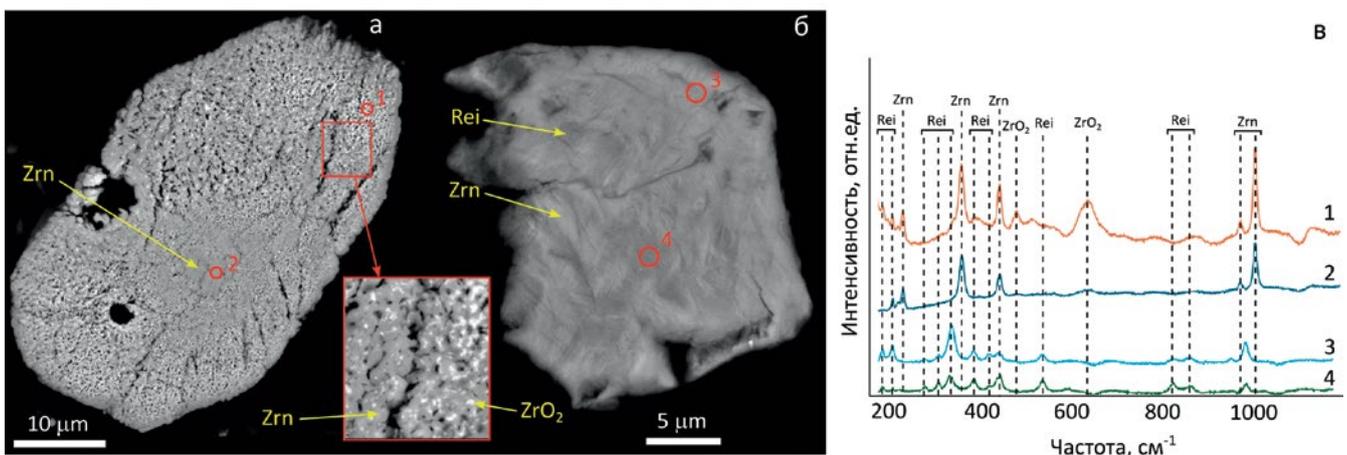


Рис. 1. BSE-изображения (а, б) и КР-спектры (в) зерна из кратера Кара: а – гранулярный циркон с включениями ZrO_2 , б – циркон с участками рейдита сложной формы (Zrn – циркон, Rei – рейдит, ZrO_2 – диоксид циркония). Красными кругами обозначены точки регистрации КР-спектров, размер соответствует пространственному разрешению

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ СЕРИЙ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ $\text{BaBi}_2\text{B}_2\text{O}_7$

Демина С.В.^{1,2}, Шаблинский А.П.², Бубнова Р.С.², Поволоцкий А.В.¹, Филатов С.К.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, *spb@spb.ru*

² Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург, Россия, *ichsran@isc.nw.ru*

На основе боратной матрицы $\text{BaBi}_2\text{B}_2\text{O}_7$ [Бубнова и др., 2016] получены новые твердые растворы $\text{BaBi}_{2-x}\text{Eu}_x\text{B}_2\text{O}_7$ [Shablinskii et al., 2022], $\text{BaBi}_{2-x}\text{Sm}_x\text{B}_2\text{O}_7$, $\text{BaBi}_{2-x}\text{Tb}_x\text{B}_2\text{O}_7$ ($x=0.05 - 0.5$), $\text{BaBi}_{2-x}\text{Eu}_x\text{Sm}_{0.05}\text{B}_2\text{O}_7$ ($x=0.35, 0.4$), $\text{BaBi}_{2-0.15-y}\text{Eu}_{0.15}\text{Sm}_y\text{B}_2\text{O}_7$ ($y=0.05 - 0.3$), $\text{BaBi}_{2-x-y-z}\text{Eu}_x\text{Tb}_y\text{Tm}_z\text{B}_2\text{O}_7$ ($x=0.05 - 0.15, y, z=0.15$) кристаллизацией из стеклокерамики. Впервые уточнены кристаллические структуры боратов $\text{BaBi}_{1.9}\text{Eu}_{0.1}\text{B}_2\text{O}_7$, $\text{BaBi}_{1.8}\text{Eu}_{0.2}\text{B}_2\text{O}_7$, $\text{BaBi}_{1.6}\text{Eu}_{0.4}\text{B}_2\text{O}_7$, $\text{BaBi}_{1.95}\text{Sm}_{0.05}\text{B}_2\text{O}_7$, $\text{BaBi}_{1.7}\text{Sm}_{0.3}\text{B}_2\text{O}_7$, $\text{BaBi}_{1.9}\text{Tb}_{0.1}\text{B}_2\text{O}_7$, $\text{BaBi}_{1.7}\text{Tb}_{0.3}\text{B}_2\text{O}_7$, $\text{BaBi}_{1.6}\text{Tb}_{0.4}\text{B}_2\text{O}_7$. В боратах $\text{BaBi}_{2-x}\text{Sm}_x\text{B}_2\text{O}_7$ атомы Sm^{3+} заселяют позицию с наибольшим объемом полиэдра – M2, в боратах $\text{BaBi}_{2-x}\text{Tb}_x\text{B}_2\text{O}_7$ атомы Tb^{3+} заселяют позицию с наименьшим объемом полиэдра – M3, в $\text{BaBi}_{2-x}\text{Eu}_x\text{B}_2\text{O}_7$ атомы Eu^{3+} предпочтительно заселяют позицию M1.

Изучено термическое поведение бората $\text{BaBi}_{1.7}\text{Sm}_{0.3}\text{B}_2\text{O}_7$ методами высокотемпературной терморентгенографии и комплексного термического анализа. Термическое расширение максимально вдоль оси *c*, перпендикулярно предпочтительной ориентировке треугольников BO_3 (*ab*). Температура кристаллизации из стеклокерамики возрастает при активации кристаллической матрицы $\text{BaBi}_2\text{B}_2\text{O}_7$ [Шаблинский и др., 2012] атомами редкоземельного элемента. Оптимальная концентрация ионов Eu^{3+} в люминофорах $\text{BaBi}_2\text{B}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{3+}$, составляет $x=0.4$, после чего происходит концентрационное тушение люминесценции. При повышении содержания Eu^{3+} происходит изменение цветности по координатам CIE из светло-красной области спектра в красную. Оптимальная концентрация ионов Sm^{3+} и Tb^{3+}

в люминофорах $\text{BaBi}_2\text{B}_2\text{O}_7:\text{Sm}^{3+}$ и $\text{BaBi}_2\text{B}_2\text{O}_7:\text{Tb}^{3+}$, составляет $x=0.05$ и $x=0.3$ соответственно. Содопирование кристаллической матрицы по формуле $\text{BaBi}_{2-0.15-y}\text{Eu}_{0.15}\text{Sm}_y\text{B}_2\text{O}_7$ позволило повысить оптимальную концентрацию иона-активатора от 0.05 до 0.1 за счет достижения оптимальной передачи энергии между кристаллографическими позициями M1 и M2.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 22-13-00317 и с использованием оборудования ресурсных центров “Рентгенодифракционные методы исследования” и “Оптические и лазерные методы исследования вещества” Научного парка СПбГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бубнова Р.С., Шаблинский А.П., Волков С.Н., Филатов С.К. Кристаллические структуры и термическое расширение твердых растворов $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Bi}_2\text{B}_2\text{O}_7$ // Физика и химия стекла. 2016. Т. 42(4). С. 469–482.
2. Шаблинский, А.П., Дроздова, И.А., Волков, С.Н., Бубнова, Р.С. Получение и исследование стеклокерамики в системе $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Bi}_2\text{B}_2\text{O}_7$ // Физика и химия стекла. 2012. Т. 38(6). С. 886–889.
3. Shablinskii, A.P., Povolotskiy, A.V., Kolesnikov, I.E., Biryukov, Y.P., Bubnova, R.S., Avdontceva, M.S., Demina, S.V., Filatov, S.K. Novel red-emitting color-tunable phosphors $\text{BaBi}_{2-x}\text{Eu}_x\text{B}_2\text{O}_7$ ($x=0-0.40$): Study of the crystal structure and luminescence // Journal of Solid State Chemistry. 2022. P. 307.

ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗА БАСЕЙНА РЕКИ ЧИКМАН

Дирксен А.¹, Васильев Е.А.¹, Антонов А.В.²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, dxnalex16@gmail.com.

² ФГУП ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, Россия

Месторождения алмаза в Западном Приуралье разделяются на два основных типа [Лукьянова и др., 2020]: долинные кайнозойские аллювиальные россыпи и неогеновые россыпи (Рассольнинская, Вогульская, Ильявожская депрессии, Рыбьяковское). Последние рядом исследователей интерпретируются как объекты «туффизитового» генезиса – коренные источники. В месторождениях обоих типов кристаллы алмаза представлены преимущественно округлыми додекаэдроидами «уральского» (бразильского) типа. Ранее в результате исследования крупных выборок алмаза из различных объектов Западного Приуралья было показано [Васильев и др., 2018], что по структурно-минералогическим особенностям алмаза, алмазоносные объекты первого типа действительно отличаются от второго (на примере Рассольнинской депрессии). Для кристаллов из объектов Западного Приуралья характерны морфологические особенности, объясняемые протоматмическим растворением и постмагматическим механическим износом, и сортировкой. Различия в характере морфологических особенностей соответствуют различным гидродинамическим условиям. В настоящей работе изучен алмаз объектов басс.р. Чикман и месторождения «Рыбьяковское» (Александровский район, Пермский край).

Изученная коллекция сформирована ЗАО «Пермгеологодобыча» в ходе поисково-оценочных и разведочных работ на месторождении «Рыбьяковское» в период 1999–2006 гг. Кристаллы, обнаруженные на разных этапах работ и в разные годы, не имеют существенных отличий по морфологии, по набору дефектов кристаллической структуры. До 70 %

кристаллов являются додекаэдроидами «уральского» типа, отсутствуют кубоиды и плоскогранные октаэдры. Треть кристаллов имеет «леденцовую» скульптуру разной выраженности, четверть кристаллов характеризуется выкрашиванием ребер, имеет серповидные/ромбические трещины. Кристаллы коллекции характеризуются широким диапазоном концентрации азота N_{tot} и соотношения азотных дефектов A и B (N_{BS}). Низкоазотных кристаллов около 5 %; типа IaA – 5 %. В месторождении «Рыбьяковское» выделяется около 5 % низкоазотных кристаллов с предельной степенью трансформации азота $A \rightarrow B$, которые могут иметь «сверхглубинный» генезис. Таким образом, характеристики алмаза басс.р. Чикман и месторождения «Рыбьяковское» соответствуют россыпному объекту и не позволяют ассоциировать его с каким-либо конкретным (гипотетическим) коренным источником.

Работа выполнена в рамках графа РНФ 21-77-20026.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алмазоносные флюидно-эксплозивные образования Пермского Приуралья / Л.И. Лукьянова, В.Р. Остроумов, А.Я. Рыбальченко и др. Москва: Геокарт: ГЕОС; Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2020. 460 с.
2. Васильев Е.А., Клепиков И.В., Лукьянова Л.И. Сравнение кристаллов алмаза Рассольнинской депрессии и современных аллювиальных россыпей Красновишерского района // Записки РМО. 2018. № 1. С. 55–88.

ХРОМИТ-ПЛАГИОКЛАЗОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ В ХОНДРИТАХ

Дугушкина К.А.^{1,2}

¹ Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого
УрО РАН, Екатеринбург, Россия, dugushkina@igg.uran.ru

² Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

В обыкновенных хондритах Shinejinst (H4 S3/4 W2) и Gumbeyka (L6 S4 W1) были изучены хромит-плагиоклазовые скопления – *chromite-plagioclase assemblages* (рис. 1).

Скопления встречаются различной формы, размер варьирует от 70 до 300 мкм. Хромит наблюдается в виде зерен изометричной, округлой и неправильной формы, размер зерен варьирует от 0.2 до 10 мкм. Содержание FeO и MgO в хромите из скоплений варьирует в пределах 24–31 и 2–7 мас.% соответственно. Также отмечается обогащение TiO₂ до 7.0 мас%. Зерна хромита, полностью окруженные плагиоклазом в скоплениях, как правило, богаче Al₂O₃, чем зерна хромита в матрице хондрита. Силикатная часть скоплений представлена плагиоклазом или стеклом плагиоклазового состава (An15–49).

Хромит-плагиоклазовые скопления часто встречаются в ударно-измененных обыкновенных хондритах [Ramdohr, 1963; Rubin, 2003; Litasov et al., 2019 и др.]. Скопления встречаются почти на каждой ударной стадии от S3 до S5 по [Stoffler et al., 2019]. Скопления являются надежным индикатором ударных изменений в обыкновенных хондритах [Rubin, 2003]. Указывают на степень ударных изменений выше S3. Согласно предположению А. Рубина (2003), горячие плагиоклазовые расплавы, вероятно, расплавили соседний хромит и образовали хромит-плагиоклазовые скопления [Rubin, 2003].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ramdohr P. Opaque minerals in stony meteorites // Journal of Geophysical Research. – 1963. – Vol. 68, Issue 7. – P. 2011–2036.
2. Rubin A.E. Chromite-plagioclase assemblages as a new shock indicator; Implications for the shock and thermal histories of ordinary chondrites // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2003. – Vol. 67. – P. 2695–2709.
3. Litasov K.D. and Badyukov D.D. Raman Spectroscopy of High-Pressure Phases in Shocked L6 Chondrite NWA 5011 // Geochemistry International. – 2019. – Vol. 57, Issue 8. – P. 912–922.
4. Stoffler D., Hamann C., Metzler K. Addendum to “Stoffler, D., Hamann, C., Metzler, K., Shock metamorphism of planetary silicate rocks and sediments: Proposal for an updated classification system. Meteoritics & Planetary Science 53, 5–49, 2018” // Meteoritics & Planetary Science. – 2019. – Vol. 54, Issue 4. – P. 946–949.

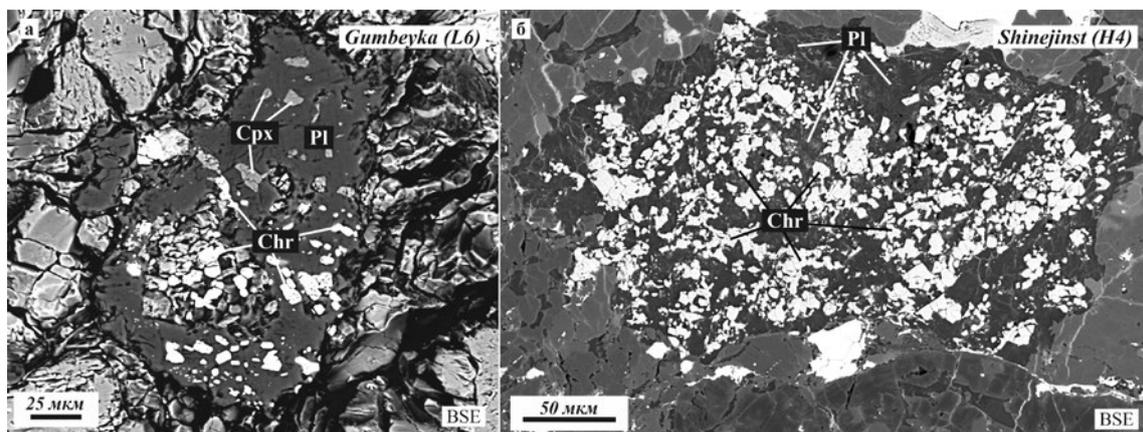


Рис. 1. Хромит-плагиоклазовые скопления в обыкновенных хондритах: а – Gumbeyka (L6), б – Shinejinst (H4)

КСЕНОКРИСТАЛЛЫ ГРАНАТОВ И ПИРОКСЕНОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ В ПРИЛОЖЕНИИ К СОСТАВУ И СТРОЕНИЮ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ

Дымшиц А.М.¹, Тычков Н.С.², Яковлев И.В.², Мальковец В.Г.²

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, adymshts@crust.irk.ru

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе были изучены ксенокристаллы клинопироксена и граната из кимберлитовых трубок Мир, Комсомольская-Магнитная и Дьянга (Мирнинское, Верхнемунское и Куойкское поля, Сибирский кратон).

С использованием нового метода (программа Gtherm) на основе химического состава минералов были реконструированы мантийные палеогеотермы. Было показано, что значения мощности литосферы для трубок на момент кимберлитового магматизма сильно разнятся от 270 до 200 км. В литосферной мантии под Мирнинским кимберлитовым полем имеется более широкое разнообразие пород по сравнению с Верхнемунским и Куойкским полем. Эклогиты и пироксениты больше всего проявлены в Мирнинском поле, в то время как гранатовые перидотиты – в Верх-

немунском (рис. 1). Оценки давления и температуры для ксенокристаллов клинопироксена из изученных трубок подтверждают прогрев пород литосферной мантии на момент кимберлитового магматизма. Для всех трубок был установлен кластер точек под корой до глубин в 90 км, смещенный в сторону более высоких температур относительно кондуктивной геотермы. Еще один кластер наблюдается в области высокотемпературных ксенокристаллов на границе литосфера – астеносфера, которые может указывать на прогрев, связанный с термальной дестабилизацией на этих глубинах, предшествующей кимберлитовому магматизму.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10073.

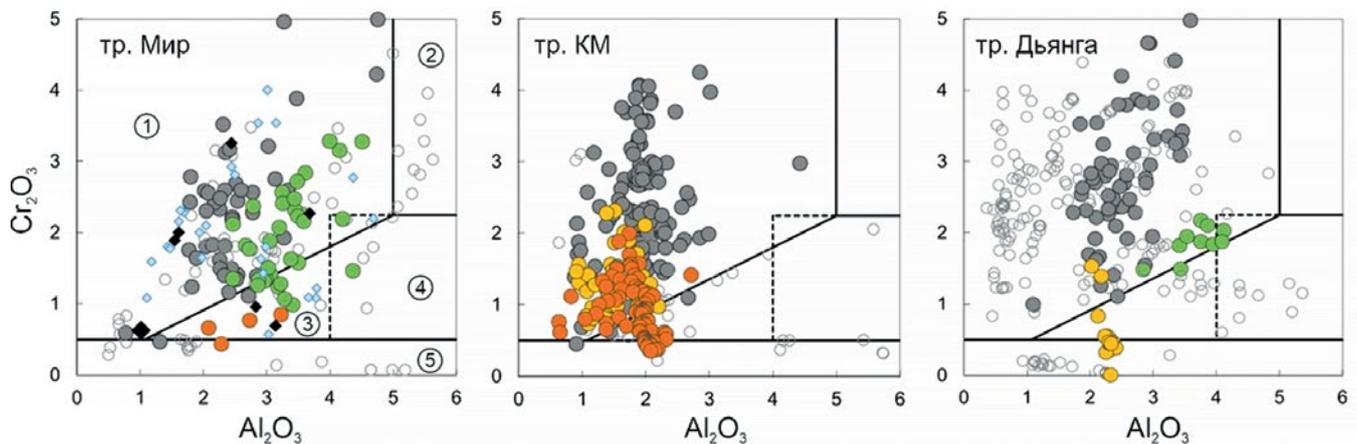


Рис. 1. Дискриминационная диаграмма соотношения Cr_2O_3 и Al_2O_3 (мас. %) в клинопироксене.

Цветные круги – анализы, которые пригодны для мономинеральной термобарометрии; полые круги – непригодные для термобарометрии; серые – использованы для построения геотермы; желтые и оранжевые – высокотемпературные клинопироксены; зеленые – клинопироксены с глубин менее 90 км и сдвинутые с геотермы в область более высоких температур; ромбы – включения в алмазах (черные – в ассоциации с гранатом, голубые – в неизвестной ассоциации, большой ромб – сростание с гранатом). 1 – поле гранатовых перидотитов, 2 – поле внекратонных перидотитов, 3 – поле гранат-шпинелевых перидотитов, 4 – поле шпинелевых и внекратонных перидотитов, 5 – поле эклогитов и мегакристовых пироксенов.

ОКТАЭДРИЧЕСКИЕ И ТЕТРАЭДРИЧЕСКИЕ МОТИВЫ В СТРУКТУРНОЙ МИНЕРАЛОГИИ – ОТВЕТ ПРИРОДЫ ПЯТОМУ ПРАВИЛУ Л. ПОЛИНГА

Еремин Н.Н.^{1,2}, Еремина Т.А.¹, Гурбанова О.А.¹

¹ МГУ им. М.В.Ломоносова, Геологический ф-т, Москва, Россия, peremin@mail.ru

² ИГЕМ РАН, Москва, Россия

«Упаковки – это своеобразные «анионные» моря, в которых разыгрываются минералогические события, т.е. вся минералогическая игра сводится к распределению катионов по пустотам плотнейшей упаковки».

Н.В. Белов

Одним из важнейших факторов распространённости структурного типа неорганического кристалла является наличие плотноупакованного мотива анионов, как критерия возможно наиболее плотного заполнения пространства. В Земной коре (в силу многих причин) самым распространённым анионом является ион O^{2-} с радиусом около 1,36 Å. В случае плотной упаковки его ионов в октаэдрические, тетраэдрические и тригональные пустоты такого мотива могут входить, согласно первому правилу Л. Полинга [Pauling, 1929], весьма различные по размеру катионы (диапазон радиусов от 0,2 до 1,0 Å). Отметим, что на разнообразии разрешённых кристаллических структур оказывает направленное воздействие общий кристаллохимический принцип известный под названием правила пятого правила Полинга (правило парсимонии) [Pauling, 1929; Hawthorne, 2006], существенно ограничивающий число возможных для заданной формулы уникальных структурных фрагментов. Тем не менее, анализ различных мотивов заполнения октаэдрических и тетраэдрических пустот кислородных упаковок, реализуемых в мире минералов, показывает огромное топологическое разнообразие [Еремин и др., 2020].

В докладе на многочисленных примерах объясняются причины кажущегося противоречия наблюдаемого разнообразия таких мотивов и правила парсимонии.

Среди анализируемых октаэдрических мотивов отметим кристаллические структуры следующих минералов и синтетических соединений: оливин, норбергит, хондродит, гумит, клиногумит, CdI_2 , $Mg(OH)_2$, рутил, брукит, анатаз, шпинель, диаспор, гетит, гроутит, стениерит, рамделлит, VO_2 , голландит, тодорокит, романешит, корунд, карелианит, эсколаит, гематит, тетрадимит, ильменит, кальцит, магнезит, сидерит, родохрозит, доломит, кутнагорит, анкерит, топаз.

Среди тетраэдрических мотивов рассматриваются кристаллические структуры вюрцита и сфалерита, халькопирита и станнина, германита, энаргита, сульванита, пентландита, глётта, литаргита, $LiOH$, куприта и куперита.

Дополнительно рассматриваются смешанные мотивы с заполнением тригональных и тетраэдрических пустот в структурах типа кальцита, арагонита, BCl_3 , Na_3As , ковеллина и домейкита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pauling L. // J. Am. Chem. Soc. 1929. V. 51. P. 1010.
2. Hawthorne F.C. Landmark papers: Structure topology. Miner. Soc. Great Britain and Ireland, 2006. 301 p.
3. Еремин Н.Н., Еремина Т.А., Марченко Е.И. Структурная химия и кристаллохимия: электронное издание сетевого распространения. Москва: «КДУ», «Добросвет», 2020. 492 с.

ЭШИНИТЫ СОСТАВА $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_6$: СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Желуницын И.А., Вотяков С.Л., Михайловская З.А.

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН

Керамики на основе соединений со структурой эшинита LnTaTiO_6 и LnNbTiO_6 привлекают внимание в связи с их диэлектрическими, оптическими, люминесцентными свойствами. В докладе рассмотрены вопросы синтеза, исследования особенностей структуры и свойств керамики состава NdTiNbO_6 и $\text{Nd}_{0.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Ti}_{0.95}\text{Nb}_{1.05}\text{O}_6$, полученных методом твердофазных реакций. Аттестация образцов выполнена с использованием данных сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, импедансной спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). Однофазные составы NdTiNbO_6 и $\text{Nd}_{0.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Ti}_{0.95}\text{Nb}_{1.05}\text{O}_6$, соответствующие эшинитовой структуре (орторомбическая сингония, пр. гр. PNMA), получены после отжига соответствующих полупродуктов при температуре 1350 °С в течении 80 ч (рис. 1а); согласно данным расчета в программе Cellref параметры a , b , c кристаллической решетки NdTiNbO_6 и $\text{Nd}_{0.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Ti}_{0.95}\text{Nb}_{1.05}\text{O}_6$ составляют 10.999 ± 0.006 ,

7.553 ± 0.004 , 5.374 ± 0.003 и 10.989 ± 0.006 , 7.506 ± 0.004 , 5.357 ± 0.003 Å, соответственно. Выполнены расчеты эмпирических кристаллохимических формул и проанализированы спектры КРС образцов NdTiNbO_6 и $\text{Nd}_{0.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Ti}_{0.95}\text{Nb}_{1.05}\text{O}_6$ (рис. 1б); корреляции между содержанием допанта Ca и положением (полушириной) линии КРС не установлено. Импедансные спектры получены на воздухе для температур $200 \div 900$ °С и частот $10^2 \div 10^6$ Гц в двухэлектродной ячейке с использованием платиновых электродов. Температурные зависимости проводимости сохраняют линейный характер до 300–350 °С; энергия активации проводимости на линейном участке составляет 0.40 и 0.42 эВ для NdTiNbO_6 и $\text{Nd}_{0.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Ti}_{0.95}\text{Nb}_{1.05}\text{O}_6$, соответственно.

Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН по темам № 123011800012-9 и 124020300057-6.

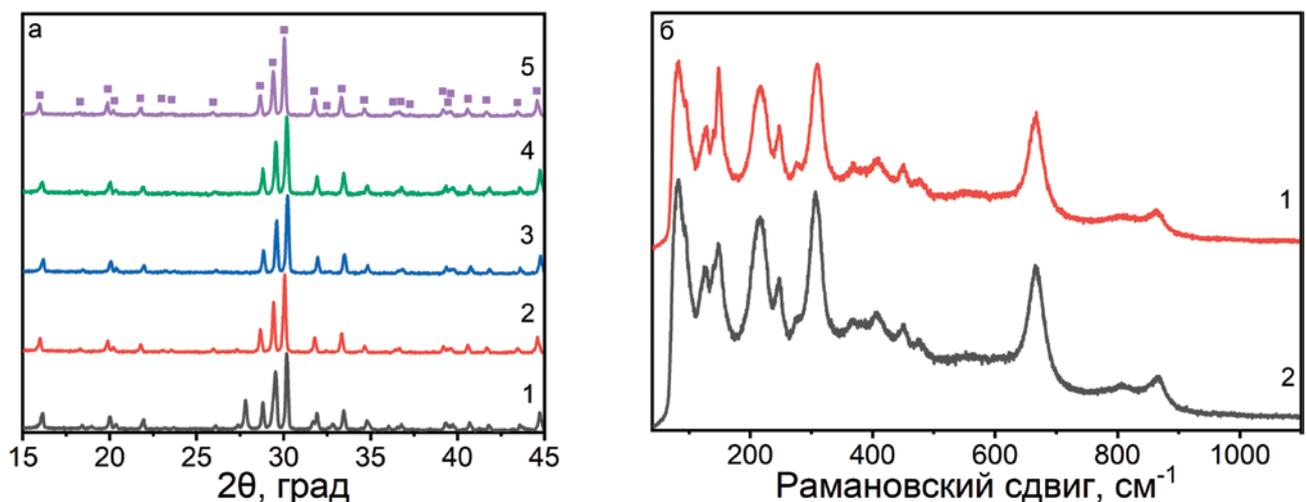


Рис. 1. Дифрактограммы керамики состава NdTiNbO_6 после отжига при 1350 °С в течении 24, 40, 56, 80 и 104 ч (1–5) (квадраты – эшинитовая фаза) (а); спектры КРС эшинита состава NdTiNbO_6 (1) и $\text{Nd}_{0.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Ti}_{0.95}\text{Nb}_{1.05}\text{O}_6$ (2) (б)

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УДАРНО-ПРЕОБРАЗОВАННОЙ РАСПЛАВНОЙ ПОРОДЫ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ ПО ДАННЫМ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИ

Желуницын И.А., Чебыкин Н.С., Замятин Д.А., Упорова Н.С.

Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН; tchebykinnikolai@yandex.ru

Материалы с высокими диэлектрическими характеристиками играют важную роль в микроэлектронике при разработке компонентов для хранения энергии высокой плотности и миниатюризации емкостных электронных элементов – актуален поиск новых соединений, в том числе среди природных материалов. В результате падения крупных метеоритов происходит плавление горных пород – в экстремальных уникальных условиях в больших объемах образуются специфичные фазы (силикатные стекла, высокобарические минералы и др.). Электрические свойства импактных пород кратера Кара ранее не исследовались детально.

Цель работы – характеристики электрических свойств расплавных пород Карского кратера методом импедансной спектроскопии.

Образец вторично-замещенной расплавной породы из кратера Кара был подготовлен в виде прямоугольного параллелепипеда размером 4.20 x 5.41 x 2.85 мм, после чего подвергся термическому отжигу при 400 °С. На рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000 измерен фазовый состав. С использованием термического анализатора Netzsch STA 449 F5, измерены термические свойства

до 1020 °С (скорость нагрева 20 °С). Импедансные спектры получены в режиме нагрева и охлаждения на воздухе при температуре 200–900 °С и частоте $1-5 \cdot 10^5$ Гц с использованием потенциостата Р-45Х (Elins) с модулем импеданса FRA-24М.

Расплавный образец состоит из плагиоклаза, КПШ и сапонита. Термический анализ свидетельствует о наличии аморфной фазы и ее кристаллизации при температуре ~297 °С. С ростом температуры и частоты действительная часть диэлектрической проницаемости падает и принимает постоянное значение в области частот от 10^3 до $10^{5.5}$ Гц. На частоте 10^5 Гц с ростом температуры действительная часть растет. Она сохраняет свое значение в пределах одного порядка в диапазоне температур вплоть до 800 °С. Для частоты 10^4 Гц проницаемость сохраняет свое значение до 550 °С. Значение мнимой части диэлектрической проницаемости также падает с ростом температуры. В высокочастотной области наблюдается плато и значение стремится к нулю.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН, темы № 123011800012-9 в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН.

О СИНТЕЗЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ: РОЛЬ УДАРНЫХ СОБЫТИЙ

Зайцев М.А., Герасимов М.В., Васильева А.С.

ИКИ РАН, Москва, Россия, mzaitsev@cosmos.ru

В туманности и ранней Солнечной системе существовало множество химических элементов и неорганических соединений, необходимых для синтеза органического вещества (ОВ), а также возможных источников готовой органики: межзвёздная среда, пылевые частицы и т.д. [Greenberg, Pironello, 1991; Pironello et al., 2003; Ehrenfreund, Sephton, 2006]. «Реликтовое» ОВ подверглось сложной трансформации под действием УФ-излучения, ударов, термального и водного метаморфизма на родительских телах т.д.

В результате ОВ метеоритов (в особенности – углистых хондритов, УХ) приобрело сложный состав и структуру, отражающую структуру внеземного вещества в целом [Ehrenfreund, Sephton, 2006]. Точное происхождение ОВ в метеоритах до сих пор не установлено. Основная форма ОВ в УХ – субмикронные и макромолекулярные включения. В соответствии со сходством макромолекулярных включений в УХ [Changela et al., 2013], и структур, полученных при лазерном моделировании высокоскоростных воздействий [Gerasimov et al., 1998], следует предполагать ударно-инициированное происхождение таких включений.

В экспериментах по импульсному лазерному испарению УХ различных типов [Zaitsev et al., 2018] мы отметили сходство структуры углеводородов в исходных метеоритах и в их конденсатах в случае, если лазерное испарение проводили в инертной газовой среде (гелии). Летучие органические соединения (ЛОС) в УХ могут быть результатом синтеза во время столкновений в космическом пространстве или на материнских телах в условиях инертной среды или вакуума, но не в плотном водородном (небулярном) облаке, т. к. лазерное испарение УХ в присутствии водородной газовой среды приводит

к образованию углеводородов совершенно иного состава. Несмотря на полное первоначальное разрушение ОВ при высокоскоростных ударах, последующий ударно-инициированный синтез в инертной среде приводит к такому же групповому составу некоторых ЛОС.

Таким образом, ударный метаморфизм мог способствовать воспроизведению и сохранению структуры органических соединений на протяжении «постнебулярной» истории Солнечной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Changela H.G., Cody G.D., Alexander C.M.O'D, Nittler L.R., Peeters Z., Gregorio B. T. De, and Stroud R.M. TEM study of insoluble organic matter in primitive chondrites: unusual textures associated with organic nanoglobules // In: 44th Lunar and Planetary Science Conference. The Woodlands, Texas. USA. 18–22 March, 2013. Abs. # 3101.
2. Ehrenfreund P, and Sephton M.A. Carbon molecules in space: from astrochemistry to astrobiology // Faraday Discussions. 2006. V. 133. P. 277–288.
3. Gerasimov M.V., Ivanov B.A., Yakovlev O.I., and Dikov Yu.P. Physics and chemistry of impacts // Earth, Moon, Planets. 1998. V. 80. P. 205–259.
4. Greenberg J.M., Pironello V. (eds.) Chemistry in Space, Kluwer Academic Publishers. 1991. 470 p.
5. Pironello V., Krelowski J., and Manicò G. (eds.) Solid State Astrochemistry. Kluwer Academic Publishers. 2003. 464 p.
6. Zaitsev M.A., Gerasimov M.V., Vasiljeva A.S., Korochantsev A.V., Ivanova M.A., Lorenz C.A. On the similarity of volatile organics patterns in meteorites and in impact induced vapor plume // In: 81st Annual Meeting of The Meteoritical Society. Moscow. Russia. 22–27 July, 2018. Abs. # 6208.

ФЕРГУСОНИТ ИЛЬМЕСКИХ ГОР (КОПЬ 298), ЮЖНЫЙ УРАЛ

Замятина Д.А., Булатов В.А., Замятин Д.А., Мандрыгина Д.А.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, d.zamyatina@gmail.com

Фергусонит описывается общей формулой ABO_4 , где в позицию A^{3+} входят Y, PЗЭ, Th, U, Ca, в позицию B^{5+} – Nb, Ta и Ti. Фергусонит как акцессорный минерал встречается в гранитах и в гранитных пегматитах, обогащенных редкоземельными элементами (PЗЭ) [Ercit, 2005, Gieré et al., 2009]. В большинстве случаев фергусонит встречается в метамиктном состоянии [Gieré et al., 2009; Ruschel et al., 2010]. Изменения в фергусоните, как и в других PЗЭ-Nb-Ta-Ti оксидах, могут выступать в качестве индикаторов низкотемпературных геохимических процессов во вмещающих их породах [Ruschel et al., 2010]. Целью настоящего исследования является рассмотрение особенностей текстуры и состава фергусонита-(Y) Ильменских гор из корундово-полевошпатовых пегматитов (копь 298), частично измененного в результате взаимодействия с низкотемпературным флюидом.

Исследование проводилось в ЦКП «Геоаналитик», г. Екатеринбург. Регистрация BSE-изображений проведена на СЭМ JEOL JSM-6390LV с ЭДС-приставкой Oxford INCA X-Max80. Химический состав минеральных фаз получен с помощью электронно-зондового микроанализатора Cameca SX100. Спектры комбинационного рассеяния (КР) получены на КР-спектрометре Horiba LabRam HR800.

Зерно фергусонита-(Y) имеет размер 1.5 мм и темно-бурый до черного цвет, содержит включения ишикаваита, апатита, ксенотима, Fe-колумбита и монацита. Последние три образуют обрастания фергусонита с радиальными трещинами. По данным анализа химического состава структурная позиция A^{3+} занята преимущественно Y (0.58–0.69 ф.е.) и PЗЭ (Σ 0.25–0.33 ф.е.), содержание U и Th достигает 0.01–0.06 ф.е., в позиции B^{5+} преобладает Nb (0.93–

0.97 ф.е.). В фергусоните проявляются измененные участки с низкой BSE-интенсивностью, ассоциированные с порами и границами минеральных включений. В сравнении с неизменным фергусонитом в них фиксируются пониженные содержания Y_2O_3 , повышенные SiO_2 , FeO, CaO, WO_3 , PbO и недостаток суммы до 6 мас.%. Подобные отклонения состава фергусонита описаны ранее и объясняются взаимодействием с флюидом [Ercit, 2005]. КР-спектры представлены широкой полосой около 795 см^{-1} , что указывает на значительное разупорядочение структуры под действием радиационного автооблучения. Радиационно-индуцированное увеличение объема фергусонита определило образование расходящихся радиальных трещин в колумбите и монаците, по которым проник флюид.

Благодарим Медведеву Е.В. за предоставленные образцы.

Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик» в рамках темы № 124020300057-6 государственного задания ИГГ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ercit T.S., Identification and alteration trends of granitic pegmatite-hosted (Y, REE, U, Th) – (Nb, Ta, Ti) oxide minerals: a statistical approach // *Can. Mineral.* 2005. V. 43. P. 1291–1303.
2. Gieré R., Williams C.T., Wirth R., Ruschel K. Metamict fergusonite-(Y) in a spessartine-bearing granitic pegmatite from Adamello, Italy // *Chem. Geol.* 2009, 261, 333–345.
3. Ruschel K., Nasdala L., Rhede D., Wirth R., Lengauer C.L., Libowitzky E. Chemical alteration patterns in metamict fergusonite // *Eur. J. Mineral.* 2010. V. 22. P. 425–433.

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ РЕЙДИТА – ВЫСОКОБАРИЧЕСКОЙ ПОЛИМОРФНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЦИРКОНА

Замятин Д.А., Мандрыгина Д.А., Давлетшина А.А., Михалевский Г.Б.

*Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН
zamyatin@igg.uran.ru*

Минерал циркон ($ZrSiO_4$) кристаллизуется в пространственной группе I41/amd, является важнейшим минералом-геохрометром и термобарометром импульсных процессов преобразования пород в результате ударного воздействия метеорита. При давлениях выше 8 ГПа в статических и 30 ГПа в динамических ударных условиях циркон приобретает в полиморфную модификацию со структурой шеелита (пр. гр. I41/a) – рейдит. Механизм преобразования циркона в рейдит носит дискуссионный характер – обсуждается диффузионный и реконструктивный (мартенситовый) механизмы фазового перехода; установлено, что дефектное состояние структуры циркона влияет на преобразование его в рейдит [Erickson et al., 2017]. Катодолюминесцентная (КЛ) спектроскопия позволяет получить данные о дефектах в минерале с субмикронной локальностью и отражает условия его образования; люминесценция рейдита исследована слабо. Настоящая работа посвящена детальному анализу катодолюминесцентных спектров рейдита и ассоциированного с ним циркона, их дефектности, напряжений и механизма фазового перехода.

В серии образцов рейдита и циркона из метеоритных кратеров и образцов после лабораторных ударных экспериментов получены спектры катодолюминесценции с использованием спектрометра Horiba H-CLUE iHR500, установленного на сканирующий электронный микроскоп Jeol JSM6390LV. КЛ-спектры циркона и рейдита представлены широкими полосами, обусловленными собственными дефектными центрами, и серией узких полос редкоземельных при-

месных элементов. Определены ширины отдельных штарковских линий I и II полосы люминесценции Dy^{3+} перехода ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$ в цирконе и рейдите, используемых для оценки степени метамиктности и доли аморфной фракции в цирконе [Lenz, Nasdala, 201; Lenz et al., 2020]. КЛ-спектры рейдита и ассоциированного циркона существенно отличаются по положению и интенсивности узких и широких полос, что объясняется изменением локальных характеристик дефектных примесных центров, а также типов и концентрации собственных дефектных центров. Люминесценция рейдита уменьшается относительно циркона за счет снижения яркости свечения собственных дефектных центров.

Работа выполнена в ЦКП УрО РАН «Геоаналитик» в рамках темы № 123011800012-9 и 124020300057-6 государственного задания ИГГ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Erickson T.M., Pearce M.A., Reddy S.M., Timms N.E., Cavosie A.J., Bourdet J., Rickard W.D.A., Nemchin A.A. Microstructural constraints on the mechanisms of the transformation to reidite in naturally shocked zircon // Contributions to Mineralogy and Petrology, 2017. V. 172. Iss. 1. N 6.
2. Lenz C., Nasdala L. A photoluminescence study of REE³⁺ emissions in radiation-damaged zircon // American Mineralogist, 2015. V.100. P. 1123–1133.
3. Lenz C., Belousova E., Lumpkin G.R. The In-Situ Quantification of Structural Radiation Damage in Zircon Using Laser-Induced Confocal Photoluminescence Spectroscopy // Minerals, 2020. V. 10. N 83.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ МОДУЛЯРНОЙ КРИСТАЛЛОХИМИИ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ ЧЕВКИНИТА

Зарубина Е.С.¹, Аксенов С.М.¹, Расцветаева Р.К.²

¹ ФИЦ Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия, aks.crys@gmail.com

² НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Группа чевкинита объединяет природные и синтетические моноклинные диортосиликаты или, точнее, оксосиликаты с Si_2O_7 -диортогруппами, имеющие общую кристаллохимическую формулу $A_4BC_2D_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_8$ [Macdonald et al., 2019; Аксенов и др. 2024], где A – REE^{3+} , Sr, Ca, с координационными числами от 8 до 10; B , C и D – катионы Ti, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Zr, Cr^{3+} , Mg, Nb, Mn^{2+} , Al, которые располагаются в октаэдрических позициях структуры. Основой их кристаллических структур является микропористый гетерополиэдрический квазикаркас, образованный двумя типами слоев – октаэдрическим слоем рутилового типа [$C_2D_2O_8$], из октаэдров, центрированных C - и D -катионами, и гетерополиэдрическим слоем [$B(\text{Si}_2\text{O}_7)$], из октаэдров и Si_2O_7 диортогрупп. Крупные каналы, располагающиеся в плоскости гетерополиэдрического слоя, заполнены A -катионами, которые компенсируют общий отрицательный заряд гетерополиэдрического квазикаркаса. В зависимости от особенностей объединения октаэдрического и гетерополиэдрического слоев в группе чевкинита выделяются структурные типы чевкинита и перрьерита, отличающиеся, в первую очередь, углом моноклинности ячеек.

В настоящее время группа чевкинита объединяет 12 самостоятельных минеральных видов. Кроме того, известны и синтетические аналоги этих минералов, которые характеризуются широкими вариациями химического состава и обладают рядом физическими свойствами, включая транспортные, диэлектрические и магнитные, что делает их перспективными материалами. Поскольку минералы группы чевкинита характеризуются модулярным строением [Ferraris et al., 2008; Аксенов и др. 2024], а также принадлежат к полисоматической серии с общей формулой $\{A_4B(T_2O_7)_2\}\{C_2D_2O_8\}_m$ ($m=1, 2$), в основе которой лежат модули рутилового типа [Wang, Hwu, 1992].

Выполненный нами кристаллохимический анализ структур представителей группы чевкинита в рамках формализма OD-теории [Ferraris et al., 2008; Аксенов и др. 2023] позволил объединить их в единое OD-семейство, выделить два структурных подсемейства, а также проанализировать симметрию гипотетических политипов [Аксенов и др. 2024].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ №20-77-10065-П.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.М., Зарубина Е.С., Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Филина М.И. Уточнение кристаллической структуры кристобалита-(Ce) и особенности модулярного строения полисоматической серии чевкинита $\{A_4B(T_2O_7)_2\}\{C_2D_2O_8\}_m$ ($m=1, 2$) // Литосфера. 2024. Т. 24. № 2. С. 264–283.
2. Аксенов С.М., Чаркин Д.О., Банару А.М., Банару Д.А., Волков С.Н., Дейнеко Д.В., Кузнецов А.Н., Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Шкурский Б.Б., Ямнова Н.А. Модулярность, политипия, топология и сложности кристаллических структур неорганических соединений: обзор // ЖСХ. 2023. Т. 64. № 10. Статья 117102 (С. 1–238).
3. Ferraris G., Makovicky E., Merlino S. Crystallography of Modular Materials. OUP. 2008.
4. Macdonald R., Bagiński B., Belkin H.E., Stachowicz M. Composition, Paragenesis, and Alteration of the Chevkinite Group of Minerals // Amer. Miner. 2019. V. 104. № 3. P. 348–369.
5. Wang S., Hwu S.J. Mixed-Valence Lanthanum Titanium (III/IV) Oxosilicate $\text{La}_4\text{Ti}_9\text{Si}_4\text{O}_{30}$. A Novel Perrierite-Related Compound, $\text{La}_4\text{Ti}(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{TiO}_2)_{4m}$ ($m=2$), with a Quasi-Two-Dimensional Rutile-Based Structure // J. Amer. Chem. Soc. 1992. V. 114. № 17. P. 6920–6922.

СПЕЦИФИКА СУЛЬФИДОВ ЖЕЛЕЗА В КОРИЧНЕВЫХ ЖИЛЬНЫХ РАСПЛАВНЫХ ТЕЛАХ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ

Зубов А.А., Шумилова Т.Г.

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; alexander.zubov.1994@gmail.com

Интерес к изучению расплавных импактитов вызван существенно большими температурами и давлениями, чем при классическом эндогенном формировании пород. При изучении импактитов Карской астроблемы особого внимания заслуживают обнаруженные жильные тела коричневого цвета, отличающиеся высокой степенью восстановленности и характерными сульфидами железа, что может иметь значение с точки зрения потенциального обнаружения вещества ударника [Зубов, Шумилова, 2023].

В данной работе приводятся результаты исследований сульфидов железа в коричневых жильных стеклах комплексом методов включая сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) с энергодисперсионной спектроскопией (ЭДС), дифракцию обратно рассеянных электронов, рентгеновскую дифрактометрию, рамановскую спектроскопию.

Сульфиды железа в коричневых жильных расплавных импактитах представлены несколькими разновидностями. Прежде всего следует отметить разновидность, представленную обломками, округлыми и вытянутыми выделениями размером порядка первых десятков микрометров в поперечнике, располагающимися во вмещающей алюмосиликатной стекловатой матрице, характеризуется соотношением Fe/S – 46/54 (ат. %), является пирротином. В качестве примеси в некоторых случаях встречается Co до 1 (ат. %) и Ni до 1 (ат. %).

Вторая разновидность с соотношением Fe/S ~ 50/50 (ат. %) относится к конечному члену группы пирротина – троилиту. Иногда в троилите присутствуют примеси Co и Ni до 1 (ат. %). Размер выделений троилита находится в пределах первых десятков микрометров, их форма в основном округлая, иногда вытянутая, реже обломочная. В некоторых случаях троилит по данным СЭМ и точечных анализов ЭДС содержит включения, которые, вероятно,

можно отнести к никелистому железу с примесью Co и Cu. Точный анализ состава данных включений пока неоднозначен ввиду их субмикронных размеров и существенного влияния вмещающей матрицы троилита на определение элементного состава.

Встречаются также более сложные сульфиды железа составов (ат. %): Fe – 69.86, S – 17.79, Co – 1.46, Ni – 9.16, As – 1.73; Fe – 55.77, S – 4.18, Co – 3.23, Ni – 32.59, Cu – 1.25, As – 2.99; Fe – 36.79, S – 42.74, Ni – 13.16, Pb – 7.3; Fe – 26.36, S – 33.72, Ni – 17.91, As – 21.82, Sb – 0.2; Fe – 41.33, S – 7.99, Ni – 34.34, As – 16.34.

Кроме того, в анализируемых жильных телах встречается пирит, который пространственно относится к периферической части жильных тел, выполняет тонкие трещины и не представляет существенного интереса, поскольку является постимпактным.

Полученные данные о присутствующих в жильном коричневом стекле обломочного троилита и возможного никелистого железа могут указывать на их генезис, связанный с веществом ударника. Обнаруженные сульфиды железа с мышьяком представляют особый интерес и являются предметом дальнейших исследований.

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении аналитических исследований С.И. Исаенко, Е.М. Тропникову, Б.А. Макееву. В работе использовано научное оборудование ЦКП «Геонаука». Работа выполнена в рамках темы НИР ГР № 122040600009-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубов А.А., Шумилова Т.Г. Особенности коричневых жильных расплавных импактитов с троилитом (Карская астроблема) // Современные проблемы геохимии – 2023: Материалы конференции молодых ученых (Иркутск, 11–16 сентября 2023 г.). – 167 с.

ЦИРКОН ВАІ-2023 ИЗ РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ГРАНИТОВ РАПАКИВИ ПРИМОРСКОГО КОМПЛЕКСА, ЗАПАДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ: ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ ДЛЯ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Иванов А.В.¹, Ефремова У.С.¹, Брянский Н.В.¹, Каримов А.А.¹, Михеева Е.А.¹, Демонтерова Е.И.¹, Гладкочуб Е.А.¹, Дубенский А.С.², Ерофеева К.Г.², Хубанов В.Б.³, Семенова Д.В.⁴, Карпов А.В.⁴, Родионов Н.В.⁵, Лепехина Е.Н.⁵, Ларионов А.Н.⁵, Вотяков С.Л.⁶, Червяковская М.В.⁶, Червяковский В.С.⁶, Панкрушина Е.А.⁶, Булатов В.А.⁶, Чебыкин Н.С.⁶, Мандрыгина Д.А.⁶

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, aivanov@crust.irk.ru

² Геологический институт РАН, Москва, Россия, alexchem206@gmail.com

³ Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, khubanov@mail.ru

⁴ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, semenovadina@gmail.com

⁵ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия, Nickolay_Rodionov@karpinskyinstitute.ru

⁶ Институт геологии и геохимии им. Акад. А.Н. Заварицкого УРО РАН, Екатеринбург, Россия, vsl.yndx@yandex.ru

U-Pb датирование локальными методами для корректного учета U/Pb фракционирования в ходе анализа требует наличия стандартов аналогичной матрицы, что и датируемый минерал. При этом желательна наличие таких стандартов в максимально широком диапазоне составов и возрастов. При этом, для циркона все используемые в мире стандарты имеют возраст не древнее ~1 млрд лет, что накладывает определенные ограничения на правильность определения возраста, в первую очередь, раннепротерозойских и архейских образований.

К минералам-стандартам обычно предъявляется три основных требования – для них надежно установлен возраст, они являются однородными и доступны в достаточном количестве для повторного анализа в большом числе лабораторий. Циркон из гранитов рапакиви Приморского комплекса (Западное Прибайкалье) потенциально соответствует этим требованиям. Он в значимом объеме присутствует в песке уникальной бухты Песчаная оз. Байкал, который состоит

исключительно из продуктов разрушения гранитов рапакиви Приморского комплекса, подавляющее число точек, проанализированных в этом цирконе локальными методами (LA-ICP-MS и SHRIMP), находится на конкордии в согласии с опубликованной ID-TIMS датировкой 1859 ± 16 млн лет [Донская и др., 2003]. В докладе будет дана характеристика циркона ВАІ-2023, отобранного в бухте Песчаная и приведены результаты его U-Pb датирования, полученные в шести лабораториях. Причем в пяти из них датирование осуществлялось «вслепую».

ЛИТЕРАТУРА

1. Донская Т.В., Бибикова Е.В., Мазукабзов А.М., Козаков И.К., Гладкочуб Д.П., Кириозова Т.И., Плоткина Ю.В., Резницкий Л.З. Приморский комплекс гранитоидов Западного Прибайкалья: геохронология, геодинамическая типизация // Геология и геофизика. 2003. Т.44(10). С. 1006–1016.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И КОНЦЕНТРАТАХ

Игошева В.С.^{1,2}, Грошкин Н.Н.³, Малышев А.И.¹, Киселева Д.В.^{1,2}

¹ *Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, igosheva.v.s@ya.ru*

² *Уральский Федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия*

³ *ПАО «Русолово», Москва, Россия*

Широкое применение драгоценных металлов в различных областях науки и техники предопределяет высокий спрос на их добычу и переработку. Геологи и технологи нуждаются в правильном, точном и экспрессном определении золота и серебра в горных породах, а также продуктах их обогащения. При этом матрица изучаемого образца может изменяться по ходу технологического процесса (контролировать общее содержание металла необходимо на каждом этапе), как и форма нахождения определяемого элемента. Начальный объект – золото- и серебросодержащая горная порода также является сложной составной системой, при воздействии на которую различными факторами изменяется химический состав и форма нахождения драгоценных металлов в объекте. Объектами анализа в данной работе являлись 3 образца, представляющих Гайское месторождение, карьер № 3 (Оренбургская область) и 7 образцов, являющихся продуктами переработки и дообогащения руды Куларского золотоносной района (Саха, Якутия).

Ввиду необходимости определения общего содержания золота в породах и концентратах в качестве метода окисления серы, селена и углерода нами было выбрано кислотное озоление в смеси азотной кислоты и перекиси водорода в системе HotBlock при нагревании. Дальнейшую пробоподготовку было решено производить с использованием этого же оборудования при варьировании температур конкретных стадий вскрытия. Общими для двух типов образцов являлись 2 этапа: отгонка кремния в виде тетрафторида при использовании плавиковой кислоты (150 °С) и выщелачивание драгоценных металлов в царской водке (100 °С в течение часа и 70 °С в течение 24 часов). Образцы руд Гайского месторождения были отогнаны до влажных

солей и подвергнуты обработке соляной кислотой 1 : 1 (90 °С) для перевода серебра в растворимый хлоридный комплекс. После чего они были переведены мерные колбы (50 см³) и доведены до метки раствором этой же кислоты. Образцы руд Куларского месторождения после отгонки до влажных солей были обработаны 1 М соляной кислотой и переведены в мерные колбы. ЭТААС определение было выполнено с использованием метода добавок.

Определение золота методом МП-АЭС было выполнено Грошкиным Н.Н. (ПАО «Русолово»). Для этого пробы были предварительно высушены в сушильном шкафу, осреднены и дополнительно перетерты в агатовой ступке. Вскрытие осуществлялось в системе микроволновой пробоподготовки МС-10 с использованием двадцатикратного избытка царской водки. Последующее разбавление образцов производилось водным раствором, содержащим 2% царской водки. Полученные растворы с осадком были отфильтрованы через фильтр «синяя лента» и готовы к определению золота. Рабочие растворы были получены после разбавления. Градуировочная зависимость построена с использованием модельных растворов, содержащих основные матричные компоненты.

Нами получены содержания золота и серебра, согласующиеся как с литературными, так и с данными межлабораторных испытаний для образцов Гайского месторождения. Для образцов Куларского месторождения имеет место большая вариативность полученных данных межлабораторных сличений, что связано в первую очередь с неоднородностью проб, более сложным геохимическим составом, а также различными методами элементного анализа.

Работа выполнена в рамках г/б темы № 123011800012-9 ИГГ УрО РАН.

К ВОПРОСУ О СИММЕТРИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ КАТИОНОВ В ШЮЛЛЕРИТЕ $Ba_2Na(Mn,Ca)(Fe^{3+},Mg,Fe^{2+})_2Ti_2(Si_2O_7)_2(O,F)_4$

Ильин Г.С.¹, Чуканов Н.В.², Расцветаева Р.К.³, Аксенов С.М.¹

¹ Лаборатория арктической минералогии и материаловедения,

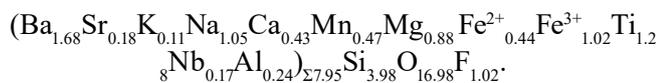
ФИЦ Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия, g.ilin@ksc.ru

² ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН, Черногловка, Россия

³ Курчатовский комплекс кристаллографии и фотоники НИЦ Курчатовский институт, Москва, Россия

Минерал шюллерит открыт в составе позднего парагенезиса в миароловых пустотах в щелочных базальтах действующего карьера Лёлай (горный регион Айфель, Германия) [Чуканов и др., 2011]. Согласно современной минералогической номенклатуре шюллерит входит в надгруппу сейдозерита [Sokolova, Cámara, 2017], которая объединяет представителей структурного семейства гетерофиллосиликатов.

В настоящее время вопрос о симметрии шюллерита является дискуссионным [Расцветаева и др., 2011, 2014; Sokolova et al., 2013], поэтому нами был повторно изучен голотипный образец с эмпирической формулой:



Рентгеноструктурные исследования выполнены с использованием монокристалльного дифрактометра Rigaku XtaLAB Synergy-S (MoK α -излучение). Параметры триклинной элементарной ячейки: $a = 5.4055(3) \text{ \AA}$, $b = 7.0558(3) \text{ \AA}$, $c = 10.1945(6) \text{ \AA}$, $\alpha = 99.838(4)^\circ$, $\beta = 99.715(5)^\circ$, $\gamma = 90.065(4)^\circ$; $V = 377.43(4) \text{ \AA}^3$.

Поскольку наличие или отсутствие центра симметрии может быть установлено лишь косвенно на основе статистики Вильсона, кристаллическая структура шюллерита была уточнена в рамках двух пр. гр. – ацентричной $P1$ ($R = 4.42\%$) и centrosymmetric P ($R = 4.51\%$). Установленное в результате уточнения распределение катионов (выполнено на основании кристаллохимических критериев, с учетом рассеивающей способности каждой позиции) наиболее полно соответствует ацентричной модели

с пр. гр. $P1$, что находится в согласии с ранее опубликованными данными [Расцветаева и др., 2011, 2014].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №20-77-10065-П.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расцветаева Р.К., Аксенов С.М., Чуканов Н.В. Кристаллическая структура шюллерита – нового минерала семейства гетерофиллосиликатов // ДАН. 2011. Т. 437. № 4. С. 499–503.
2. Расцветаева Р.К., Аксенов С.М., Чуканов Н.В., Лыкова И.С., Верин И.А. Высокожелезистый шюллерит из Каленберга (Айфель, Германия): Кристаллическая структура и взаимоотношения с минералами группы лампрофиллита // Кристаллография. 2014. Т. 59. № 6. С. 955–961.
3. Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Бритвин Н.С., Вирюс А.А., Белаковский Д.И., Пеков И.В., Аксенов С.М., Тернес Б. Шюллерит $Ba_2Na(Mn,Ca)(Fe^{3+},Mg,Fe^{2+})_2Ti_2(Si_2O_7)_2(O,F)_4$ – новый минерал из вулканического района Айфель, Германия // Зап. РМО. 2011. Т. 140. № 1. С. 67–75.
4. Sokolova E., Cámara F. The seidozerite supergroup of TS-block minerals: nomenclature and classification, with change of the following names: rinkite to rinkite-(Ce), mosandrite to mosandrite-(Ce), hainite to hainite-(Y) and innelite-1T to innelite-1A // Miner. Mag. 2017. V. 81(6). P. 1457–1484.
5. Sokolova E., Hawthorne F.C., Abdu Y.A. From structure topology to chemical composition. XV. Titanium silicates: revision of the crystal structure and chemical formula of schüllerite, $Na_2Ba_2Mg_2Ti_2(Si_2O_7)_2O_2F_2$, from the Eifel volcanic region, Germany // Can. Miner. 2013. 51. P. 715–725.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КРИСТАЛЛОХИМИЯ СЛОЖНЫХ СЛОИСТЫХ СИЛИКАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД МУРУНСКОГО МАССИВА

Канева Е.В.¹, Lacalamita M.², Mesto E.², Schingaro E.², Шендрик Р.Ю.¹

¹Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия, kev604@mail.ru

²University of Bari Aldo Moro, Bari, Italy

За последние десять лет были проведены исследования ряда образцов редких силикатов из ультращелочных пород Мурунского массива [Kaneva et al., 2020, 2021, 2023 и др.]. В ряде случаев в более ранней литературе отсутствовали детальные кристаллохимические и высокотемпературные исследования.

В докладе сообщаются результаты изучения термического поведения сложных слоистых силикатов федорита $\text{Na}_{2.5}(\text{Ca}_{4.5}\text{Na}_{2.5})[\text{Si}_{16}\text{O}_{38}\text{F}_2 \cdot 2.8\text{H}_2\text{O}]$ и фторкарлтонита $\text{KNa}_4\text{Ca}_4[\text{Si}_8\text{O}_{18}](\text{CO}_3)_4(\text{F},\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$. В частности, для исследования обоих минералов использовалась комбинация термического анализа, высокотемпературной монокристаллической рентгеновской дифракции *in situ* и высокотемпературной инфракрасной спектроскопии *ex situ*.

В случае федорита все используемые аналитические методы подтверждают непрерывное протекание процесса дегидратации до температуры около 600 °С, в то время как термический анализ указывает на полную потерю H_2O при 650–700 °С. Высвобождение атомов F происходит при температурах свыше 700 °С, а разрушение структуры – около 1000 °С. Структурный анализ показывает, что при нагревании до 600 °С происходит тепловое расширение, преимущественно увеличиваются параметры элементарной ячейки *a* и *b*, а параметр *c* уменьшается из-за частичной дегидратации.

В диапазоне температур 150–550 °С наблюдается непрерывное увеличение объема элементарной ячейки фторкарлтонита при одновременно протекающем процессе дегидратации минерала. При 550 °С была зафиксирована потеря примерно 40% воды. Частично дегидратированный образец демонстриру-

ет увеличение расстояний между атомами кислорода молекул H_2O (O11w и O12w) и связанными с ними октаэдрически координированными катионами (Na1 и Na2 соответственно), а также искажение четырех- и шестичленных тетраэдрических колец сдвоенного силикатного слоя. Процесс дегидратации в основном затрагивает кислород в позиции O11w, который имеет отличительное локальное окружение по сравнению с кислородом в положении O12w. При $T > 600$ °С полная дегидратация сопровождается депротонированием групп OH, замещающих атомы F, и последующим разрушением структуры с выделением CO_2 .

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 22-77-10036.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kaneva E., Bogdanov A., Radomskaya T., Belozeroва O., Shendrik R. Crystal-chemical characterisation and spectroscopy of fluorcarletonite and carletonite // *Min. Mag.* 2023. Vol. 87(3). P. 356–368.
2. Kaneva E.V., Shendrik R.Yu., Radomskaya T.A., Suvorova L.F. Fedorite from Murun alkaline complex (Russia): spectroscopy and crystal chemical features // *Minerals*. 2020. Vol. 10. P. 702.
3. Kaneva E.V., Shendrik R.Y., Vladykin N.V., Radomskaya T.A. Crystal-chemical features of rare and complex silicates from charoite rocks of the Malyy Murun volcano-plutonic alkaline complex / In: Vladykin N.V. (ed) *Alkaline rocks, kimberlites and carbonatites: geochemistry and genesis*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. 2021. P. 115–129.

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ САРЫЧЕКУ (ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

Каримова Ф.Б., Джуманиязов Д.И.

*Институт геологии и геофизики им.Х.М.Абдуллаева, Ташкент,
Узбекистан, karimova.ingeo@mail.ru; denisbey@list.ru*

Сарычеку является одним из важных медно-порфировых месторождений в Узбекистане наряду с Кальмакыром и Ёшлик (Дальним) [Karimova et al., 2023]. Из пород современной донной части карьеров месторождения Сарычеку авторами изучены и проанализированы силикатными, химическими, масс-спектрометрическими (ICP-MS-7500 Series Agilent Technologies (Япония)) методами габбро-диориты, гранодиориты, граниты, монцогаббро, монцодиориты, кварцевые монцониты, монцониты.

Большая часть образцов, отобранных из основания карьера месторождения Сарычеку, представлены диоритами и гранодиоритами известково-щелочного ряда. Субщелочная ассоциация пород характеризуются гомодромным рядом монцонитоидов: монцогаббро-монцодиорит (сиенодиорит) – монцонит-кварцевый монцонит. На классификационной диаграмме $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ в поле монцонитов и кварцевых монцонитов разместились также силикатные анализы сиенит-порфиров и трахитов. Последний тип пород выделяется тем, что на фоне стекловатой и тонкозернистой основной массы отчетливо выражены таблитчатые кристаллы плагиоклаза и оплавленные изометричные (гороховидные) зерна кварца. Порода определяется как кварцсодержащий трахит.

В породах месторождения Сарычеку как следствие широкого развития кварц-полевошпатового метасоматоза выражено постоянное преобладание калия над натрием. Наблюдается сближенность количества окисного и закисного железа. Содержания магнетита и ильменита также близкие с небольшим преобладанием количества магнетита. По сумме этих минералов породы представляются как специализированные на железо и титан. Особого внимания заслуживают результаты масс-спектрометрического анализа эссексита, в которых элементы группы железа содержатся

в пределах 2–3 кларков. Высокие содержания в этих породах, кроме железа и марганца, хрома, кобальта, никеля, ванадия указывают на глубинный источник их расплава. На площадном уровне наблюдается зараженность пород основания карьера Сарычеку ураном, молибденом, вольфрамом, рением, медью, цинком, свинцом, висмутом, мышьяком, селеном, сурьмой, теллуrom, платиной, золотом и серебром. Из распределения редкоземельных элементов видно, что породам свойственно наличие европиевого минимума, что характеризует их как продукты явлений дифференциации, возможно, основной магмы.

В заключение представляется необходимым отметить, что составы и петрохимические характеристики рудоносных плутонов связаны с составом субстрата вулканоплутонических поясов, чем и определяется возможность внутрикорового происхождения соответствующих магматических расплавов [Кривцов и др., 2001]. Генерация таких выплавов связывается с тепловыми потоками над зонами субдукции, с существованием горячих мантийных точек, с воздействием на коровый материал продвигающихся базальтоидных магматических масс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривцов А.И., Звездов В.С., Мигачёв И.Ф., Минаина О.В. Меднопорфировые месторождения. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов. Под редакцией А.И. Кривцова. – М.: ЦНИГРИ, 2001. 232 с.
2. Karimova F.B., Jumaniyazov D.I., Tevelev A.V. Probable Mineralization of Rocks of the Kalmakyr Deposit, Almalyk District, Central Tien-Shan // Moscow University Geology Bulletin. 2023. V. 78(3). P. 349–354.

БИОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СТРОНЦИЙЗАМЕЩЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА**Карпова А.И., Голованова О.А.***Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского. Омск, Россия, golovanoa2000@mail.ru*

Благодаря сходству синтетического гидроксиапатита с костным минеральным матриксом по химическому составу, его обширно используют в качестве заменителя костной ткани, что проявляется высокой остеоинтегративной способностью, биосовместимостью и остеокондуктивностью.

Среди различных бионеорганических ионов стронций (Sr) привлек значительное внимание исследователей в последние десять лет. Известно, что Sr является микроэлементом в организме человека и играет важную роль в метаболизме костной ткани. Он способствует остеогенезу и может смешиваться с гидроксиапатитом (ГА) посредством поверхностного обмена или ионного замещения, что приводит к увеличению содержания минералов в костях и плотности костей, что улучшает регенерацию и восстановление костей.

Стронций способен увеличивать объем костной ткани и предотвращать потерю костной массы, поэтому Sr становится все более популярным в профилактике и лечении остеопороза. Sr связан с улучшением постменопаузального остеопороза за счет уменьшения резорбции и увеличения образования кости с возможным эффектом снижения риска переломов. Применение заменителей кости на основе фосфата кальция (CaP) играет важную роль в регенерации периодонта, имплантации зубов и реконструкции альвеолярной кости. Включение стронция (Sr) в заменители кости на основе CaP, по-видимому, улучшает их биологические свойства, но сообщаемые результаты восстановления кости *in vivo* не соответствуют исследованиям. Добавление Sr²⁺ снижает цитотоксическое действие ионов серебра, а также улучшает свойства НА в отношении пролиферации и дифференцировки клеток.

Синтез композита Sr-гидроксиапатит/хитозан проводили в присутствии хитозана методом осаждения из водных растворов при комнатной температуре. Готовили два раствора объемом 500 мл. Первый раствор состоял из эквимолекулярного количества раствора диаммонийфосфата. Второй раствор содержал ионы стронция и кальция в соотношении 9 : 1. В качестве исходных веществ были взяты нитрат стронция, нитрат кальция и диаммонийфосфат. Навеску хитозана массой 0.16 г добавляли в колбу с (NH₄)₂ HPO₄. После смешения растворов добавляли 10 мл 25%-ного водного раствора NH₄ OH и выравнивали pH системы до 12±0.05 при помощи 20% раствора NaOH.

Состав синтезированных композитов на основе Sr-ГА и хитозана постоянен, наличие функциональных групп ГА и хитозана подтверждено методом ИК-спектроскопии, присутствие фаз ГА и хитозана установлено методом РФА. Все композиты имеют идентичную морфологию, кристаллизуются в виде кристаллитов определенной формы. Средний размер кристаллита Sr-ГА/хитозан уменьшается с увеличением концентрации иона стронция в исходном растворе.

С увеличением температуры прокаливания масса всех композитов уменьшается. Начальные скорости растворения полученных композитов уменьшает резорбцию Sr-ГА/хитозан по сравнению с немодифицированным ГА/хитозан.

Таким образом, для использования композитов в качестве материалов с высокой биodeградацией, лучше использовать композит Sr-ГА/хитозан с минимальным содержанием иона стронция – 0.9 г/л.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023).

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗБРАННЫХ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

Карташова А.П.¹, Ефремов В.В.², Попова О.П.²

¹Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия, akartashova@inasan.ru

²Институт динамики геосфер Российской академии наук им. М.А. Садовского, Москва, Россия

Одной из задач метеорных наблюдений, проводимых нами, является изучение метеорных потоков как структурных элементов мигрирующего вещества Солнечной системы.

Метеорные потоки не являются стабильными по численности. Крупные частицы долго сохраняются на своих начальных орбитах, тогда как более мелкие быстро дрейфуют под действием негравитационных эффектов [Рябова, 1989; Pittich, Klacka, 1996; Ceplecha и др., 1998]. Поэтому при исследовании стабильной части потока следует принимать во внимание только те частицы, орбиты которых длительное время принадлежат ансамблю орбит потока. Слабые метеоры (образуемые мелкими частицами) могут быть исключены из рассмотрения как образующие нестабильную фракцию. С точки зрения метеорной опасности мелкие частицы, если их кинетическая энергия недостаточна для повреждения космических аппаратов (то есть эти частицы вызывают только эрозию их поверхности), также могут не приниматься во внимание.

Для получения статистической достоверности проводимых исследований крайне интересно изучать обильные метеорные потоки, поскольку массив из большого числа наблюдаемых метеоров может позволить выявить главные характеристики потока, а также особенности потока.

В работе использовались как собственные базисные наблюдения, так и наблюдения доступные в Интернет, например, Глобальной Метеорной Сети (GMN) (<https://globalmeteornetwork.org/>).

Одним из параметров, который используется для оценки свойств потоков, является Индекс масс (s). Представлен анализ индекса масс для избранных метеорных потоков Персеид, Орионид (2019–2022) и Геминид (2018). Для каждого потока рассчитан индекс масс по фотометрической массе и по массе, которая получена по эмпирической зависимости (от максимальной абсолютной звездной величины, угла и скорости входа метеороида).

Было рассмотрено распределение активности исследуемых потоков. Для этого мы использовали Индекс метеорной активности [Kartashova, 2011] и ZHR [Brown, 1990].

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябова Г.О. Влияние вековых возмущений и эффекта Пойнтинга-Робертсона на структуру метеорного потока Геминид // *Астрономический вестник*. 1989. Т. 23. № 3. С. 254–264.
2. Brown P. On the Cause and Nature of error in Zenithal Hourly Rates // *WGN*. 1990. V. 18. P. 141–145.
3. Ceplecha Z., Borovicka J., Elford W.G., Revelle D.O., Hawkes R.L., Porubcan V., Simek M. Meteor phenomena and bodies // *Space Science Reviews*. 1998. V. 84. P. 327–471.
4. Kartashova A. Determination of meteor influx (Index of meteors activity) for August – December 2006 // *Proceedings of IMC-2010*. 2011. P. 32–36.
5. Pittich E.M., Klacka J. On the importance of the Poynting-Robertson effect of meteoroids // *Earth, Moon and Planet*. 1996. V. 72. P. 333–338.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР ГИДРОКСИАПАТИТА

Киселев В.М., Голованова О.А.

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия, golovanoa2000@mail.ru

В настоящее время мировой спрос, например, на ортопедические имплантаты превышает 6 миллионов единиц в год и продолжает увеличиваться. Известно, что кость человека является композиционным материалом, неорганическая часть которого образована фосфатами кальция (ФК), преимущественно в форме гидроксиапатита (ГА) нестехиометрического состава. Данный факт обуславливает интерес изучения и возможность применения в биомедицинских целях материалов на основе ГА, имеющих сходство с химическим составом костной и зубной ткани и высокую биосовместимость. К ним относятся синтетические ФК с различным соотношением Са/P, в том числе модифицированные образцы, полученные в результате катионных и анионных замещений, а также смеси с другими компонентами (брушит, кальцит) и кальцийфосфатные покрытия на металлах и композитах. Несовершенство современных биоматериалов и методов их исследований обуславливает перспективы разработки новых компонентов, а также переход к альтернативным экспресс-методам в условиях большого количества экспериментов, контролируемых параметров и синтезируемых образцов.

С целью получения данных о структуре и свойствах изучаемых объектов в последние годы развиваются методы с применением инструмента морфологического анализа, дополненного алгоритмами математической обработки данных в рамках фрактального анализа (ФА). Основным его достоинством является возможность исследования образцов без их разрушения, а также высокая чувствительность даже к незначительному изменению свойств. Область сфер и объектов исследования для данного метода не ограничена, в исследовательских работах регулярно предлагаются новые способы применения.

Таким образом, установлено, что присутствие органических и неорганических добавок при син-

тезе ГА оказывает влияние на состав, структуру и морфологию кристаллов получаемого соединения, о чем свидетельствует корреляция концентрации добавок и времени созревания осадка с морфологической размерностью. Результаты анализа, представленные в виде D - pC - τ диаграмм, позволяют судить об обратной пропорциональной зависимости между временем кристаллизации и величиной морфологической размерности структур ГА, вне зависимости от природы добавки.

Полученные результаты подтверждают возможность применения морфологического анализа для установления закономерностей формирования материалов на основе ГА и выполнения экспресс-оценки их свойств (состав, морфология, степень кристалличности, природа и концентрация примесей).

Определены физико-химические закономерности фазообразования фосфатов кальция в присутствии добавок. Установлены зависимости морфологической размерности (D) структур от времени кристаллизации (τ): обратно пропорциональная для гидроксиапатита ($D = 1.90 \rightarrow 1.25$).

Экспериментально определены условия синтеза фосфатов кальция для формирования устойчивых геометрических структур в высыхающей капле и снижения погрешности метода морфологического анализа: концентрации исходных веществ $C_M = 0.02 \div 0.07$ моль/л, $pH = 12.0$ (синтез $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$); $pH = 5.5$ (синтез $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$).

Выявлены ограничивающие факторы для применения метода (формирование стохастических фракталов, соосаждение кристаллов различных морфологических типов).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023).

ЧЕРНЫЙ НЕФРИТ КАВОКТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Кислов Е.В.

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, evg-kislov@ya.ru

Работа посвящена выяснению причины окраски впервые выявленного серого и черного аподолитового нефрита Кавоктинского месторождения в Витимской провинции. Серые и черные цвета нефрита на этом месторождении не описаны, хотя такой нефрит используется ООО «Ориентал Вэй».

Из юго-восточной части месторождения изучены образцы керна: 2 из залежи 17 и 1 из залежи 28 нефритоносной зоны № 4 участка Медвежий, 8 из залежи 6-1 участка Левобережный. Для образца 596803 характерны полосы, пятна как белого, так и серого цвета. Образец 565901 неоднородного светло-зеленого цвета с субпараллельными извилистыми черными прожилками. Для остальных образцов характерен общий белый фон с черными прожилками, точками, зернами либо неоднородный серый цвет.

В образце 596803 диопсид формирует мономинеральные тонкозернистые белые прослои. Хлорит образует прослои, интерстиции между кристаллами диопсида. Графит обнаружен во всех образцах, кроме 596803, образует уплощенные кристаллы, удлиненные, прожилкообразные зерна, включения в диопсиде, кварце, содержит включения кальцита. Для нефрита характерны изометричные или корродированные зерна диопсида, кварц, кальцит, фторапатит в ассоциации с графитом.

Для образца 585901, содержащего 0.50 вес. % С, после протравливания кислотой для удаления кальцита, получен изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ -14.2 ‰. Образцы керна доломитового мрамора ДН-1083-35,1 и ДН-10466-41,85, отобранные в районе участка Медвежий, показали состав $\delta^{13}\text{C}$ +3.2‰ и +5.2‰.

Серая окраска образца 596803 объясняется агрегатами хлорита, заместившего тремолит при метаморфизме. Серый до черного цвет остальных

образцов объясняется примесью графита. Графит образовался как в результате метаморфизма органики растительного происхождения, образовывавшей примесь в доломите, так и в процессе разложения глубинным водородом углекислоты, выделявшейся при декарбонатизации доломита.

Из северо-западной части месторождения изучено 16 образцов керна из 1 залежи участка Прозрачный. В тремолите 12 образцов различной окраски FeO не обнаружено. В двух серовато-светло-зеленых 0–4.64 вес. %, серовато-зеленом – 0.78–1.24 вес. %. В образце 916202 выявлен переход от грязно-зеленого до черного цвета, содержание FeO в тремолите – 0.82–3.91 вес. %, в черной части до 14.23 вес. %, что отвечает актинолиту. Только в этом образце обнаружены титанит и хроммагнетит. Черная окраска нефрита в образце 916202 первой залежи участка Прозрачный объясняется высоким содержанием Fe из-за близкого контакта с эпидот-тремолитовым скарном по амфиболиту.

Таким образом, причины черной окраски нефрита различны: включения графита или хлорита, либо повышенное содержание железа в тремолите до актинолита.

Автор признателен за предоставленные материалы АО «Забайкальское горнорудное предприятие», персонально А.П. Суздальницкому, С.А. Халтанову, Е.В. Раевской, Д.Б. Шаракишиновой, за выполнение анализов – И.Ю. Котовой, Е.А. Хромовой и Е.В. Ходыревой, за помощь – В.В. Вантееву, Д.М. Вурмсу и А.В. Трофимову.

Анализы выполнены за счет гранта РНФ № 22-27-20003 с использованием оборудования ЦКП «Геоспектр» ГИИ СО РАН (Улан-Удэ). Тезисы и доклад подготовлены в рамках темы НИР АААА-А21-121011390003-9.

ОСОБЕННОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ СЛОЖНОГО СОСТАВА МЕТОДАМИ ЭДС И ВДС НА БАЗЕ РЭМ

Козлов В.В.

ООО Инскан, Москва, Россия, v.kozlov@oxinst.ru

Разработаны методические рекомендации по количественному анализу ряда минералов сложного состава – блеклые руды, теллуриды, селениды и сульфотеллуриды золота, палладия, серебра, висмута, олова и др. с использованием нескольких систем Oxford Instruments AZtecLive, с энергодисперсионными (ЭДС) детекторами UltimMax 100 и X-Max 80, а также волнодисперсионными спектрометрами (ВДС) Wave 500, установленными микроскопах Tescan Mira и Lyra с катодами Шоттки.

Для ЭДС анализа как стандартов, так и образцов использовались представительные спектры с суммарным числом импульсов от 2 до 5 миллионов и более. Для определения микроэлементов и контроля полученных данных параллельно с ЭДС использовали ВДС. Ускоряющее напряжение составляло 20 кэВ для относительно крупных выделений минералов (>10 мкм), тогда для анализа микровключений размером менее 10 мкм – для устранения или снижения влияния других минералов в сростаниях на спектр исследуемого минерала – использовалось напряжение 10 кэВ. Ток зонда 1–3 нА для ЭДС, 20–25 нА для комбинированного ЭДС-ВДС анализа. В качестве калибровочных эталонов использовались чистые элементы (>99.9%) Au, Ag, Bi, C, Fe, Sb, Sn, Ti, синтетические соединения PbTe, HgTe, ZnSe, TeO₂, CeO₂, SiO₂, Al₂O₃, MgO, NaCl, KBr, а также стехиометричные минералы известного состава: пирит (FeS₂), халькопирит (CuFeS₂), энаргит Cu₃AsS₄, антимонит (Sb₂S₃), волластонит (CaSiO₃). Спектральные линии для анализа каждого элемента выбирались исходя из условий возбуждения (10 или 20 кэВ), а также наличия/отсутствия существенных наложений.

В процессе исследований детально изучены особенности состава минералов эпитермальных Au-Ag месторождений Озерновское и Кочбулак, а также месторождений Норильской группы – более 5000 анализов. Выявлено и зарегистрировано в КНМ ММА шесть новых минералов – округинит Cu₂SnSe₃,

светланаит SnSe, служеникинит Pd₁₅(Sb,Sn)₇, талхаммерит Pd₉Ag₂Bi₂S₄, вымазаловаит Pd₃Bi₂S₂, кравцовит PdAg₂S [Вымазалова и др., 2017, 2018, 2022, 2023; Округин и др., 2022; Служеникин и др., 2018]. Продолжается изучение нескольких новых неназванных минералов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Okrugin V.M., Vymazalová A., Kozlov V.V., Laufek F., Stanley C.J., Shkilev I.A. Svetlanaite, SnSe, a new mineral from the Ozerovskoe deposit, Kamchatka peninsula, Russia // Mineralogical Magazine. 2022. V. 86. № 2. P. 234–242.
2. Sluzhenikin SF, Kozlov VV, Stanley CJ, Lukashova ML, Dicks K. Vymazalováite, Pd₃Bi₂S₂, a new mineral from the Noril'sk-Talnakh deposit, Krasnoyarskiy region, Russia. Mineralogical Magazine. 2018 Apr 1;82(2): 367–73.
3. Vymazalová A., Kozlov V.V., Laufek F., Stanley C.J., Shkilev I.A., Kudaeva S., Kosek F. Okruginite, Cu₂SnSe₃, a new mineral from the Ozerovskoe deposit, Kamchatka peninsula, Russia // Mineralogical Magazine. 2023. P. 1–29.
4. Vymazalová A., Laufek F., Sluzhenikin S.F., Kozlov V.V., Stanley C.J., Plášil J., Zaccarini F., Garuti G., Bakker R. Thalhammerite, Pd₉Ag₂Bi₂S₄, a new mineral from the Talnakh and Oktyabrsk deposits, Noril'sk region, Russia. Minerals. 2018 Aug 8;8(8):339.
5. Vymazalová A., Laufek F., Sluzhenikin S.F., Stanley C.J., Kozlov V.V., Chareev D.A., Lukashova M.L. Kravtsovite, PdAg₂S, a new mineral from the Noril'sk-Talnakh deposit, Krasnoyarskiy kray, Russia. European Journal of Mineralogy. 2017 Aug 1;29(4):597–602.
6. Vymazalová A., Welch M.D., Laufek F., Kozlov V.V., Stanley C.J., Plášil J. Sluzhenikinite, Pd₁₅(Sb_{7-x}Sn_x)₃ ≤ x ≤ 4, a new platinum group mineral (PGM) from the Oktyabrsk deposit, the Norilsk deposits, Russia. Mineralogical Magazine. 2022 Aug;86(4):577–85.

МАГНИТОУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СЕЛЕНИДНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ СО СТРУКТУРОЙ ТИПА Cr_3S_4

Комарова В.А.¹, Мозговых С.Н.¹, Казанцев В.А.², Селезнева Н.В.¹, Баранов Н.В.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет, ИЕНиМ, Екатеринбург, Россия

² Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Слоистые халькогениды переходных металлов со стехиометрией M_3X_4 принадлежат к структурному типу Cr_3S_4 . Минерал Cr_3S_4 , также известный как брецинаит, впервые был обнаружен в метеорите Tucson (Аризона, США) [Bunch, Fuchs 1969]. В отличие от структуры типа CdI_2 , в которой катионы (М) занимают октаэдрические позиции между слоями анионов (Х) в последовательности ХМХХМХ, в структуре Cr_3S_4 дополнительные катионы заполняют половину позиций в вандерваальсовой щели между анионами, образуя укладку типа ХМХМ_{0,5}ХМХ. В природном брецинаите, как правило, присутствуют примеси других переходных металлов. Как показали исследования селенидных аналогов со структурой брецинаита, свойства соединений M_3Se_4 проявляют сильную зависимость от типа М металла. Например, Fe_3Se_4 при температуре ниже 320 К является ферри-магнетиком и в наноструктурированном состоянии обладает необычно большой коэрцитивной силой при низких температурах (~ 40 КЭ) [Zhang et al. 2011], в то время как соединение с хромом Cr_3Se_4 демонстрирует антиферромагнитное поведение. В зависимости от типа М металла различаются и другие свойства соединений M_3Se_4 .

В данной работе проведено исследование влияния замещения атомов железа хромом на структуру, тепловое расширение и магнитное поведение смешанных селенидных соединений $\text{Fe}_{3-x}\text{Cr}_x\text{Se}_4$. Поликристаллические образцы $\text{Fe}_{3-x}\text{Cr}_x\text{Se}_4$ ($x=0-1.5$) были получены методом твердофазного синтеза при температуре 800 °С с последующим отжигом. Данные рентгеноструктурного анализа, проведенного с помощью дифрактометра Bruker D8 Advance и программного пакета FULLPROF, показали, что все полученные соединения однофазны и кристаллизуются в пространственной группе $I/2m$ (моноклинная сингония). Уточнение параметров решетки

свидетельствует об их анизотропном изменении при замещении атомов железа хромом. Дилатометрический анализ был проведен в Институте физики металлов УрО РАН на кварцевом дилатометре типа DL-1500 RHP фирмы ULVAC-SINKU RIKO (Япония) в динамическом режиме нагрева/охлаждения с постоянной скоростью нагрева 2 К/мин. Показано, что ниже температуры магнитного упорядочения магнитоупругие взаимодействия в соединениях $\text{Fe}_{3-x}\text{Cr}_x\text{Se}_4$ вносят существенный вклад в относительное изменение объема образцов в зависимости от температуры. Однако, в отличие от пирротина и его селенидного аналога Fe_7Se_8 , которые обладают отрицательной спонтанной магнитострикцией [Mozgovykh et al. 2023], в соединениях $\text{Fe}_{3-x}\text{Cr}_x\text{Se}_4$ наблюдается положительная объемная магнитострикция и инварный эффект ниже температуры магнитного упорядочения. Полученные результаты показывают, что катионное замещение в соединениях типа Cr_3S_4 может приводить к значительным изменениям в поведении теплового расширения.

*Работа выполнена за счет гранта Российского
Научного Фонда № 22-13-00158.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Bunch T.E., Fuchs L.H. A new mineral: brezinaite, Cr_3S_4 , and the Tucson meteorite //Amer. Mineral. 1969. V. 54. P. 1509–1518.
2. Mozgovykh S.N., Kazantsev V.A., Akramov D.F., Sherokalova E.M., Selezneva N.V., Baranov N.V. Thermal and magnetic properties of Fe_7Se_8 studied on single crystals. //J. Phys. Chem. Sol. 2023 V. 180 P. 111466.
3. Zhang H., Long G., Li D., Sabirianov R., Zeng H. Fe_3Se_4 nanostructures with giant coercivity synthesized by solution chemistry. //Chem. Mater. 2011. V. 23(16) P. 3769–3774.

О РАЗВИТИИ ТРЕЩИН В КОМПАКТИРОВАННЫХ ПОРОШКАХ ИЗ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА

Коровин Р.Д.¹, Меженев М.Е.^{1,2}, Зайцев Д.В.^{1,2}, Панфилов П.Е.¹

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

В докладе обсуждается развитие трещин, возникающих в граните, сиените и в материалах, компактированных из измельченных горных пород разного генезиса (скорлупы куриных яиц, гранита, кварцевого песка и синтетического оксида алюминия).

В механических испытаниях на воздухе использовали следующие схемы приложения нагрузки: диаметрально сжатие / бразильский тест и 3-х точечный изгиб. Трещины, возникшие на поверхности образцов, изучали на оптических микроскопах. Для сравнения, в качестве эталонов были выбраны трещины в монокристаллах кремния и трещины скола, развивающиеся в монокристаллах иридия и покрытых галлием монокристаллах алюминия, а образцов трещин в вязких материалах – трещины, развивающиеся в шейке поликристаллического алюминия при растяжении. Анализ деформационного поведения модельных материалов показал, что все они ведут себя как хрупкие твердые тела, распадаясь

на части при деформациях ~1%. Несмотря на это, рост опасных трещин в образцах можно было остановить, отключив нагрузку. Во всех случаях траектория движения опасной трещины определялась геометрией нагружения, что свойственно для хрупкого поведения материала. На микромасштабе трещины обладали ломаным профилем из-за того, что они состояли из слившихся порообразных микротрещин. Ширина трещин в лабораторных образцах зависела от степени деформации и могла меняться в значительных пределах.

Подобным образом ведут себя трещины в шейке поликристаллического алюминия, в разрушающемся сколом ГЦК-металле иридии и в покрытых галлием монокристаллах алюминия. Это указывает на наличие в модельных материалах дополнительного к расщеплению канала аккомодации упругой энергии.

Работа выполняется при поддержке РФФ (грант № 23-29-00253).

О РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Коровин Р.Д.¹, Меженев М.Е.^{1,2}, Зайцев Д.В.^{1,2}, Панфилов П.Е.¹

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Изучено развитие трещин в лабораторных образцах, полученных из измельченных горных пород разного генезиса (скорлупа куриных яиц, оксид алюминия, гранитный отсев, кварцевый песок) по технологии порошковой металлургии.

Механические испытания проводили на воздухе, в качестве схемы нагружения использовали диаметрально сжатие или не прямое растяжение (бразильский тест). Трещины на рабочих поверхностях образцов изучали при помощи оптических микроскопов, работающих в режиме «на отражение».

Полученные данные сопоставляли с морфологией трещин в монокристаллах кремния, в монокристаллах иридия и в шейке поликристаллического алюминия. Анализ хода деформационных кривых показал, что все модельные материалы демонстрируют хрупкое поведение: ход инженерных кривых можно аппроксимировать прямой линией, а деформация до перегиба кривой была порядка 1%. В отличие от разрушения кремния и силикатного стекла, движение опасной трещины можно было остановить,

прекратив нагружение образца. Траектория опасной трещины определялась геометрией приложения нагрузки, что является признаком хрупкого разрушения. Металлографическое исследование показало, что на микроскопическом масштабе опасная трещина состоит из слившихся порообразных микротрещин из-за чего она приобретает ломаный профиль. Ширина таких микротрещин зависит от величины деформации в области опасной трещины и может меняться в значительных пределах.

Похожим образом ведут себя трещины в шейке плоских алюминиевых образцов и в иридии, что существенным образом отличается от трещин в кремнии и в силикатном стекле. Это указывает на существование в модельных материалах помимо растрескивания еще одного канала аккомодации упругой энергии, действие которого в основном проявляется на микроскопическом масштабе.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (грант № 23-29-00253).

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ

Королева О.Н., Коробатова Н.М., Неволina Л.А., Штенберг М.В.

ИОУ ФНЦ МуГ УрО РАН, Миасс, Россия, olgankoroleva@gmail.com

Боросиликатные и фосфатные стекла широко используются для иммобилизации радиоактивных отходов (РАО). При этом кристаллизация считается нежелательным процессом, который следует избегать. Однако, существуют исследования, в которых показана перспективность использования стеклокристаллических материалов для иммобилизации РАО [Caurant, 2014].

Стеклокристаллические материалы были получены из боросиликатных стекол тремя способами. Во-первых, прямой кристаллизацией из цезий-содержащего расплава (рис. 1), во-вторых, путем смешения боросиликатных стекол с кристаллической фазой, содержащей элементы имитаторы-радионуклидов с последующей термической обработкой. Для третьего способа использовались пористые стекла, пропитанные водным раствором CsNO_3 с последующей консолидацией пор для получения стеклокристаллических образцов. По разработанным методикам получены три типа стеклокристаллических материалов с различными формами иммобилизации радиоактивных элементов.

Исследование образцов проведено с использованием комплекса современных методов и подходов.

Фазовый и химический составы, а также структура материалов определены методами рентгенофазового анализа, рентгеноспектрального микроанализа и спектроскопии комбинационного рассеяния. Термические характеристики стекол определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Химическая устойчивость определялась согласно ГОСТ 52126-2003, растворы анализировались методами ICP-OES, ICP-MS.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-17-20005 (<https://rscf.ru/project/22-17-20005/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Caurant, D. Spectroscopic investigations on glasses, glass-ceramics and ceramics developed for nuclear waste immobilization // Opt. Spectrosc. 2014, V. 116, P. 667–676.
2. Koroleva O.N., Nevolina L.A., Korobatova N.M. Glass-containing matrices based on borosilicate glasses for the immobilization of radioactive wastes // J. Compos. Sci., 2023, V. 7. P. 505.

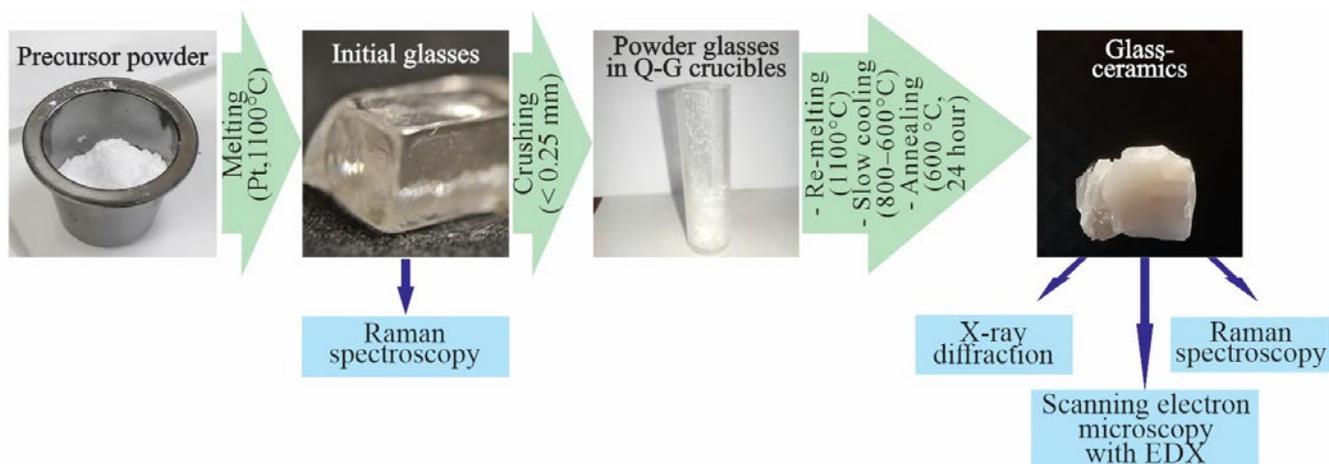


Рис. 1. Схема получения стеклокерамики методом кристаллизации из расплава [Koroleva et al., 2023]

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ (АТАКАМА, ЧИЛИ)**Кузина Д.М.¹, Гатгачека Ж.², Муфтахетдинова Р.Ф.³, Юсупова А.Р.¹**¹ *Казанский федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казань, Россия, di.kuzina@gmail.com*² *CEREGE, Экс-ан-Прованс, Франция, gattacceca@cerge.fr*³ *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, gizrozka91@bk.ru*

В работе представлены результаты измерения магнитных свойств обыкновенных хондритов (L, H), найденных в пустыне Атакама (Чили). Изучение магнитных свойств метеоритов с районов с высокой плотностью находок интересно для определения степени выветривания в земных условиях и переходов первичных минералов железа (камасит, тэнит) [Oshtrakh et al., 2008; Uehara et al., 2011] в устойчивые к земным условиям парамагнитные и ферромагнитные минералы. Для изучения были выбраны обыкновенные хондриты в качестве стандартного образца для исследования процессов выветривания, поскольку для них хорошо определен химический состав, минералы железа, присущие данным метеоритам, минералогический и изотопный состав дают представление об исходном состоянии вещества до выветривания [Bland et al., 1998].

Для всех имеющихся образцов измерена магнитная восприимчивость на каппаметре МФК-1А (AGICO). Гистерезисные параметры измерены на коэрцитивном спектрометре «J-Meter» [Нургалиев, Ясонов, 2009]. Получены кривые нормального остаточного намагничивания образцов при непрерывном росте внешнего магнитного поля до 1.5 Тл. Измерение полной петли гистерезиса одновременно по остаточной и индуктивной намагниченностям позволило определить параметры B_c , B_{cr} , J_s , J_{rs} .

Полученные магнитные параметры сопоставлены с земным возрастом метеоритов, полученным

изотопными методами. Наблюдаются корреляции возраста с некоторыми из магнитных параметров. Так, намагниченность насыщения уменьшается для метеоритов L группы с возрастом.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 24-27-00388.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. Патент на полезную модель «Коэрцитивный спектрометр» № 81805. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 марта 2009 года.
2. Bland P.A., Sexton A.S., Jull A.J.T., Bevan A.W. R., Berry F.J., Thornley D.M., Astin T.R., Britt D.T., Pillinger C.T. Climate and rock weathering: a study of terrestrial age dated ordinary chondritic meteorites from hot desert regions // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1998. V. 62, P. 3169–3184.
3. Oshtrakh M.I., Petrova E.V., Grokhovsky V.I., Semionkin V.A. Mössbauer spectroscopy with high velocity resolution in the study of ordinary chondrites // *Hyperfine Interact.* 2008. V. 186, P. 61–68.
4. Uehara M., Gattacceca J., Leroux H., Jacob D., van der Beek C.J. Magnetic microstructures of metal grains in equilibrated ordinary chondrites and implications for paleomagnetism of meteorites // *Earth Planet Sci. Lett.* 2011. V. 306, P. 241–252.

ОГРАНИЧЕНИЯ НА СЦЕНАРИИ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛОДОГО СЕМЕЙСТВА АСТЕРОИДОВ EMILKOWALSKI

Кузнецов Э.Д., Васильева М.А., Перминов А.С., Сафронова В.С.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, eduard.kuznetsov@urfu.ru,
vasilyeva.maria@urfu.ru, alexander.perminov@urfu.ru, v.s.safronova@urfu.ru

Молодое семейство астероидов Emilkowalski расположено в средней части Главного пояса (большая полуось орбиты 2.60 а.е., эксцентриситет 0.15, наклон 17.75°). Семейство Emilkowalski было открыто в 2006 году [Nesvorný, Vokrouhlický, 2006]. Они обнаружили 3 астероида на очень похожих гелиоцентрических орбитах и оценили возраст семейства в 220 ± 30 тыс. лет. В последующих работах [Pravec et al., 2018; Fatka et al., 2020] были обнаружены новые члены этого семейства и количество астероидов возросло до 9. Также в этих работах были выполнены оценки возраста пар «главный астероид (14627) Emilkowalski – вторичный астероид». Было показано, что по меньшей мере два события распада родительского астероида этого семейства имели место за последние 5 млн лет. Спутник WISE в инфракрасном диапазоне обнаружил формирующуюся пылевую полосу, наклоненную к эклиптике на 17 градусов. На основе моделирования было показано, что семейство астероидов Emilkowalski является вероятным источником этой пылевой полосы [Vokrouhlický et al., 2008; Pravec P. et al., 2018]. В работе [Fatka et al., 2020] высказано предположение, что астероид (14627) Emilkowalski может быть ядром потухшей кометы.

Мы провели поиск новых членов молодого семейства астероидов Emilkowalski. В результате число членов семейства достигло 20. Мы исследовали динамическую эволюцию семейства астероидов на интервале 5 млн лет с помощью программы Orbit9. Элементы орбит были взяты из базы данных AstDyS для эпохи MJD 60200 (13.09.2023). Уравнения движения для астероидов, восьми больших планет и карликовой планеты Плутон интегрировались совместно.

Учитывались возмущения от сжатия Солнца, релятивистские эффекты и влияние суточного эффекта Ярковского. Для оценки возраста пар использовался метод поиска моментов одновременного сближения узлов и перигелиев орбит. Были рассмотрены все возможные пары между астероидами семейства. Показано, что в случае отсутствия эффекта Ярковского возраст пар не превышает 2 млн лет. Пары 2009UL13 – 2009VF107 и 2020UZ20 – 2021TU55 имеют максимальные оценки возраста 1.51 и 1.58 млн лет, соответственно. В парах с астероидом (14627) Emilkowalski максимальная оценка возраста в 1.12 млн лет была получена для астероида (476673) 2008 TN44. Полученные оценки возраста пар позволяют ограничить интервал построения сценария формирования семейства Emilkowalski диапазоном 2 млн лет.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00143, <https://rscf.ru/project/24-22-00143/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fatka P., Pravec P., Vokrouhlický D. Cascade disruptions in asteroid clusters // *Icarus*. 2020. V. 338. Id. 113554.
2. Nesvorný D., Vokrouhlický D. New candidates for recent asteroid breakups // *The Astronomical Journal*. 2006. V. 132(5). P. 1950–1958.
3. Pravec P., Fatka P., Vokrouhlický D. et al. Asteroid clusters similar to asteroid pairs // *Icarus*. 2018. V. 304. P. 110–126.
4. Vokrouhlický D., Nesvorný D., Bottke W.F. Evolution of dust trails into bands // *The Astrophysical Journal*. 2008. V. 672(1). P. 696–712.

МОРФОЛОГИЯ И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ АЛМАЗОВ ТИПА IIa ИЗ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ЗАПАДНОГО ПРИУРАЛЬЯ

Лебеденко А.В.^{1,2}, Клепиков И.В.^{1,2,3}, Васильев Е.А.⁴, Антонов А.В.⁵, Панькин Д.В.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, a.lebedenko@spbu.ru

² Российский Технологический Университет МИРЭА, Москва, Россия

³ ООО НПК «Алмаз», Санкт-Петербург, Россия,

⁴ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,

⁵ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт

имени А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Алмазы IIa представляют собой особый тип, отличающийся высокими характеристиками чистоты и цвета, применяющийся в сфере высоких технологий. Последние исследования позволили выделить особую разновидность этого типа — сублитосферные алмазы CLIPPIR (Cullinan-like, Large, Inclusion-Poor, Pure, Irregular and Resorbed). По составу включений установлено, что они образуются на глубинах от 300 до 800 км. Эти кристаллы имеют особую форму, отличающуюся от типичных алмазов из-за механизма их роста и последующего растворения, характеризуются отсутствием азота, чрезвычайно малым содержанием включений и дефектами дислокационного происхождения [Smith et al., 2016; 2020].

В работе приведен анализ морфологии и внутреннего строения четырех кристаллов алмаза типа IIa из современных аллювиальных россыпей Западного Приуралья, массой 20–166 мг. Алмазы такого типа не обнаружены в месторождениях Рассольная (Ефимовское), Рыбьяковское. Исследования были выполнены в РЦ «Микроскопии и микроанализа» СПбГУ, лаборатории «Центр коллективного пользования» СПбГУ.

Исследованные кристаллы бесцветные, прозрачные. Образцы 614-66 и 616-66 имеют неправильную угловатую форму, с большим количеством скульптур и углублений на поверхности (треугольные, гексагональные и четырехугольные). Образцы 889-66 и 16473 значительно растворенные удлиненные, имеют форму «зуба». На их поверхности есть каплевидные бугорки высотой до 0.5 мкм и микродвойниковая штриховка. Кристаллы не содержат включений и трещин, только в образце 616-66 выявлена серия вторичных

темных и светлых включений в периферийной зоне. Эти включения маркируют залеченную трещину. На катодолюминесцентных (КЛ) изображениях этих кристаллов ростовая зональность отсутствует, но выделяется узор дислокационной природы: тонкие яркие в КЛ кривые линии по всей площади формируют сложный сетчатый рисунок. В образце 16473 видны пятна пигментации и параллельная штриховка (темные в КЛ).

Исследование алмазов типа IIa из аллювиальных россыпей Западного Приуралья выявило ряд их характерных особенностей:

- 1) это бесцветные кристаллы неправильной формы, обусловленной процессами растворения;
- 2) в них не выявлены первичные включения;
- 3) в КЛ выявляется сетчатый рисунок дислокационной природы и параллельная штриховка микродвойников.

Таким образом, исследованные кристаллы по комплексу признаков, за исключением размера, соответствуют типу CLIPPIR.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 21-77-20026.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith E.M., Shirey S.B., Nestola F., Bullock E.S., Wang J., Richardson S.H., Wang W. Large gem diamonds from metallic liquid in Earth's deep mantle // *Science*, Vol. 354, No. 6318. 2016.
2. Smith E.M., Wang W. New insights into sublithospheric Type IIa and Type IIb diamonds // *Goldschmidt*. 2020.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ СИСТЕМЫ 603/700/787 НМ В АЛМАЗЕ

Лепеха С.В.¹, Васильев Е.А.², Зедгенизов Д.А.¹, Сушанек Л.Я.¹

¹ Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, Lepexha@igg.uran.ru

² Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Оптические центры (ОАЦ) в алмазе являются индикаторами среды роста и условий дальнейшего пребывания кристаллов в мантии. Фотолюминесцентная (ФЛ) система 603/700/787 нм в работе [Плотникова и др., 1980] считается типоморфным признаком кристаллов смешанного роста. Как правило система локализуется в секторах $\langle 100 \rangle$, для которых характерны повышенная плотность дислокаций и различных ОАЦ, относительно секторов $\langle 111 \rangle$. В работе [Tretiakova, 2009] автор относит систему 603/700/787 нм к примеси никеля. При исследовании кристалла алмаза с водородным облаком [Emerson, 2009] бесфононная линия (БФЛ) 700 нм приписана к примеси водорода. Отмечалось также появление БФЛ 700.2 нм в ФЛ спектрах Ni-содержащих НРНТ кристаллов после отжига 1950 К [Yelisseyev et. al, 2002; Nadolinny et. al, 1999]. Однако, система 603/700/787 нм мало изучена, а модель дефекта так и не была установлена.

Изучение бесцветных кристаллов алмаза октаэдрического габитуса из трубки Удачная показало, что система 603/700/787 нм наблюдается также и в ФЛ спектрах пластинок, сложенных зонами тангенциального роста. По данным инфракрасной (ИК) спектроскопии кристаллы относятся к Ia типу с общим содержанием азота от 186 до 2182 ppm. Концентрация азота в В форме составляет 5–76%. Отмечается присутствие дефекта кристаллической структуры (ДКС), связанного с водородом (N_3VH) – коэффициент поглощения линии 3107 см^{-1} меняется от 0.5 до 6.3 см^{-1} . В наборе ФЛ центров исследуемых кристаллов наблюдается частое присутствие НЗ (N_2V) и 793.5 нм (N_4NiV_2). БФЛ 883/885 нм простейшего ростового

ДКС, содержащего ион никеля в интерстиционном положении не коррелируют с БФЛ 787 нм. ИК и ФЛ картирование пластинок указывает на взаимосвязанное распределение системы 603/700/787 нм и водородного центра 3107 см^{-1} .

Работа выполнена в рамках темы № 123011800012-9 государственного задания ИГГ УрО РАН. Картирование и измерение фотолюминесцентных спектров проводилось в ЦКП УрО РАН «Геоаналитик». ИК карты получены в ЛИВС ЦКП, СПГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотникова С.П., Клюев Ю. А., Парфианович И.А. Длинноволновая фотолюминесценция природных алмазов // Минералогический журнал. 1980. Т. 2(4). С. 75-80.
2. Tretiakova L., Spectroscopic methods for the identification of natural yellow gem-quality diamonds // Eur. J. Mineral. 2009. Vol. 21. P. 43–50.
3. Emerson E. With Hydrogen Cloud and Etch Channels // Gems & Gemology. 2009. V. 45, P. 209–210.
4. Yelisseyev A. Nadolinny V., Feigelson B., Babich Yu. Spectroscopic features due to Ni-related defects in HPHT synthetic diamonds // International Journal of Modern Physics B. 2002. V. 16. P. 900–905.
5. Nadolinny V.A., Yelisseyev A.P., Baker J.M., Newton M.E., Twitchen D.J., Lawson S.C., Yuryeva O.P., Feigelson B.N. A study of ^{13}C hyperfine structure in the EPR of nickel-nitrogen-containing centres in diamond and correlation with their optical properties // J. Phys.: Condens. Matter. 1999. V. 11(38), P. 7357–7376.

ЭПР Fe-, Mn-ДОПИРОВАННЫХ КЕРАМИК BiNbO_4 Лютеев В.П.¹, Жук Н.А.², Головатая О.С.²¹ ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, vlutoev@geo.komisc.ru² СГУ им. Питирима Сорокина, Сыктывкар, Россия, nzhuck@mail.ru, oxana_1958@mail.ru

Соединение ортониобата висмута BiNbO_4 (висмутоколумбит) представляет интерес благодаря своим магнитным, микроволновым диэлектрическим и каталитическим свойствам. Оптимизация электрофизических свойств керамики достигается путем легирования соединения атомами переходных металлов. Структурное состояние потенциальных изо- и гетеровалентных замещений атомов ниобия и висмута переходными элементами во многих случаях не определено.

Нами методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) изучены низкотемпературная орторомбическая ($\alpha\text{-BiNbO}_4$) и высокотемпературная триклинная ($\beta\text{-BiNbO}_4$) модификации ортониобата висмута, легированного оксидами Mn и Fe в пропорциях замещения атомов Nb, были изучены нами с использованием ЭПР. Твердые монофазные растворы $\text{BiNb}_{1-x}\text{Mn}(\text{Fe})_x\text{O}_{4-\delta}$ ($0.003 \leq x \leq 0.06$) синтезированы по стандартной методике с использованием ступенчатого прокаливания при 650, 950 ($\alpha\text{-BiNbO}_4$) и 1100 °C ($\beta\text{-BiNbO}_4$).

Согласно данным ЭПР, примесные ионы Fe^{3+} , Mn^{2+} в $\alpha\text{-BiNbO}_4$ в основном кластеризованы октаэдрических положениях атомов Nb. В спектрах ЭПР регистрируется полоса интегрального ферромагнитного резонанса с наложенной его тонкой структурой и следы линий от изолированных парамагнитных ионов. Хорошо разрешенные ориентационно-усредненные спектры ЭПР ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} были получены у триклинной $\beta\text{-BiNbO}_{4-\delta}$ фазы. Параметры спин-Гамильтониана

$$(H = g \times \mu \times \mathbf{B} \times \mathbf{S} + A \times \mathbf{S} \times \mathbf{I} + D \times O_2^{0/3} + E \times O_2^2)$$

ионов были определены методом моделирования спектров с использованием пакета EasySpin для среды программирования MathLab [Stoll & Schweiger, 2006].

Триклинная фаза BiNbO_4 имеет два типа октаэдрических положений Nb_{5+} , различающихся средней

длиной связи Nb–O. Однако из спектров ЭПР следует четыре типа локального окружения ионов Fe^{3+} . Две позиции Fe^{3+} с одинаковыми значениями $D=0.72 \text{ см}^{-1}$, но с разной степенью ромбического искажения $E/D=0.24$ и 0.17 были отнесены, соответственно, к двум октаэдрическим позициям Nb^{5+} с ближайшей кислородной вакансией. Пара дополнительных положений Fe^{3+} с меньшим значением $D=0.47 \text{ см}^{-1}$ и низким ромбическим искажением $E/D=0.12$ и 0.08 отнесены к тем же структурным положениям Nb^{5+} , но с удаленной кислородной вакансией. Позиции Nb^{5+} с большей средней длиной связи Nb–O заселены ионами Fe^{3+} ($E/D = 0.24, 0.12$) вдвое чаще, чем позиции с меньшей средней длиной связи ($E/D = 0.17, 0.08$). Аналогичное распределение по структурным позициям решетки $\beta\text{-BiNbO}_{4-\delta}$ было обнаружено также у ионов Mn^{2+} . Спектры ЭПР этого иона представляют собой суперпозицию индивидуальных спектров от Mn^{2+} в октаэдрических позициях с ромбическим и аксиальным искажением: $E/D=0.31$, $D=0.158 \text{ см}^{-1}$, $A(^{55}\text{Mn})=8.4 \text{ мТл}$ и $E/D \approx 0$, $D \approx 0.02 \text{ см}^{-1}$, $A(^{55}\text{Mn})=8.6 \text{ мТл}$.

Измеренные суммарные интегральные интенсивности спектров ЭПР изолированных ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} в структуре $\beta\text{-BiNbO}_{4-\delta}$ находятся в области насыщения и слабо зависят от концентрации легирующей добавки. Значительная часть примесных ионов в структуре ортониобата висмута находится в кластерной форме. Последняя в основном и определяет электрофизические характеристики керамик.

Работа выполнена в рамках НИР ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600009-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stoll S., Schweiger A. EasySpin, a comprehensive software package for spectral simulation and analysis in EPR // *J. Magn. Reson.* 2006. V. 178(1). P. 42–55.

МЕССБАУЭРОВСКАЯ И ЭПР СПЕКТРОСКОПИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ КАМЧАТКИ

Лютоев В.П.¹, Головатая О.С.²

¹ ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, vlutoev@geo.komisc.ru

² СГУ им. Питирима Сорочкина, Сыктывкар, Россия, oxana_1958@mail.ru

Состав вулканических пеплов в отличие от комагматических и им эффузивных пород в значительной степени зависит от внешних условий извержений и дальности разноса пирокластического материала, что может исказить представление о характере магматических процессов и составе вулканического очага. Материал пеплов является сложным сильно неравновесным полиминеральным образованием с существенной долей стеклообразной фазы. Существуют проблемы идентификации вулканических пеплов дальнего переноса и областей наложения пеплопадов разных источников, решению которых могли бы помочь структурно чувствительные методы спектроскопии.

Нами методами мессбауэровской спектроскопии ⁵⁷Fe и ЭПР изучена серия пеплов извержений Камчатских вулканов (Авачинский, Толбачик, Шивелуч, Ключевской) и предположительно связанных с извержениями вулканов Толбачик или Безымянный образцов пепла из покровных отложений в районе пос. Козыревск. Предварительная фазовая диагностика образцов пепла выполнена методом рентгеновской дифракции и ИК-спектроскопии. Материал для исследований в 2017 г. был предоставлен ООО ЭкоГеоЛит. Интерес к пеплам Камчатки обусловлен также тем, что они являются основным средообразующим компонентом экосистем региона. Образцы вулканических пеплов в основном представлены стеклообразным силикатным веществом и кристаллическими фазами плагиоклаза, пироксена, амфибола и титаномагнетита. В небольших количествах в них присутствуют оливин и кварц. Отличительной особенностью пеплов вулкана Шивелуч является обогащенность амфиболом; пепла вулкана Авачинский – ортопироксеном, железистым энстатитом; пеплов вулкана Ключевской, Толбачик и современных покровных отложений в районе пос. Козыревск – оливином и клинопироксеном.

Пеплы различных вулканов хорошо дифференцируются распределением ионов железа по минеральным фазам. Появление оливинового компонента локализации железа сопровождается понижением в пеплах относительной представительности железа в оксидной форме. Возможно, данный факт отражает процесс окисления оливина при вулканическом извержении с образованием титаномагнетита и пироксена. Наиболее высокая степень окисления железа Fe³⁺/SFe в силикатной фазе обнаружена в пеплах вулкана Шивелуч, в которых пироксен замещен амфиболом – более поздним в сравнении с пироксенами продуктом кристаллизации магматических расплавов.

Прямая зависимость петрохимического состава пеплов от расстояния до источника извержения не обнаружена. Однако при сопоставлении характеристик распределения железа по фазам в серии проб пеплов вулкана Шивелуч обнаруживается повышение доли силикатного железа с удалением от источника, замещение титаномагнетита гематитом. При небольшом расстоянии переноса пепла от источника различия в распределении железа не проявляются. Данные пространственные изменения характеристик пепла могут быть объяснены эффектом эоловой гравитационной дифференциации тефры в процессе ее аэриальной транспортировки. Изменение состава пеплов с удалением от центра извержения объясняется уменьшением общего гранулометрического состава пепла и преимущественным выпадением кристаллокластов плагиоклаза, роговой обманки и рудных элементов в начале продвижения пепловой тучи. По мере удаления от центра в пепле увеличивается доля вулканического стекла.

Работа выполнена в рамках НИР ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600009-2.

СПЕКАНИЕ МАТРИКСА КАК ИНДИКАТОР ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СТАНОВЛЕНИЯ ОБЛОМОЧНЫХ ИМПАКТИТОВ (НА ПРИМЕРЕ ЗЮВИТОВ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ)

Максименко Н.И., Шумилова Т.Г.

ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, nadiamaximenko@mail.ru
shumilova@geo.komisc.ru

При изучении космогенных структур большое значение имеют параметры ударного события. Оценки давлений и температур импактного метаморфизма принято проводить по специальным признакам – планарным деформационным элементам, высокобарическим минеральным фазам и другим. При изучении обломочных импактитов данные признаки применимы для характеристики ударного воздействия лишь отдельных составных компонентов, но не зювитов в целом. В связи с этим актуальным является выявление признаков для выяснения условий становления зювитов, как породы.

Известно, что условия формирования полимиктовых брекчий наилучшим образом отражаются в матриксе. Структурно-текстурные особенности матрикса зювитов Карской астроблемы имеют сходство со структурами керамических материалов, которые при образовании проходят разные стадии спекания [Richerson, Lee, 2018]. С использованием данных по материаловедению в данной работе предложены диагностические признаки разных уровней спекания, определены локальные температуры образования разных фаций зювитов.

В матриксе зювитов аэродинамической фации, установлен кварц в виде угловатых кластов с контактными перешейками (припеканием), что является признаком начальной стадии спекания и свидетельствует о локальной температуре до $\sim 1030^\circ\text{C}$ (0.6 от температуры плавления кварца). Также кварц образует спекшиеся минеральные агрегаты с открытой и закрытой пористостью, что отвечает промежуточной стадии спекания, на которой начинается формирование закрытых пор. Это указывает на локальную температуру до $\sim 1200^\circ\text{C}$ (0.7 от температуры плавления кварца).

Кварц в матриксе зювитов донной фации образует спеки с низкой пористостью, с закрытыми округлыми или «полигранными» порами, что соответствует заключительной стадии спекания и указывает на локальную температуру до $\sim 1370^\circ\text{C}$ (0.8 от температуры плавления кварца). Класты кварца могут иметь частично сглаженные очертания и мелкие округлые поры, что указывает на возможность локального плавления кварца ($\sim 1700^\circ\text{C}$).

Выяснено, что при образовании обломочных импактитов происходит локальное спекание и плавление минеральных компонентов в объеме отдельных участков матрикса. Установлено, что для донных зювитов характерна более высокая температура становления ($\sim 1700^\circ\text{C}$) по сравнению с породами выбросной фации ($\sim 1200^\circ\text{C}$), что хорошо согласуется с известными моделями импактного кратерообразования. Таким образом, характер спекания матрикса может использоваться в качестве инструмента для установления температурных условий литификации и определения фаций обломочных импактитов в других астроблемах, что важно при выяснении параметров и сценария ударных событий.

Авторы признательны А.А. Зубову, В.В. Уляшеву и Н.С. Ковальчук за помощь в отборе образцов, Е.М. Тропникову за проведение электронно-микроскопических исследований. Работа выполнена в рамках темы НИР ГР № 122040600009-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Richerson D.W., Lee W.E. Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design. 4th Ed. CRC Press, 2018. 837 p.

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА МЕДИ И ЦИНКА СУЛЬФИДНЫХ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД НОРИЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Малич К.Н.¹, Баданина И.Ю.¹, Солошенко Н.Г.¹, Служеникин С.Ф.²

¹ ИГГ УрО РАН, Екатеринбург, Россия, malitch@igg.uran.ru

² ИГЕМ РАН, Москва, Россия

Сульфидные платиноидно-медно-никелевые (ЭПГ-Cu-Ni) месторождения Норильской провинции вмещают богатейшие комплексные руды на Земле, содержащие 15% земных ресурсов сульфидного Ni и 27% ресурсов Pd наряду с другими стратегическими металлами. В отличие от большого числа опубликованных S-изотопных данных [Grinenko, 1985; Малич и др., 2018 и ссылки в них], которые позволили охарактеризовать различные источники вещества сульфидных ЭПГ-Cu-Ni руд, изотопная систематика меди Cu-Ni сульфидов из различно рудоносных ультрамафит-мафитовых интрузивов норильского типа остается недостаточно изученной, а данные по изотопному составу цинка отсутствуют.

В нашем сообщении впервые охарактеризованы изотопные вариации цинка вместе с таковыми меди для уникальных и крупных сульфидных ЭПГ-Cu-Ni месторождений Октябрьское и Норильск-1, средних и мелких ЭПГ-Cu-Ni месторождений Вологодчанское и Зуб-Маркшейдерское и сульфидной Cu-Ni минерализации Нижнеталнахского и Нижненорильского мафит-ультрамафитовых интрузивов Норильской провинции. Химический состав сульфидов был изучен с помощью рентгеноспектрального микроанализа (САМЕСА SX 100 и JXA-8200 JEOL). Методика определения $\delta^{65}\text{Cu}$ и $\delta^{66}\text{Zn}$ включала в себя растворение образцов в смеси кислот HCl и HNO₃, селективное хроматографическое выделение Cu и Zn из раствора с последующим определением изотопных отношений $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$ и $^{66}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$ на масс-спектрометре Neptune Plus.

Проанализированные образцы массивных и вкрапленных ЭПГ-Cu-Ni руд сложены минеральными ассоциациями сульфидов, состоящими, главным образом, из халькопирита, пирротина, пентландита, троилита, кубанита и галенита. Изотопный состав

цинка ($\delta^{66}\text{Zn}$) для изученных образцов сульфидов характеризуется сходными «изотопно-легкими» значениями (в диапазоне от -0.65 до -0.03 ‰) со средним значением $\delta^{66}\text{Zn} = -0.33 \pm 0.20$ ‰ ($n = 35$). Сульфидные ЭПГ-Cu-Ni руды месторождений Октябрьское и Норильск-1 демонстрируют отличные от других месторождений и рудопроявлений дискретные диапазоны значений $\delta^{65}\text{Cu}$ от -2.42 до -1.40 ‰ и от -0.33 до 0.60 ‰, соответственно. При этом изотопный состав меди для сульфидных минералов массивных и вкрапленных руд месторождения Октябрьское обладает сходными «изотопно-легкими» характеристиками.

Выявленные вариации изотопного состава меди и цинка в изученных сульфидных ассоциациях из всех типов руд отражают их первичную характеристику; тем не менее, для месторождения Октябрьское, характеризующегося наиболее «изотопно-лёгким» составом меди ($\delta^{65}\text{Cu} = -1.9 \pm 0.34$ ‰), нельзя исключить возможность ассимиляции внешнего источника меди при формировании сульфидных ЭПГ-Cu-Ni руд.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН (№№ госрегистрации 122022600107-1 и 123011800012-9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Малич К.Н., Баданина И.Ю., Туганова Е.В. Рудоносные ультрамафит-мафитовые интрузивы Полярной Сибири: возраст, условия образования, критерии прогноза. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. 287 с.
2. Grinenko L.N. Sources of sulfur of the nickeliferous and barren gabbro-dolerite intrusions of the northwest Siberian platform // International Geology Review. 1985. V. 28. P. 695–708.

ФЕРГУСОНИТ: ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ОТЖИГЕ МЕТАМИКТНОГО СОСТОЯНИЯ

Мандрыгина Д.А., Замятин Д. А., Замятина Д. А.

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
roxyshinoda@gmail.com*

В докладе рассмотрена динамика изменения оптических характеристик – спектров катодолюминесценции (КЛ) и комбинационного рассеяния света (КРС) при отжиге до 800 и 1250 °С метамиктного фергусонита ABO_4 ($A^{3+} = PЗЭ, Th, U, Ca$; $B^{5+} = Nb, Ta, Ti$) из корундово-полевошпатовых пегматитов Ильменских гор; данные сопоставлены с таковыми для синтетического аналога состава $YNbO_4$ (рис. 1).

В спектре КРС природного фергусонита в исходном состоянии выделяется одна широкая неразрешенная полоса, что указывает на высокую степень метамиктности минерала, обусловленную радиационным α -облучением при распаде U и Th; после отжига при 800 °С, который приводит к частичному восстановлению структуры, в спектре начинают проявляться несколько уширенные полосы, характерные для β -фергусонита, в том чис-

ле с максимумом при 800 cm^{-1} и шириной на половине высоты порядка 59 cm^{-1} ; после отжига при 1250 °С данная полоса, обусловленная растяжением NbO_4 -тетраэдров, сужается до 30 cm^{-1} и испытывают сдвиг максимума до 813 cm^{-1} ; при этом общий вид спектра начинает соответствовать таковому для синтетического аналога. Природный фергусонит в исходном состоянии не люминесцирует; термическая обработка приводит к проявлению узких полос свечения, обусловленных ионами Dy^{3+} в области 450 ÷ 500 и 560 ÷ 600 нм и Er^{3+} в области 500 ÷ 560 и 620 ÷ 700 нм. Спектр синтетического аналога содержит лишь одну широкую полосу с максимумом в области 432 нм, обусловленную свечением дефектных (?) NbO_4 -групп.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН (№ 124020300057-6) в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН.

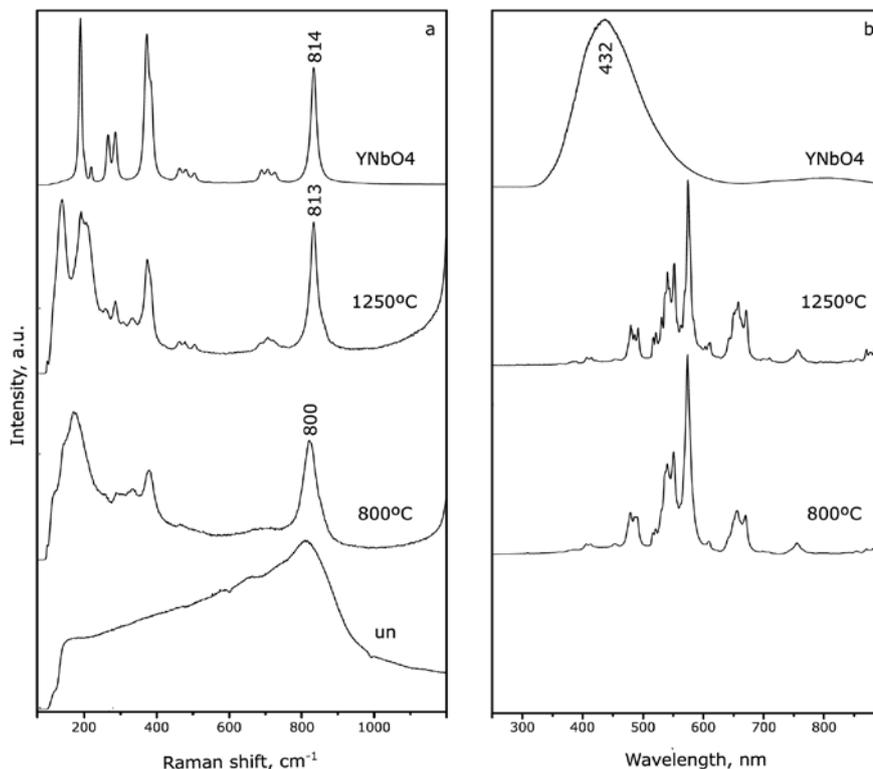


Рис. 1. Спектры КРС (а, спектрометр Horiba LabRam HR800) и КЛ (б, электронный микроскоп Jeol JSM6390LV с детектором Horiba H-CLUE iHR550) природного фергусонита в исходном состоянии и после отжига при 800 и 1250 °С и синтетического фергусонита состава $YNbO_4$

МОРФОТИПЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ХОЛЕЛИТОВ

Машина Е.В.

ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, mashina@geo.komisc.ru

Минералы биогенного происхождения широко распространены в литосфере Земли. Некоторые из них встречаются в составе патогенных агрегатов, формирующихся в организме человека [Кораго, 1992]. К одним из патогенных агрегатов относятся желчные камни – холелиты, образующиеся вследствие развития желчнокаменной болезни. Несмотря на то, что накопилось достаточно сведений о симптомах данной болезни и факторов ее образования, многие вопросы, онтогении холелитов, остаются недостаточно изученными. Исследование, в частности, внутреннего строения холелитов позволит дать представления об особенностях их формирования. В связи с этим, целью работы являлось изучение морфологии кристаллических холелитов. В качестве объектов послужили холестериновые холелиты жителей Республики Коми. Морфология образцов изучена с помощью бинокулярного микроскопа МБС-10. Микроскопическое исследование тонких срезов холелитов изучено в шлифах с помощью оптического поляризационного микроскопа МИН-8 и в сколах с помощью аналитического сканирующего электронного микроскопа VEGA3 TESCAN с энергодисперсионной приставкой X-Max.

Согласно проведенным исследованиям для холестериновых холелитов установлены следующие морфологические типы агрегатов: сферолиты, дендриты, оолиты. Образование сферолитов холестерина обусловлено расщеплением растущей поверхности

кристаллов на множество субиндивидов, каждый из которых становится самостоятельным ростовым центром и дает начало новому субиндивиду. Ориентировка индивидов совпадает с радиусом сферолитов, в итоге расщепленные кристаллы имеют единую веероподобную форму. Форма дендритов заведомо не соответствует представлению о равновесной и весьма далека от компактной. Кристаллические дендриты представляют собой ветвящееся и расходящееся в стороны образования, где вещество заполняет не все пространство. Как известно, рост дендритов идет в направлении интенсивного массопереноса или поступления питающего материала к их поверхности, при больших пересыщениях. Предполагается, что на формирование кристаллодендритов холестерина оказывали влияния те же условия. Центром зарождения оолитов, является фосфат кальция. Он выступает затравкой для наслаения холестерина. Осаждение фосфата кальция происходило при участии микрофлоры.

Таким образом, для кристаллических холестериновых холелитов установлены различные морфотипы агрегатов. Их облик диктуется приспособлением к определенным условиям роста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кораго А.А. Введение в биоминералогия. Санкт-Петербург: «Недра». 1992. 279 с.

ВОДОРОД И УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ГАЗЫ В ХИБИНСКОМ И ЛОВОЗЕРСКОМ ЩЕЛОЧНЫХ МАССИВАХ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Михайлова Ю.А.^{1,2}, Пахомовский Я.А.¹, Аксенов С.М.^{1,2}, Мокрушина О.Д.¹, Забавчик Н.И.¹

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Анатиты, Россия, j.mikhailova@ksc.ru

² ЦНМ КНЦ РАН, Анатиты, Россия

Крупнейшие в мире, Хибинский и Ловозерский щелочные массивы, расположены на юго-западе Кольского полуострова и сложены, в основном, нефелиновыми сиенитами и фойдолитами. Оба массива, как показали исследования И.А. Петерсилье (Петерсилье, 1964) и С.В. Икорского с коллегами (Икорский и др., 1992), отличаются необычно высокой насыщенностью водородом и углеводородными газами, преимущественно метаном. Газы находятся во включениях в породообразующих минералах, а также в системах пронизывающих породу (микро) трещин. Причем качественный состав этих двух форм нахождения газов одинаков (Икорский и др., 1992). Происхождение газов в породах двух массивов по сей день остается дискуссионным.

Наши исследования показали, что водород и углеводородные газы в Хибинском и Ловозерском массивах образуются в результате разнообразных минеральных реакций и имеют постмагматическое происхождение. Основную роль в генерации газов играет породообразующий нефелин, который после кристаллизации содержит углерод в виде мельчайших частиц (частично разупорядоченного) графита, а также воду и примесь двух- и трехвалентного железа. На постмагматической стадии происходили: (1) окисление Fe^{2+} в нефелине по схеме $Fe^{2+} + OH^- = Fe^{3+} + O^{2-} + 0.5H_2$ (Mikhailova et al., 2022) и (2) разложение «железистого нефелина» (Onuma et al., 1984) согласно схеме: $3NaFe^{3+}SiO_4 = NaFeSi_2O_6$ (эгирин) + Na_2SiO_3 (метасиликат натрия) + Fe_2O_3 . В результате внутри нефелина образовались мельчайшие вроски эгирина (3–5 мкм) и маггемита (~28 нм). Газовые включения сформировались одновременно с разложением «железистого не-

фелина» в результате взаимодействия графита с водородом или водой. Кроме того, водород образовывался при гидротермальных изменениях минералов группы эвдиалита и при окислении двухвалентного железа в породообразующих амфиболах ряда арфведсонит-магнезиоарфведсонит. Дальнейшее образование метана и других углеводородных газов было связано с реакциями Фишера-Тропша (Salvi, Williams-Jones, 1997): $nCO + (2n+1)H_2 = C_nH_{2n+2} + nH_2O$ и $nCO_2 + (3n+1)H_2 = C_nH_{2n+2} + 2nH_2O$.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 21-47-09010.

ЛИТЕРАТУРА

1. Икорский С.В., Нивин В.А., Припачкин В.А. Геохимия газов эндогенных образований. СПб: «Наука», 1992. 179 с.
2. Петерсилье И.А. Геология и геохимия природных газов и дисперсных битумов некоторых геологических формаций Кольского полуострова. Москва: «Наука», 1964. 169 с.
3. Mikhailova J.A., Aksenov S.M., Pakhomovsky Ya.A., Moine B.N., Dusséaux C., Vaitieva Y.A., Voronin M. Iron in nepheline: crystal chemical features and petrological applications // Minerals. 2022. V. 12. № 10. P. 1257.
4. Onuma K., Iwai T., Yagi K. Nepheline-“iron nepheline” solid solutions // J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. 4 Geol. Mineral. 1984. V. 15. P. 179–190.
5. Salvi S., Williams-Jones A.E. Fischer-Tropsch synthesis of hydrocarbons during sub-solidus alteration of the Strange Lake peralkaline granite, Quebec/Labrador, Canada // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. V. 61. № 1. P. 83–99.

СИНТЕЗ МИНЕРАЛОПОДОБНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРИМЕРАХ ФОСФАТНЫХ И СЛОЖНООКСИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Михайловская З.А.^{1,2}, Айрбабянц Ю.А.², Богданова Л.И.^{1,2}

¹ *Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, zozoikina@mail.ru*

² *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, limon0521@mail.ru*

Минералоподобные соединения с одной стороны, являются эффективным инструментом для изучения природных соединений и служат базой для экспериментальной минералогии, а с другой стороны представляют собой основу для получения новых природоподобных функциональных материалов. Наиболее доступными для рядовых исследователей методами синтеза поликристаллических образцов минералоподобных соединений на сегодня остается стандартная керамическая технология, низкотемпературный (до 200 °С) гидротермальный синтез и разнообразные методики с использованием жидких прекурсоров (соосаждение, золь-гель, вариации пиролизных методик, микроэмульсионные технологии и др.).

При кажущейся внешней простоте указанных техник («смешение исходных реагентов → температурная обработка → результат»), каждый из указанных методов в действительности обладает целым арсеналом средств, влияющих на состав, кристаллическую структуру и морфологию продукта. В частности, на результат синтеза по керамической технологии прямо или косвенно влияет природа прекурсоров, режимы отжига и закалок, состав атмосферы в печи, продолжительность и способ перетирания порошков, пеллетирование порошков и т.д. При использовании методик с жидкими прекурсорами значимым параметром является природа прекурсоров и вспомогательных веществ, концентрация и температура рабочих растворов, способы и последовательности смешения компонентов, кислотность активационной процедуры и др.

В настоящей работе рассмотрены примеры оптимизации синтеза фосфатов LnPO_4 со структурой монацита и ряда шеелитоподобных молибдатов со структурой шеелита; аттестация продуктов проведена методами рентгеновской дифракции и электронной микроскопии. Для синтеза однофазных

образцов монозамещенных фосфатов LnPO_4 методом соосаждения или золь-гель методом рекомендовано проведение синтеза из оксидов металлов с растворением в азотной кислоте с избытком 0–5% (за исключением $\text{Ln}=\text{Ce}$) при $\text{pH}=2\text{--}2.5$ (время осаждения не менее 40 мин, старение осадка не более одного дня в растворителе с заданной кислотностью). При синтезе полизамещенных фосфатов смешение растворов катионов должно осуществляться до осаждения (аппаратное перемешивание не менее получаса).

Выявлено, что при получении замещенных фосфатов из-за различия кислотно-основных свойств осаждаемых ионов металлов подбор pH может быть затруднен, и в этом случае для сохранения заданной стехиометрии следует осуществлять сушку реакционной смеси без отделения фильтрата. Конечная температура отжига для получения однофазных образцов со структурой монацита – не менее 1200 °С; формирование целевой фазы начинается при 800–1000 °С. Ультразвуковая обработка суспензий в ходе синтеза приводит к более раннему началу формирования целевой фазы, что способствует снижению конечной температуры синтеза, однако при этом возможно загрязнение образца материалом ультразвукового зонда.

В качестве альтернативной методики может быть использовано смешение аналогичных сухих прекурсоров в планетарной мельнице с последующими отжигами.

Для шеелитоподобных материалов на основе Nd/Sm/Eu замещенных $(\text{Ca/Sr})\text{MoO}_4$ проведено сравнение образцов, полученных методом соосаждения и по стандартной керамической технологии, выявлены оптимальные температуры конечных отжигов продукта (600–900–1050 °С), pH осаждения (6–6.5) и продолжительность отжигов.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГГ УрО РАН, тема № 124020300057-6.

АПАТИТ В ПОРОДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОМТОР, РОССИЯ

Мороз Т.Н.¹, Пальчик Н.А.¹ Жмодик С.М.¹, Коробова Н.С.^{1,2}

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, moroz@igm.nsc.ru

² Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия, korobovans@igm.nsc.ru

Апатит, кристаллохимическая формула $A_2A_3 [TO_4]_3 B$, $z = 2$, где А – Ca, Sr, Mg, Pb, Ba, Cs, Th, Y, La, Mn, Zn, реже K, Na; $TO_4 - PO_4, SiO_4, SO_4, VO_4, AsO_4, CO_3$; В – F, Cl, OH, O, Br, J, CO_3 и вакансии, кристаллизуется в гексагональной сингонии, пр. гр. $C_{6h}^2 = P6_{3/m}$. В природных, синтетических и биологических апатитах наблюдаются практически все перечисленные типы замещений. Изучение минерального состава образцов Nb-РЗЭ месторождения Томтор (Республика Саха, Якутия) показало, что апатит содержащие образцы характеризовались большим количеством разнообразных анионных и катионных замещений [Moroz et al, 2021], в том числе РЗЭ в различных структурных позиция, а именно Ca(I) с C_3 симметрией и Ca(II) с C_s симметрией.

Методами дифрактометрии, захватывающей область дальнего порядка структурной организации веществ, инфракрасной спектроскопии (ИК), чувствительной к ближнему структурному порядку был определен индекс кристалличности исследуемых апатитов. В спектрах комбинационного рассеяния (КР) апатита помимо уширенной полосы основного фундаментального колебания фосфатной группы с волновым числом $\nu \approx 963 \text{ см}^{-1}$ наблюдалась, как артефакт, люминесценция таких элементов как Mn^{2+}, d^6 и Fe^{3+}, d^6 , Sm^{3+} , Pr^{3+} , Er^{3+} . Также в КР спектрах (рис. 1) зафиксирована цианобактериальная составляющая каротиноидного типа, что подтверждает участие микроорганизмов при формировании уникально-богатых руд Nb-РЗЭ-месторождения Томтор [Dobretsov et al, 2021].

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 23-63-10017.

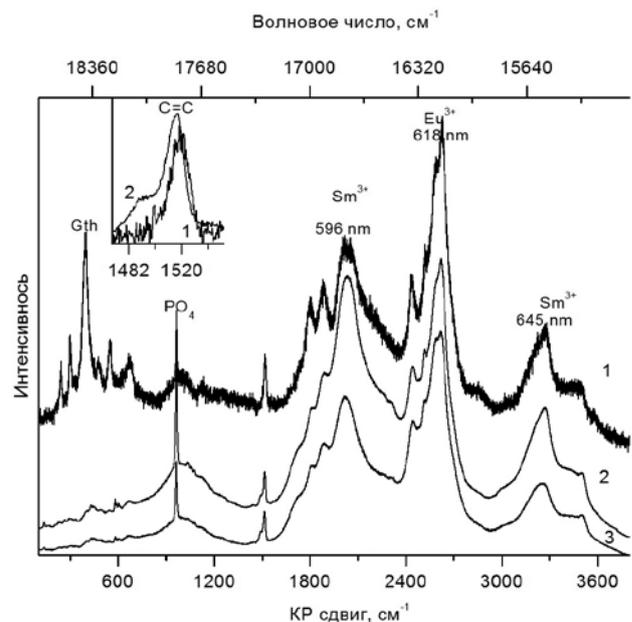


Рис. 1. КР спектры образцов 101-1, 2, 3. На вставке – область C = C колебаний каротиноида. Gth – гетит

ЛИТЕРАТУРА

1. Dobretsov N.L., Zhmodik S.M., Lazareva E.V., et al. Structural and Morphological Features of the Participation of Microorganisms in the Formation of Nb-REE-Rich Ores of the Tomtor Field (Russia) // *Doklady Earth Sci.* 2021. V. 496 (2). P. 135–138.
2. Moroz T.N., Palchik N.A., Zhmodik S.M., et al. Crystal-Chemical Features of Apatite in Carbonates of the Tomtor Deposit (The Republic of Sakha (Yakutia), Russia): X-Ray Diffraction and Vibrational Spectroscopy Data // *Crystallog. Report* 2021. V. 66(6). P. 223–230.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА МЕСТЕ ПАДЕНИЯ ГЛАВНОЙ МАССЫ МЕТЕОРИТНОГО ДОЖДЯ ЧЕЛЯБИНСК

Муравьев Л.А., Горшков В.Ю., Овчаренко А.В., Шапов В.А.

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия, mlev@mail.ru

Падение Челябинского метеорита 15 февраля 2013 года [Popova et al., 2013] стало одним из наиболее ярких событий последних лет. Основная масса метеорита упала на покрытую льдом поверхность озера Чебаркуль, образовав полынью диаметром 8 метров была. Глубина озера в данном месте 9 метров до отложений ила, которые помешали водолазам непосредственно обнаружить фрагмент. Потребовалось более точное указание места расположения куска и ответ на вопрос – не разрушился ли он при ударе на части. При поисках вземного вещества эффективно используются геофизические исследования и в первую очередь магнитная съемка [Муравьев и др., 2020, Овчаренко и др., 2021]. Первая магнитометрическая съемка с целью определения местоположения фрагмента метеорита проведена лабораторией Квантовой Магнитометрии УрФУ в 2013 году в первые дни после падения. Выявлен ряд аномалий и в результате [Narkhov et al., 2018] были даны координаты вблизи которых 16 октября 2013 года водолазами компании «Алеут» (Н.Э. Мурзин) был извлечен крупный метеорит.

Данные магнитных съемок других исследовательских групп [Kletetschka et al., 2015], позволяли предположить наличие еще одного большого фрагмента метеорита. В 2023 году на ледовой поверхности вблизи места падения главной массы были проведены комплексные геофизические исследования. Повторно проведена магнитная съемка, впервые проведено электропрофилеирование с помощью компактной аппаратуры [Карин и др., 2018], и применен метод электротомографии [Балков и др., 2012] с ледовой поверхности. Результаты проведенных работ обсуждаются в докладе.

Работа выполнена по плану НИР ИГФ УрО РАН, Рег. № НИОКТР 122062200033-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балков Е.В., Панин Г.Л., Манштейн А.К., Манштейн Ю.А., Белобородов В.А. Опыт применения электротомографии в геофизике // Геофизика. 2012(6). С. 54–63. EDN: RZDIMJ.
2. Карин Ю.Г., Балков Е.В., Фадеев Д.И., Манштейн А.К., Панин Г.Л., Алымов А.О., Романов Д.Б. Электромагнитное профилирование компактной аппаратурой: новый подход и результаты применения // Вестник НГУ. – Серия: информационные технологии. 2018. Т. 16(4). С. 68–78 EDN: YQNXAT.
3. Муравьев Л.А., Нархов Е.Д., Сапунов В.А., Сергеев А.В., Федоров А.Л. Магнитометрический поиск вземного вещества // Инженерная и рудная геофизика 2020. EDN: RYZZOT.
4. Овчаренко А.В., Литовский В.В., Шапов В.А. Геофизические поиски фрагментов метеорита «Стерлитамак» // Известия Уральского государственного горного университета. 2021. Вып. 2 (62). С. 123–133. EDN: VIHHJM.
5. Kletetschka, G., Vyhnánek, J., Kawasumiova, D., Nabelek, L., Petrucha, V. Localization of the Chelyabinsk Meteorite from Magnetic Field Survey and GPS Data // IEEE Sensors Journal 2015 (15) P. 4875–4881. DOI: 10.1109/JSEN.2015.2435252.
6. Narkhov E.D., Sapunov V.A., Sergeev A.V., Fedorov A.L. Magnetometric Search of Chelyabinsk Meteorite's Main Mass // Meteoritics & Planetary Science 2018. V. 53 SI: 6275.
7. Popova O.P. et al. Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery, and characterization // Science. 2013. 342(6162). P. 1069–1073. EDN: SLEHYR.

НАХОДКА ГЛАВНОЙ МАССЫ МЕТЕОРИТНОГО ДОЖДЯ ЦАРЕВ

Муравьев Л.А.^{1,2}, Корочанцев А.В.³, Гроховский В.И.²

¹ Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия, mlev@mail.ru

² Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, grokh47@mail.ru

³ ГЕОХИ РАН, Москва, Россия, russian-naturalist@mail.ru

6 декабря 1922 года на юге России наблюдался полет суперболида. Непосредственно после падения метеорит отыскать не удалось, несмотря на ряд предпринятых экспедиций. При распашке полей в 1968 г. стали находить «странные камни», но сообщение об этом в Комитет по метеоритам поступило только в 1979 г. от местного жителя Б.Г. Никифорова. За десять лет от местных жителей и на полях в окрестностях сел Царев, Солодовка, Колобовка, Заря экспедициями Комитета по метеоритам АН СССР, ГЕОХИ РАН, МГУ, УГТУ-УПИ и т. д. было собрано в общей сложности до сотни осколков общей массой около 1,5 тонн метеоритного дождя Царев L5.

Находки позволили оконтурить эллипс рассеяния [Зоткин, Цветков, 1984], однако сделанные оценки являются весьма приблизительными. Координаты многих образцов указывались жителями по памяти, а некоторые метеориты были перемещены при распашке. В последние несколько десятилетий увеличился неконтролируемый сбор вещества этого метеорита, в результате чего сведения о найденных экземплярах остаются недоступными научному сообществу. Ранее на основе методики подсчета инверсий [Цветков, Горицкий, 1983] была оценен азимут полета метеороида [Muravyev, Grokhovsky, 2016] и сделана оценка величины недобора массы [Muravyev, Grokhovsky, 2017].

В июле 2019 г. был обнаружен самый крупный индивидуальный экземпляр массой более 600 кг. Образец разбился на множество осколков, образовав небольшую воронку. Воронка в рельефе почти не просматривалась, но практически все осколки находились в грунте с крайне небольшим ареалом рассеяния. Самый крупный фрагмент массой 320 кг хранится в Музее истории мироздания в г. Дедовске Московской обл. Местоположение находки вписывается в эллипс рассеяния (рис. 1), и можно предположить, что это и есть главная масса метеоритного дождя Царев.

На сегодня собраны сотни экземпляров общей массой более двух тонн. Новые находки позволили уточнить сделанные ранее выводы об азимуте полета

болида, он изменился с 315° (синий пунктир) на 325° (красная линия). Большая ось эллипса рассеяния вещества удлинилась до 11 км. Центр масс (красный крест) сместился на 1 км. На сегодня это крупнейшее падение каменного метеорита на территории России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зоткин И. Т., Цветков В. И. Рассеяние каменного метеоритного дождя Царев // Метеоритика. 1984. Вып. 43. С. 3–8.
2. Цветков В. И., Горицкий Ю. А. Вероятностная оценка ориентированности поверхностного рассеяния метеоритных дождей // Астрономический вестник. 1973 г. Т. VII(3).
3. Muravyev L. A., Grokhovsky V. I. Statistical evaluation of Tsarev meteorite shower dispersion // Meteoritics & Planetary Science. 2016. V. 51. A477.
4. Muravyev L. A., Grokhovsky V. I. Mass balance evaluation of Tsarev meteorite collection completeness // Meteoritics & Planetary Science. 2017. V. 52. A248.

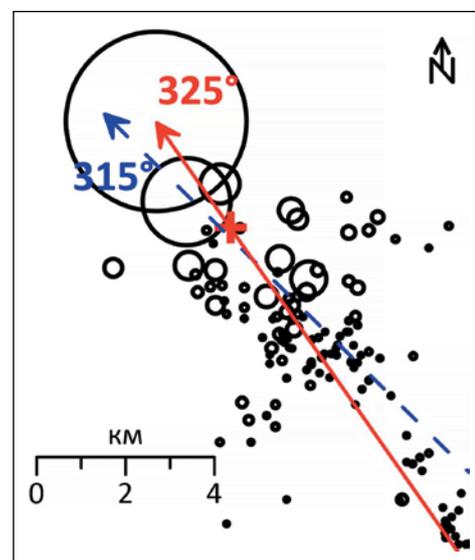


Рис. 1. Поле рассеяния метеорита Царев

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТОВ В ПРОБЛЕМЕ АСТЕРОИДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Муфтахетдинова Р.Ф.¹, Разоренов С.В.², Хомская И.В.³, Гроховский В.И.¹,
Хотинов В.А.¹, Яковлев Г.А.^{1,4}, Брусницына Е.В.¹, Савиных А.С.², Гаркушин Г.В.²

¹ Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, gizrozka91@bk.ru

² Федеральный исследовательский центр проблем химической физики
и медицинской химии РАН, Черноголовка, Россия

³ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

⁴ Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого
Уральского отделения РАН, Екатеринбург

Проблема исследования структуры и свойств материалов внеземного происхождения (метеориты и астероиды) в последнее время принимает особую актуальность в связи с осознанием кометно-астероидной опасности для Земли и изысканием возможностей ее предотвращения. Несомненно, характер разрушения при соударении тел в космическом пространстве и разрушение метеорных тел в земной атмосфере определяется, прежде всего, их прочностными характеристиками [Адушкина и Немчинова, 2005]. Однако к настоящему моменту данные об уровне механических свойств метеоритов весьма ограничены, а известные результаты получены, в основном, при испытаниях на сжатие [Petrovic, 2001]. На сегодняшний день метеориты являются более доступным для лабораторных исследований проастероидным веществом, чем вещество, доставленное на Землю различными космическими миссиями.

Цель исследования заключалась в определении прочностных свойств железных метеоритов путем проведения как квазистатических, так и динамических испытаний, а также в изучении особенностей их разрушения. Испытания проводились на веществе железных метеоритов Чинге (~17% Ni), Сихотэ-Алинь (5–7% Ni), Сеймчан (~9.1% Ni), Дронино (~9.3% Ni) и Fe-Ni сплавы, имеющие близкий к метеоритному состав.

Статические испытания на растяжения выполнены при комнатной температуре на универсальной машине INSTRON 3382 на плоских образцах длиной 75 мм, толщиной 2 мм и шириной 15 мм, вырезанных из метеоритов Чинге и Сеймчан, а также из сплава

Fe-7.7 Ni. Оценку скоростной чувствительности m исследуемых материалов проводили при разных скоростях деформации $V_d = 0,2, 2,0$ и 20 мм/мин, а для образцов сплава Fe-7,7Ni дополнительно при $V_d = 1$ мм/мин. Наиболее ярко зависимость с тенденцией увеличения пластичности наблюдается для метеорита Чинге.

Ударно-волновое нагружение (УВН) образцов исследуемых материалов проведены на пневматической пушке ПП50 калибром 50 мм с интенсивностью ~ 5.5 и 11 ГПа при средней скорости деформации материала в 10^5 с⁻¹ до момента откольного разрушения. Сравнительный анализ полученных данных по откольной прочности, показал, что на разрушение вещества метеоритов мало влияет микроструктура вещества, и разрушение в диапазоне 2.5–4 ГПа, что связано с их макро-неоднородностью.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития УрФУ в соответствии с программой «Приоритет-2030» и проекта № FEUZ-2023-0014 (Г.В.И., Я.Г.А.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Катастрофические воздействия космических тел./ Под ред. В.В. Адушкина и И.В. Немчинова. Институт динамики геосфер РАН.– М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 310 с.
2. Petrovic J.J. Review Mechanical properties of meteorites and their constituents// Journal of material science. 2001. V.36. P. 1579–1583.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ПРИРОДЕ ОКРАСКИ УРАЛЬСКИХ ФЕНАКИТОВ

Николаев А.Г.¹, Попов М.П.^{2,3}, Хасанова Н.М.¹, Малышев А.В.¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

² Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

³ Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Фенакит (Be_2SiO_4) был впервые обнаружен на российских уральских изумрудных рудниках и химически идентифицирован в 1833 году. Минерал широко распространен в месторождениях бериллия, но кристаллы ювелирного качества или крупных размеров редки. Однако на уральских рудниках встречаются крупные прозрачные кристаллы, которые можно использовать в ювелирных изделиях. Ювелирный фенакит, как правило, бесцветный или желтовато-коричневый.

Происхождение цвета фенакита методами оптической абсорбционной спектроскопии детально не изучено. Многие авторы сходятся во мнении, что окраска связана с электронно-дырочными центрами [Марфунин, 1975]. Об этом свидетельствует исчезновение цвета при воздействии на фенакит либо ультрафиолетового излучения, либо высоких температур. По одной из теорий поглощения, это связано с кислородными вакансиями, захватившими электроны [Марфунин, 1975]. Другие исследователи полагают, что особенности поглощения связаны с мостиковыми электронными центрами типа Al-O-Al, образующимися при изоморфном замещении кремния ионами алюминия в кристаллической решетке в количествах до 0,5%. Авторами были выполнены исследования методами оптической абсорбционной спектроскопии и ЭПР спектроскопии бесцветных и окрашенных фенакитов и было выявлено что окраска их связана с фосфорным радикалом $[\text{PO}_4]^{4-}$ [Nikolaev, 2018]. Ниже дана информация по новым результатам исследований окраски фенакитов, которые показали сложность формирования окраски фенакитов из Уральских изумрудных копей.

Для определения происхождения цвета желто-коричневых фенакитов были получены спектры оптиче-

ского поглощения бесцветного и желто-коричневого фенакита Мариинского месторождения. Спектры были сняты в диапазоне длин волн 185–700 нм при комнатной температуре на специализированном спектрофотометре Shimadzu UV-3600. В оптических спектрах поглощения наблюдаются две полосы поглощения, первая полоса находится в районе 190–210 нм, вторая в районе 240–280 нм. Поглощение в ультрафиолетовой области оптического спектра в прозрачных бесцветных фенакитах не обнаружено.

Для изучения электронно-дырочных центров и выявления центров окраски в фенаките кристаллы исследовались методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Парамагнитный центр $[\text{PO}_4]^{4-}$ обнаружен только в желто-коричневых кристаллах, а активные центры отсутствовали в бесцветных образцах. Отсюда мы сделали вывод, что происхождение желто-коричневой окраски фенакита связано с парамагнитным комплексом $[\text{PO}_4]^{4-}$, вызывающим полосы поглощения в ультрафиолетовой области, что, в свою очередь, приводит к образованию данной окраски в минерале. Центр $[\text{PO}_4]^{4-}$ формируется при замещении фосфора ионов кремния в кремнекислородном тетраэдре в структуре фенакита с последующем естественным облучением, на это указывает низкую устойчивость окраски.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марфунин А.С. Спектроскопия, центры люминесценции и излучения в минералах. Москва: «Недра», 1975. 372 с.
2. Nikolaev A.G., Popov M.P., Nizamutdinov N.M. Color origin of phenakites from the Ural emerald mines // *Gems&Gemology*. 2018. V. 54 (1). P. 101–102.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА МИНЕРАЛЬНЫХ МИКРОФАЗ ПАЛЛАДИЯ В СУЛЬФИДНЫХ РУДАХ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ И РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО МИКРОАНАЛИЗА

Николаев А.В., Финкельштейн А.Л., Белозерова О.Ю., Мехоношин А.С.

*ИГХ СО РАН, Иркутск, Россия, Odinszova@Yandex.ru,
finkel@igc.irk.ru, obel@igc.irk.ru, Mekhonos@igc.irk.ru*

Оценка состава включений минеральных фаз палладия микронных размеров в рудах и рудопрооявлениях является важным и необходимым этапом для понимания генезиса руд и оценки содержания ценных минеральных компонентов. Для решения подобных задач используются метод сканирующей электронной микроскопии в сочетании с полупроводниковым детектором рентгеновского излучения (СЭМ ЭД) и электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ с кристалл-дифракционными каналами (РСМА). При определении состава включений, размер которых сопоставим или менее размера области генерации анализируемого рентгеновского излучения (порядка 1–5 мкм), аналитический сигнал содержит элементы включения и элементы окружающей матрицы. Это приводит к трудностям идентификации принадлежности элементов исследуемой микрофазе или окружающей матрице. В литературе для уменьшения размера области локального анализа рекомендуют работать при пониженном ускоряющем напряжении электронного пучка меньше рекомендуемого 15–25 кВ. Уменьшение ускоряющего напряжения требует перенастройки программного обеспечения количественного анализа.

В данной работе выполнены оценки погрешности определения состава палладийсодержащих минеральных фаз микронных размеров в сульфидных и силикатных матрицах при различном ускоряющем напряжении 10, 15, 20 кВ.

Объектами исследования являлись аншлифы, изготовленные из образцов горных пород с месторождения Медек Йиско-Тагульской платинометаллоидной провинции, которое локально богато элемен-

тами платиновой группы [Мехоношин и др., 2018]. Изучали включения майченерита (PdTeBi), фрудита (PdBi_2) и некоторых других микрофаз в матрицах халькопирита, пирротина, пентландита и тремолита.

Измерения выполнены с помощью СЭМ MIRA 3 LMN (TESCAN, Чехия) с системой микроанализа AztecLive Advanced Ultim Max 40 и электронно-зондовом микроанализаторе JEOL JXA-8200 Superprobe (Япония) с пятью кристалл-дифракционными спектрометрами.

Оценка области генерации рентгеновского излучения показала, что для правильного определения состава размер микровключений должен превышать 5.2 мкм при ускоряющем напряжении 20 кВ, 3.2 мкм при 15 кВ, 2.6 мкм при 10 кВ. Расхождения между результатами определения состава с помощью СЭМ MIRA 3 при различном ускоряющем напряжении и результатами определения на микроанализаторе JEOL JXA-8200 1.2–1.8 %, мас. в частице PdBi_2 (20% Pd). Величина и знак расхождений не зависел от ускоряющего напряжения. Оценка эффекта флуоресценции свидетельствует о том, идентификация принадлежности элементов примесей микрофазам при содержании 2–5 % мас., не является надежной, если эти элементы представляют основной состав окружающей матрицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б., Дорошков А.А. Геохимическая модель формирования платиноносного дунит-верлитового массива Медек (Восточный Саян, Россия) // Геология и геофизика, 2018. Т. 59 (12). С. 2011–2026.

ИЗУЧЕНИЕ АНАЛОГОВ МЕЖЗВЕЗДНЫХ ЛЬДОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ПОМОЩИ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ

Ожиганов М.Э., Медведев М.Г., Картеева В.М., Накибов Р.С., Сапунова У.А., Васюнин А.И.

*Научная лаборатория астрохимических исследований, УрФУ,
Екатеринбург, Россия, maksim.ozhiganov@urfu.ru*

Изучение льдов различного молекулярного состава является важной составляющей межзвездной среды и Солнечной системы. На достаточном расстоянии от звезды низкие температуры позволяют конденсироваться таким летучим соединениям, как, например, метан [Emitaz et al., 2020]. Подобные процессы происходят на поверхности комет, астероидов, спутников газовых гигантов (Титан, Тритон) и прочих объектах, входящих в состав Солнечной системы.

Систематические наблюдения космических объектов в инфракрасном диапазоне ведутся с конца XX-го века. Их анализ позволяет получить информацию о количественном и качественном составе космических льдов. Такого рода интерпретация производится путем сопоставления наблюдательных спектров со спектрами конденсированных молекул, полученными в лабораторных условиях, максимально приближенных к условиям космоса [Boogert et al., 2015]

На базе Уральского Федерального университета в лаборатории астрохимических исследований была спроектирована и собрана экспериментальная установка, позволяющая создавать сверхвысокий вакуум (10^{-10} мбар) и поддерживать криогенные температуры (до 7 К). Она представляет собой вакуумную камеру с системой насосов. В камере располагается германиевая подложка, охлаждаемая криостатом. На подложку напыляются исследуемые вещества, которые в дальнейшем могут взаимодействовать между собой, либо претерпевать иную

обработку. Напыляемые аналоги космических льдов изучаются прежде всего с помощью инфракрасной спектроскопии пропускания. Для съёмки спектров подложка просвечивается инфракрасным лучом Фурье-спектрометра. Чистота исследуемых веществ и состав напыляемых льдов контролируются с помощью квадрупольного масс-спектрометра. Исходя из показаний спектрометров можно определить приблизительную толщину льда и лучевую концентрацию молекул в напыленном льде.

При помощи установки возможно создание ледяных пленок различной толщины, сопоставимых с ледяными мантиями межзвездных пылевых частиц. Возможно получение как однокомпонентных льдов, так и льдов сложного химического состава. Проведение экспериментов возможно в диапазоне температур 7–300 К. Получаемые инфракрасные спектры пропускания могут сравниваться непосредственно с астрономическими спектрами, которые получают космические инфракрасные телескопы.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 23-12-00315.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boogert A.C.A., Gerakines P. A., Whittet D.C.B. Observations of the Icy Universe // Annual Review of Astronomy and Astrophysics 2015. V 53. P. 541–581.
2. Emitaz S.M., Toriello F., He J., Vidali G. Infrared Spectroscopic Study of Methane Ice, Pure and in Mixtures with Polar (H_2O) and Nonpolar (N_2) Molecules // J. Phys. Chem. A 2022. V. 126. P. 1976–1979.

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУР РАВНОВЕСНОГО КАТИОННОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ В ОЛИВИНЕ И ОРТОПИРОКСЕНЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ И МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Петрова Е.В., Чукин А.В., Оштрах М.И.

*Физико-технологический институт, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Россия, e-mail: oshtrakh@gmail.com*

Температура равновесного катионного упорядочения T_{eq} в силикатных кристаллах оливин и ортопироксене позволяет анализировать термическую историю этих минералов в обычных хондритах. Эта температура определяет равновесие катионов Fe^{2+} и Mg^{2+} , распределенных между кристаллографически неэквивалентными позициями M1 и M2 в оливине и ортопироксене. При изменении температуры за определенный период времени достигается новое катионное равновесие, соответствующее этой температуре. Если происходит резкое охлаждение силикатных кристаллов с замораживанием данного равновесного катионного упорядочения, то это распределение катионов Fe^{2+} и Mg^{2+} определяет равновесную температуру, с которой началось охлаждение. В случае медленного охлаждения силикатов T_{eq} определяет энергетический предел катионного обмена между позициями M1 и M2 в данном силикатном кристалле.

Для оценки T_{eq} требуется информация о заселенности катионами Fe^{2+} и Mg^{2+} позиций M1 и M2 в оливине и ортопироксене обычных хондритов. Методом рентгеновской дифракции (XRD) эти заселенности можно определить из дифрактограмм обычных хондритов. С другой стороны, мессбауэровская спектроскопия с высоким скоростным разрешением позволяет выявлять компоненты спектров обычных хондритов, связанных с ядрами ^{57}Fe в позициях M1 и M2 в оливине и ортопироксене. Относительные площади этих компонент примерно пропорциональны долям ядер ^{57}Fe в этих позициях. Таким образом, двумя независимыми методами мож-

но оценить соотношение заселенностей катионами Fe^{2+} позиций M1 и M2 как в оливине, так и в ортопироксене. Затем из этих данных можно рассчитать коэффициент упорядочения K_D и температуры T_{eq} для оливина и ортопироксена, что детально описано в работах [Maksimova et al., 2020; Maksimova and Oshtrakh, 2021]. В результате проведенных исследований на примере 14 обычных хондритов получены оценки T_{eq} для оливина и ортопироксена на основе двух независимых методов – XRD и мессбауэровской спектроскопии, которые оказались в хорошем согласии между собой.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2023-0013. Е.В.П. и М.И.О. выражают благодарность за поддержку по программе развития УрФУ «Приоритет 2030» (финансирование Министерства науки и высшего образования Российской Федерации).

ЛИТЕРАТУРА

1. Maksimova A.A., Petrova E.V., Chukin A.V., Oshtrakh M.I. Fe^{2+} partitioning between the M1 and M2 sites in silicate crystals in some stony and stony-iron meteorites studied using X-ray diffraction and Mössbauer spectroscopy. // J. Mol. Struct. 2020. V. 1216. Article No 128391.
2. Maksimova A.A., Oshtrakh M.I. Applications of Mössbauer spectroscopy in meteoritical and planetary science, Part I: undifferentiated meteorites. // Minerals. 2021. V. 11. Article No 612.

ТИОИДАТЫ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ: РТ-ЗАВИСИМАЯ РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ, КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Панкрушина Е.А.^{1,2}, Чареев Д.А.³, Рогинский Е.М.⁴, Печурин М.С.¹, Вотяков С.Л.¹

¹ *Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия, pankrushina@igg.uran.ru*

² *ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

³ *Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, Россия*

⁴ *ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия*

Развитие концепции фононной инженерии ангармоничности (anharmonicity engineering) [Heremans, 2015] и ее подходов (описание фононных спектров, их зависимости от температуры, давления и других факторов), являются определяющими при объяснении механизмов теплового расширения, теплопроводности, при объяснении свойств материалов. Рамановская спектроскопия предоставляет ту же информацию о фононном ангармонизме, что и неупругое рассеяние нейтронов, но с рядом преимуществ: высокое разрешение и возможность изучения микронных образцов. Система $M_2S - In_2S_3$ давно вызывает интерес в химии твердого тела, однако о свойствах тионидатов щелочных металлов MIn_5S_8 (M – щелочной металл) практически нет информации в литературе. Цель работы – в рамках развития направления инженерии ангармоничности на примере синтетических KIn_5S_8 , $RbIn_5S_8$, $CsIn_5S_8$ изучить проявления динамических и термодинамических свойств

в рамановской спектроскопии за рамками гармонической модели. В данной работе представлены первые результаты экспериментального и теоретического исследования на кристаллах KIn_5S_8 , $RbIn_5S_8$, $CsIn_5S_8$ по данным РТ-зависимой рамановской спектроскопии и DFT. Рассмотрены вопросы электронных и фононных свойств. Полученные результаты позволят расширить представление о подобных материалах, предложить перспективы их применения, а также продвинуться в развитии концепций инженерии ангармоничности.

Работа выполнена в рамках з/б темы ИГГ УрО РАН №123011800012-9 и ФИЦ КНЦ РАН №122011300125-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Heremans J. P. The anharmonicity blacksmith. // Nature Physics. 2015. V. 11(12). P. 990–991.

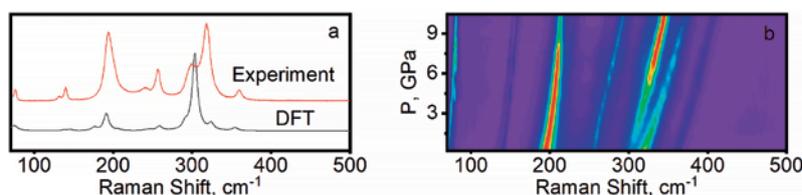


Рис. 1. Экспериментальный и расчетный рамановский спектр $RbIn_5S_8$ (a), 2D-диаграмма изменения рамановского спектра $RbIn_5S_8$ от 0 до 10 ГПа (b).

О РАЗРАБОТКЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ РЕСТОРАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТОМАТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ БИМИНЕРАЛОВ – СКОРЛУПЫ КУРИНЫХ ЯИЦ

Панфилов П.Е.^{1,2}, Коровин Р.Д.¹, Кабанова А.В.¹, Меженев М.Е.^{1,2}, Григорьев С.С.³, Зайцев Д.В.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

³ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

Обсуждаются строение и свойства материалов на основе скорлупы куриных яиц – минерала биологического генезиса, на 95% состоящего из карбоната кальция, который можно рассматривать в качестве перспективного ресторативного материала для стоматологии.

Разработка ресторативных материалов для стоматологии является актуальной задачей биомедицинского материаловедения. Скорлупа птичьих яиц – биоминерал на 95% состоящий из карбоната кальция и 5% биоорганических соединений обладает высокой биосовместимостью, а по прочности она близка к эмали и дентину зубов. В докладе обсуждается деформационное поведение образцов, как вырезанных из скорлупы, так и приготовленных из нее методом компактирования. Образцы из скорлупы яиц вырезали при помощи дисковой алмазной пилы вдоль главной оси яйца шириной 2 мм и длиной 10–15 мм. На часть этих образцов наносили покрытия из полимерных пломбных материалов. Из порошка куриной скорлупы прессовали образцы в форме цилиндров диаметром 10–12 мм и разным соотношением диаметра к высоте либо без связующего, либо с разными клеями качестве связующего. Образцы, вырезанные из скорлупы, деформировали по схемам 3-х точечного изгиба и среза на воздухе и в воде. Компактированные образцы испытывали на воздухе по схемам одноосного

сжатия и диаметрального сжатия. Был изучен рост трещин в образцах из скорлупы при изгибе непосредственно на оптическом микроскопе.

При минимальном уровне растягивающих нагрузок (одноосное сжатие и срез) модельные материалы на макроскопическом масштабе демонстрировали вязкое поведение, как на воздухе, так и в воде. При приложении растягивающих нагрузок, все материалы вели себя хрупко на макроскопическом масштабе. При этом трещины, по росту которых можно получить информацию о деформационном поведении материала на микроскопическом масштабе, демонстрировали вязкое поведение. При изгибе трещины в скорлупе можно было подрастить, увеличивая стрелу прогиба. На основании полученных результатов можно заключить: (1) тип поведения скорлупы на макроскопическом уровне определяется долей растягивающих напряжений в схеме деформирования и меняется от хрупкого при изгибе и диаметральном сжатии до вязкого при сжатии и срезе; (2) на микроскопическом масштабе, поведение модельных материалов аттестовано как вязкое при всех схемах нагружения; (3) влияние водной среды не приводило к качественным изменениям в поведении модельных материалов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 23-29-00253).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Петров М.С.^{1,2}, Нурканов Е.Ю.², Кадушников Р.М.²

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, mp@siams.com

² ООО «СИАМС», Екатеринбург, Россия, nurkanov@siams.com

Микроскопия является базовым инструментом для задач петрографии, минераграфии и минералогии. Метод количественного исследования с использованием оптических или растровых электронных микроскопов именуется оптико-геометрическим методом [Башлыкова и др. 2005]. В силу большей доступности оптическая микроскопия является более распространенной, но имеет ограничения физического характера в части разрешающей способности и оптических свойств минералов.

В отражённом свете идентификация минералов с высокой отражательной способностью ($K > 15\%$) и контрастными оптическими свойствами на цифровых изображениях выполняется каноническими методами анализа изображений с помощью пороговых функций сегментации (выделения) пикселей с одинаковыми цвето-яркостными характеристиками с последующей постобработкой. В то же время нерудные минералы обладают низкой отражательной способностью ($K < 4\%$) и контрастностью, что затрудняет их анализ в отраженном свете одновременно с рудными минералами. Проблема решается методами поляризационного контраста в проходящем свете, однако требует изготовления прозрачных шлифов.

В ряде допустимых случаев для сегментации нерудных и слабоконтрастных минералов в от-

раженном свете предлагается технология глубокого машинного обучения. Данная технология была опробована на образцах сульфидных руд с высоким содержанием нерудных минералов и образцах нефелин-апатитового продукта. В частности, для случая нефелин-апатитового продукта была использована нейросеть типа image segmentation, обученная на выборке из 20 изображений (2480 x 2000 пикс.) с размеченными в специализированном ПО «Минерал С7» [2] экспертом зернами нефелина. Затем обработка изображений на обученной нейросети были встроены в ПО «Минерал С7» (рис. 1).

Таким образом, в несколько раз повысилась производительность количественного анализа, поскольку нефелин, не выделяемый каноническим способом, с минимальными потерями выделяется обученной нейросетью в ПО «Минерал С7».

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические аспекты рационального недропользования: роль технологической оценки в развитии и управлении минерально-сырьевой базой страны. Т.В. Башлыкова и др. Под науч. ред. Ю.С. Карабасова. – М.: МИСИС, 2005. 576 стр.
2. Руководство пользователя ПО «Минерал С7» ООО «СИАМС», 47 стр.

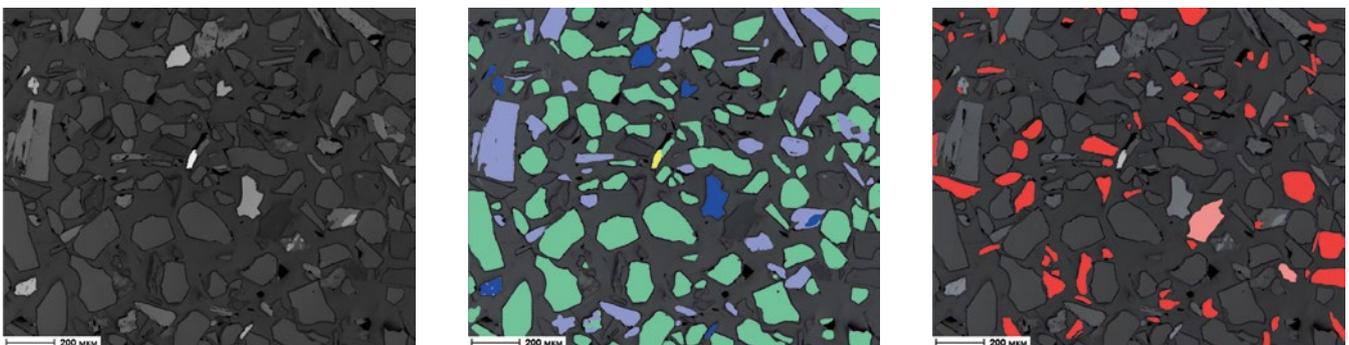


Рис. 1 Изображения участка полированного брикета нефелин-апатитового продукта (а – исходное; б – с выделенными ильменитом, титанитом, эгирином, апатитом; в – с выделенным с помощью обученной нейросети нефелином)

РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКЦИЯ, МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ВНУТРЕННЕГО ВЕЩЕСТВА И КОРЫ ПЛАВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ

Петрова Е.В.¹, Чукин А.В.¹, Фелнер И.², Оштрах М.И.¹

¹ Физико-технологический институт, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Российская Федерация, e-mail: evgeniya.petrova@urfu.ru

² Институт физики им. Ракаха, Еврейский университет, Иерусалим, Израиль

Изученные в данной работе фрагменты метеоритов являются падениями: Кемер L4 – 3 марта 2008 г., Челябинск LL5 – 15 февраля 2013 г., Озерки L6 – 21 июня 2018 г. Все эти метеориты классифицированы как обыкновенные хондриты L типа (*Meteoritical Bulletin*, No 99, 102, 107) и исходно характеризовались малой степенью земного выветривания W0. В состав обыкновенных хондритов входят основные железосодержащие минералы: оливин (Fe, Mg)₂SiO₄, ортопироксен (Fe, Mg)SiO₃, клинопироксен (Fe, Mg, Ca)SiO₃, троилит FeS, хромит FeCr₂O₄, герцинит FeAl₂O₄, ильменит FeTiO₃, сплав Fe-Ni-Co, в котором сформированы α-Fe(Ni, Co), α₂-Fe(Ni, Co), γ-Fe(Ni, Co) и γ-FeNi(Co) фазы, а также присутствуют некоторые соединения окисленного железа, образовавшиеся в результате земного выветривания в случае длительного пребывания фрагментов метеоритов на Земле.

Порошки образцов внутренней части метеоритного вещества и коры плавления изучены методами рентгеновской дифракции (XRD), магнитных измерений и мессбауэровской спектроскопии с высоким скоростным разрешением [Oshtrakh et al., 2023]. Обнаружены магнитные фазовые переходы в хромите и герцините метеоритов Озерки L6 и Кемер L4, а также различные значения магнитных моментов насыщения для этих метеоритов и уменьшение их значений для коры плавления обоих метеоритов. Наилучшая аппроксимация мессбауэровских спектров внутренней части и коры плавления хондритов

Кемер L4, Челябинск LL5 и Озерки L6 позволила получить оценки параметров сверхтонкой структуры ядер ⁵⁷Fe и относительные площади компонент спектров, которые примерно соответствуют относительному содержанию железа в этих компонентах. Отношения заселенностей позиций M1 и M2 катионами Fe²⁺ в оливинах и ортопироксенах, а также температуры равновесного катионного упорядочения рассчитаны по данным мессбауэровской спектроскопии и XRD. Кроме того, показано, что образование в коре плавления магнезиоферрита MgFe₂O₄ сопровождается уменьшением относительного содержания сплава Fe-Ni-Co, троилита и силикатных кристаллов с высвобождением катионов Fe и Mg при формировании коры плавления.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2023-0013. Е.В.П. и М.И.О. выражают благодарность за поддержку по программе развития УрФУ «Приоритет 2030» (финансирование Министерства науки и высшего образования Российской Федерации).

ЛИТЕРАТУРА

1. Oshtrakh M.I., Maksimova A.A., Petrova E.V., Chukin A.V., Felner I. Comparison of bulk interior and fusion crust of Chelyabinsk LL5, Ozerki L6 and Kemer L4 ordinary chondrite fragments using X-ray diffraction and Mössbauer spectroscopy // *Hyperfine Interact.* 2023. V. 244. Article No 22.

Р-ЗАВИСИМАЯ РАМАНОВСКАЯ *in situ* СПЕКТРОСКОПИЯ ПРИРОДНОГО ФЕНАКИТА И *ab initio* РАСЧЕТЫ ЕГО ФОНОННОГО СПЕКТРА

Печурин М.С.¹, Панкрушина Е.А.¹, Рогинский Е.М.², Вотьяков С.Л.¹

¹ Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия, Mikhail.Pechurin@urfu.me

² Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Фенакит Be_2SiO_4 представляет собой редкий минерал с простой кристаллической решеткой, состоящей из каркаса вершинно-связанных тетраэдров SiO_4 и BeO_4 , с пространственной группой R-3. Этот минерал, а также его синтетические аналоги, отличаются высокой радиационной и термической стойкостью, что придает им широкий спектр практического применения. Несмотря на обширное количество публикаций, посвященных оптико-спектроскопическим исследованиям фенакита (например, [Shein et al., 2008]), его интерпретация до сих пор остается предметом дискуссий.

В работах различных лет предлагались различные подходы к интерпретации спектра Be_2SiO_4 , включая как внутренние и внешние колебания, так и обширную деформацию кристалла. Однако информация о возможных фазовых переходах и особенностях динамики решетки и ангармонизма колебаний в фенаките остается недостаточной. Исследования фенакита с использованием РТ-зависимой рамановской спектроскопии не проводились, хотя подобные

исследования выполнены для многих силикатных минералов, включая окрестности фазовых переходов.

Согласно данным расчета методом теории функционала плотности (DFT), фононный спектр Be_2SiO_4 разделяется на три диапазона: 0–657, 657–838 и 838–1092 cm^{-1} . Высоочастотные диапазоны характеризуются скорее псевдолокализованными в полиэдрах BeO_4 и SiO_4 колебаниями, в то время как низкочастотный диапазон (до 657 cm^{-1}) характеризуется колебаниями Be-Si-O и Be-O колец.

Экспериментальные барические зависимости рамановских спектров Be_2SiO_4 были получены с использованием алмазной наковальни Evolution Diacell $\mu\text{ScopeDAC-HT[G]}$. При давлениях, превышающих 10 ГПа, наблюдалось качественное изменение спектра, вероятно, связанное с образованием новой фазы. Природа этой новой фазы остается под вопросом, однако явление является обратимым. Важно отметить, что наблюдение подобного эффекта для фенакита сообщается впервые.

Таким образом, планируется дальнейшее исследование с целью связать спектральные особенности в области высоких давлений со структурной трансформацией в кристаллической решетке фенакита.

Работа выполнена в рамках з/б темы ИГГ УрО РАН № 123011800012-9

ЛИТЕРАТУРА

1. Shein I.R. et al. Energy band structure and X-ray spectra of phenakite Be_2SiO_4 // *Physics of the Solid State*. 2008. V. 50. P. 615–620.

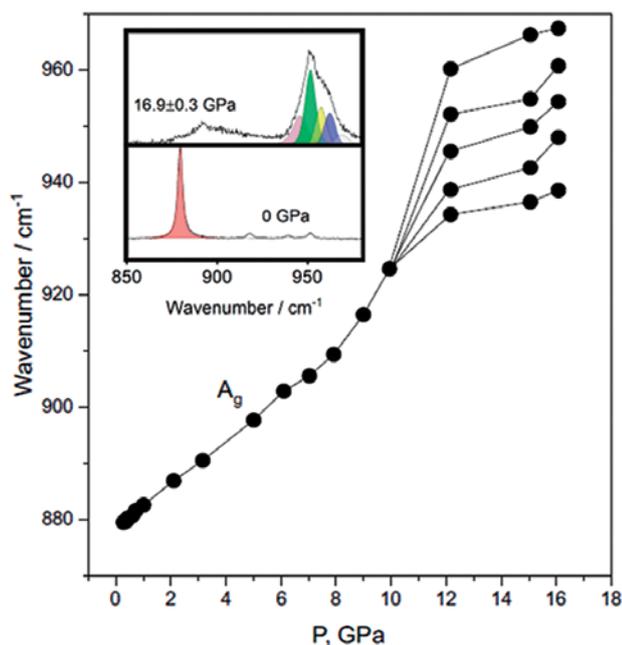


Рис. 1. Смещение и расщепление A_g моды фенакита ($\sim 878 \text{ cm}^{-1}$) в диапазоне давлений 0–17 ГПа

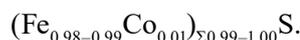
ФРАМБОИДАЛЬНЫЙ ПИРИТ ИЗ ВЕРХНЕРИФЕЙСКИХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СЛАНЦЕВ ХРЕБТА ЕНГАНЕПЭ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Попвасев К. С., Гракова О.В.

Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
e-mail: kspovasev@geo.komisc.ru

В верхнерифейских углеродсодержащих породах маникуяхинской свиты [Государственная ..., 2004], расположенных на западном склоне Полярного Урала поднятия Енганепэ на руч. Тампико и руч. Янаске-улектальба установлен фрамбоидальный пирит.

Сульфидная минерализация углеродсодержащих пород представлена пиритом, халькопиритом, пентландитом, борнитом, сфалеритом и герсдорфитом. В карбонатно-углеродистых (НОП – 2.88%, $C_{орг.}$ – 0.33%) и терригенно-углеродистых сланцах (НОП – 85.48%, $C_{орг.}$ – 0.31%) установлены 2 морфологических типа пирита: вкрапленные фрамбоидальные сферы и кубические кристаллы (рис. 1). Размеры фрамбоидального пирита – 10–20 мкм в диаметре, кубические кристаллы намного крупнее. В составе кристаллического пирита присутствует примесь кобальта, общая формула минерала:



В карбонатно-углеродистых сланцах пирит ассоциирует с кальцитом, в терригенно-углеродистых сланцах – с кварцем, альбитом, мусковитом, хлоритом и титанитом.

Изучение пирита показало его полигенность. Вероятно, фрамбоидальный пирит имеет осадочно-

диагенетическое происхождение, образовался раньше, чем кубические кристаллы пирита сформировавшиеся в результате гидротермально-метаморфогенного процесса, связанного с орогенным метаморфизмом. Подобный механизм образования разных генетических типов пирита был описан в углеродсодержащих триасово-юрских терригенных толщах в пределах складчатых поясов Северо-Востока России, где были установлены включения фрамбоидального пирита в агрегатах гидротермально-метаморфогенного типа пирита [Соцкая и др., 2022].

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XI (Елецкий): Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2004. 217 с.
2. Соцкая О.Т., Семышев Ф.И., Малиновский М.А., Альшевский А.В., Ливач А.Э., Горячев Н.А. Пирит зон сульфидизации терригенных комплексов Яно-Колымского орогенного пояса (Северо-Восток России): генерации, типохимизм, минеральные ассоциации // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2022. № 1. С. 14–30. DOI 10.34078/1814-0998-2022-1-14-30.

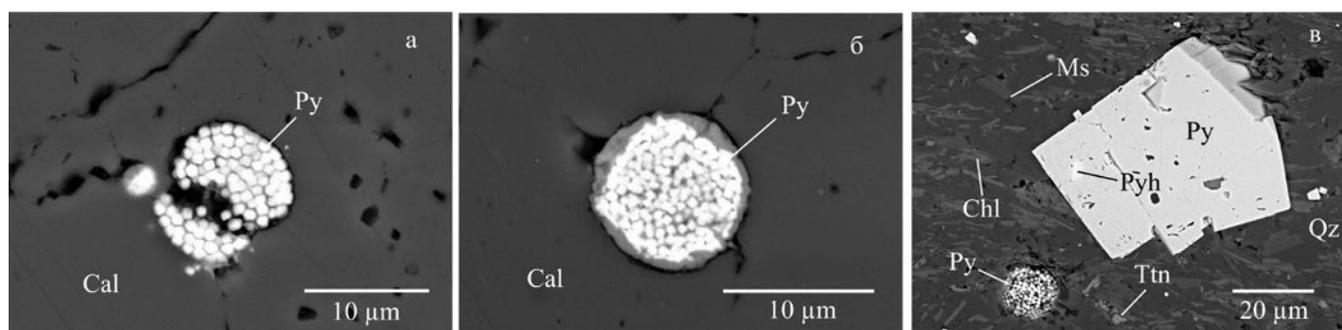


Рис. 1. Фрамбоидальный пирит в карбонатно-углеродистых (а, б) и терригенно-углеродистых сланцах (в) Полярного Урала: Py – пирит, Pyh – пирротин, Cal – кальцит, Chl – хлорит, Ttn – титанит, Ms – мусковит, Qz – кварц

АБЛЯЦИЯ И ФРАГМЕНТАЦИЯ КРУПНЫХ МЕТЕОРОИДОВ

Попова О.П.

*Институт динамики геосфер им. М.А. Садовского РАН, Москва, Россия
olga@idg.ras.ru*

Атмосфера Земли является естественным детектором для космических тел (КТ), взаимодействие которых с атмосферой сопровождается излучением, образованием ионизованных областей и генерацией ударных/инфразвуковых волн. При подходящих условиях пролет метеороида через атмосферу может привести к падению метеорита на Землю или даже к образованию ударного кратера, но в большинстве случаев только генерируемые пролетом эффекты доступны для исследования и являются основанием для определения свойств КТ. Наиболее естественным способом оценки свойств метеороидов по наблюдательным данным является применение различных моделей для их интерпретации.

Маленькие (размером менее сантиметра) и большие метеороиды выделяют свою энергию на разных

высотах, и их взаимодействие с атмосферой происходит в разных режимах. Физические условия при пролете метеороида через атмосферу значительно меняются с высотой, и различные процессы ответственны за абляцию на разных стадиях пролета. Существенное влияние на потерю массы и энергии КТ при пролете оказывает фрагментация, поэтому описание взаимодействия с атмосферой включает и различные модели фрагментации.

В презентации будут обсуждаться определение свойств метеороидов по наблюдательным данным (в основном по оптическим), используемые модели и их границы и ограничения.

УСТАНОВКА ДЛЯ АНАЛИЗА АБЛЯЦИИ МЕТЕОРОИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТОКА ПЛАЗМЫ

Попов А.А., Кокорин А.Ф.

Уральский Федеральный Университет имени первого Президента
России Б.Н., Екатеринбург, Россия, slymbe@yandex.ru

Процессы, происходящие с метеороидами при входе в атмосферу Земли и прохождении через нее, изучены не полностью. Для их изучения необходимо экспериментально воссоздать условия пролета космических тел через слои атмосферы в земной установке. Эксперименты такого рода проводятся с использованием установок с высокой энтальпией, а также применяются методы измерений, ранее использовавшиеся для определения характеристик систем тепловой защиты космических аппаратов [Полежаев 1976], адаптированные для исследования абляции метеороидов. В качестве исследуемого материала выступают образцы метеороидов [Wang, 2024]. Кроме того, часто для исследования разрушения метеороидов используют схожие с ними земные породы, такие как базальт [Helber et al. 2019; Pittarello, 2019]. Основными контролируемыми параметрами в таких экспериментах являются: тепловой поток, давление и время воздействия, а одним из основных методов исследования является оптический эмиссионный анализ с временным разрешением.

В этой работе рассматривается создание установки для проведения экспериментов по анализу абляции метеороидов в земных условиях. Основа экспериментальной установки – плазматрон (генератор потока плазмы) и оптический спектрограф, модернизированный с целью получения цифровых изображений спектра в динамике (с высоким разрешением по времени). Модернизация проводилась путем замены регистрирующего узла спектрографа с фотопластинкой на камеру с ПЗС-матрицей. Также были разработаны: устройство сдвига выводимой части спектра, алгоритмы и ПО на их основе для автоматизации проведения экспериментов и предварительной обработки изображений спектров.

Такое решение позволило автоматизировано получать цифровые изображения оптических спектров, наблюдать и фиксировать изменения спектров в динамике, а также проводить предварительный анализ полученных спектров. Благодаря чему возможно динамически регистрировать эмиссионные спектры излучения, испускаемого газовым облаком, которое образуется рядом с поверхностью образца метеорита при его разрушении в потоке плазмы.

В перспективе данные, полученные в ходе анализа эмиссионных спектров, позволят отследить динамику испарения определенных элементов с поверхности метеороидов. В связи с чем планируется серия экспериментов с целью проверки гипотезы о более интенсивном испарении летучих элементов и, как следствие, обогащении коры плавления нелетучими элементами, такими как платиноиды.

Исследование выполнено за счет гранта РФФ № 24-27-00392.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полежаев Ю.В., Юревич Ф.Б. Тепловая защита. 1976. Москва, «Энергия», 392 с.
2. Wang L., et al. Study of Iron and Stony Meteorite Ablation Based on Simulation Experiments in an Arc Heater // *The Astrophysical Journal*. 2024. V. 962, I. 1, P. 23–39.
3. Helber B., et al. Analysis of Meteoroid Ablation Based on Plasma Wind-tunnel Experiments, Surface Characterization, and Numerical Simulations // *The Astrophysical Journal*. 2019. V. 876, I 2, P. 120–134.
4. Pittarello L., et al. Meteoroid atmospheric entry investigated with plasma flow experiments: Petrography and geochemistry of the recovered material // *Icarus*. 2019. V. 331, P. 170–178.

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ ХРОМШПИНЕЛИДОВ В ТЫЛАИТАХ (ИЗРАНДИТАХ) АЛЕКСАНДРОВСКОГО КОМПЛЕКСА, ЮЖНЫЙ УРАЛ

Прибавкин С.В., Бирюзова А.П., Пушкарев Е.В.

ИГГ УрО РАН, Екатеринбург, Россия, pribavkin@igg.uran.ru

В 1964 году на Южном Урале в составе александровского полиметаморфического амфиболит-гнейсового комплекса протерозойского возраста были обнаружены и позже описаны необычные высокомагнезиальные меланократовые породы с порфирированной структурой, обусловленной наличием большого количества идиоморфных кристаллов клинопироксена в основной массе, состоящей из клинопироксена, оливина, амфибола, плагиоклаза и титаномагнетита, получившие название израндиты [Овчинников, Дунаев, 1968]. Выходы этих пород расположены по восточному склону горы Карандаш, где они ассоциированы с сильно измененными оливинowymi клинопироксенитами и верлитами, от которых отделены зонами амфиболитов, иногда с гранатом. Первые исследователи израндитов указали на сходство состава пород с анкарамидами [Овчинников, Дунаев, 1968; Пыстин, 1978]. Изучение геохимии израндитов подтвердило это предположение и показало сходство израндитов с тылаитами Платиноносного пояса Урала – интрузивными аналогами анкарамидов [Пушкарев, Готтман, 2011]. Главным петрохимическим критерием отнесения израндитов к анкарамидовой группе является высокое отношение $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 2$. Составы породообразующих минералов и впервые обнаруженных в израндитах хромшпинелидов являются дополнительным аргументом в таком заключении. Поэтому далее мы будем использовать термин «тылаит» при характеристике состава израндитов.

В составе тылаитов горы Карандаш преобладают идиоморфный клинопироксен (50–60%, $\text{Mg}\# = 82\text{--}72$), образующий зональные кристаллы и оливин (10–20%, $\text{Mg}\# = 0.73\text{--}0.53$), интерстиции между которыми выполнены паргаситом, плагиоклазом ($\text{An}_{50\text{--}60}$). Нами изучен состав оксидов, образующих идиоморфные или округлые включения в оливине и клино-

пироксене. Редко они представлены одной фазой хромшпинели или алюмохромита, но чаще образуют сростания хромшпинель–хроммагнетит или хромшпинель–хроммагнетит–ильменит. Химический состав хромшпинелидов в координатах Al-Cr-Fe^{3+} располагается вдоль линии хромитового сольвуса при 600 °С, что типично для оксидных минералов как в анкарамидах, так и в тылаитах из комплексов Урало-Аляскинского типа. Это может быть связано с распадом твердого раствора хромшпинелида, богатого Al и Fe, на этапе субсолидусного остывания магматических пород при температуре выше 600 °С или при их трансформации в условиях гранулитовой–верхов амфиболитовой фаций метаморфизма. Различия в структурных взаимоотношениях оксидных фаз определяются исходным химическим составом шпинелида, скоростью охлаждения.

Работа выполнена за счет гранта РФ № 23-17-00224 в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН, Екатеринбург.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников Л.Н., Дунаев В.А. О древнейшей глубинной породе Урала // Глубинное строение Урала. М.: «Наука», 1968. С. 200–209.
2. Пушкарев Е.В., Готтман И.А., Оливиновые клинопироксениты и израндиты (тылаиты) александровского и уфалейского метаморфических комплексов – фрагменты древней платиноносной ассоциации? // Тектоника, рудные месторождения и глубинное строение земной коры. Екатеринбург: «ИГГ УрО РАН». 2011. С. 215–219.
3. Пыстин А.М. Александровский гнейсово-амфиболитовый комплекс // Вулканизм, метаморфизм и железистые кварциты обрамления Тараташского комплекса. Свердловск: «УНЦ АН СССР», 1978. С. 3–32.

СОСТАВ ПОРФИРОВЫХ ВКРАПЛЕННИКОВ КЛИНОПИРОКСЕНА, КАК ИНДИКАТОР СМЕШЕНИЯ РАСПЛАВОВ И ДВУХСТАДИЙНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АНКРАМИТОВ РАЙОНА ГОРЫ КРУГЛАЯ (ИРЕНДЫКСКАЯ СВИТА)

Пушкарев Е.В., Шевелева С.И., Чебыкин Н.С.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, pushkarev@igg.uran.ru

На XIV Чтениях памяти академика А.Н. Заварицкого была поднята проблема формирования комплексов Урало-Аляскинского типа в связи с дифференциацией магнезиальных анкармитов [Пушкарев, 2009]. Было высказано предположение, что анкармиты должны быть распространены в вулканогенных комплексах Урала, например, в ирендыкской свите Магнитогорской островодужной зоны, что было подтверждено позже. Был установлен пример смешения анкармитового и трахиандезитового расплава [Готтман, Пушкарев, 2017]. Мы предполагаем, что процессы смешения анкармитов и андезитов играли важную роль при формировании вулканитов ирендыкской свиты.

Ирендыкская свита относится к непрерывно дифференцированной островодужной серии базальт-андезибазальтового состава. Комплексы свиты распространены на Южном Урале более, чем на 200 км и на севере выклиниваются в районе Миасса и Карабаша. В районе Круглогорского скарнового месторождения (окрестности Миасса), анкармиты образуют дайки среди базальтов и андезибазальтов, а также блоки в серпентинитовом меланже восточнее горы Круглая. Породы имеют порфировую структуру. Вкрапленники зонального клинопироксена размером 3–10 мм (30–40%) сцементированы измененной основной массой из реликтов клинопироксена, амфибола и сосюрита. $Mg\#$ пород = 0.63–0.65, $CaO/Al_2O_3 = 1–1.3$, что характерно для анкармитов. Вкрапленники клинопироксена имеют ядро яблочно-зеленого цвета и буровато-зеленую до черной внешнюю зону, которые на изображениях в обратно-рассеянных электронах (BSE) выглядят темно-серыми и светло-серыми соответственно. Переход от ядра к кайме резкий. Ядра вкрапленников сложены магнезиальным ($Mg\# = 0.92–0.86$),

низкоглиноземистым ($Al_2O_3 = 0.6–1.5$ мас. %) хромдиоксидом ($Cr_2O_3 = 0.8–0.3$ мас. %), а каймы более железистым авгитом ($Mg\# = 0.8–0.65$, $Al_2O_3 = 2–4$ %, $Cr_2O_3 < 0.2$ %). Хромдиоксид содержит включения высокохромистого ($Cr_2O_3 = 52–53$ мас.%, $Cr/(Cr+Al) = 0.82$, $Mg\# = 0.48–0.50$) хромшпинелида с низким содержанием титана, а авгит в каймах содержит включения более глиноземистого, железистого и титанистого хромшпинелида ($Mg\# = 0.04$, $Cr_2O_3 \sim 35$ мас.%, $Cr/(Cr+Al) = 0.7$) и титаномagnetита. Согласно этим данным, ядра и каймы зональных вкрапленников клинопироксена кристаллизовались из расплава разного состава – анкармитового и андезитового соответственно. Смешение этих двух расплава могло привести к наблюдаемой ступенчатой зональности в порфировых вкрапленниках клинопироксена и сформировать окончательный петрохимический облик пород.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 23-17-00224.

ЛИТЕРАТУРА

1. Готтман И.А., Пушкарев Е.В. Структурно-вещественные доказательства взаимодействия анкармитового и трахиандезитового расплава в Магнитогорской вулканогенной зоне на Южном Урале. Ежегодник-2016, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 164. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. С. 110–115.
2. Пушкарев Е.В. Анкармиты – родоначальные расплавы дунит-клинопироксенит-тылаитовых комплексов Урало-Аляскинского типа. Аналоги анкармитов на Урале // Петрогенезис и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 110–111.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУР НОВЫХ ИОДАТОВ НА ОСНОВЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ $[M(\text{IO}_3)_6]$

Реутова О.В., Белоконева Е.Л.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, reutova.olia@yande.ru

Кристаллы многих синтетических иодатов обладают нелинейно-оптическими свойствами, с чем связан интерес к их структурным исследованиям [Hu, Mao, 2015]. Проявление свойств связано с полярным распределением в структуре зонтичных IO_3^- групп. Часто группы IO_3^- объединяются с октаэдром MO_6 и формируют блоки $[M(\text{IO}_3)_6]$, где M представлен различными катионами (Ge, Sc, Fe, Ta, Li и др.) [Reutova et al., 2023]. Блоки могут быть изолированы или объединяться в цепочки, слои и каркасы. При этом блоки обладают различной собственной точечной симметрией -3 , 3 , $2/m$, m , -1 или 1 , что может служить основой для структурной классификации семейств иодатов.

Структуры иодатов $\text{Na}_3\text{Fe}(\text{IO}_3)_6$, $\text{Rb}_3\text{Sc}(\text{IO}_3)_6$, $\text{CsHfIn}(\text{IO}_3)_6$, $\text{Cs}_3\text{Ta}(\text{IO}_3)_8$, $\text{Cs}_3[\text{Sc}_2(\text{IO}_3)_9](\text{IO}_3)_2$ составлены из блоков $[M(\text{IO}_3)_6]$ с различной симметрией [Reutova et al., 2022; Belokoneva et al., 2023; Реутова и др., 2022]. Сравнительный кристаллохимический анализ с учётом симметрии блоков позволил составить структурную классификацию иодатов. Анализ симметрии блоков важен для выявления связи структура-свойства в семействах иодатов, поскольку даже в структурах с полярной симметрией блоки $[M(\text{IO}_3)_6]$ могут быть псевдо-центросимметричны (рис. 1 б, в), что снижает нелинейно-оптическую активность в кристаллах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Реутова О.В., Белоконева Е.Л., Димитрова О.В., Волков А.С. Синтез и кристаллическая структура нового йодата $\text{Na}_3\text{Fe}[\text{IO}_3]_6$ из структурного семейства $A_3M[\text{IO}_3]_6$ ($A=\text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Tl}$; $M=\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Ge}$) // Кристаллография. 2020. Т. 65 (3). С. 441–445.
2. Belokoneva E.L., Reutova O.V., Dimitrova O.V., Volkov A.S., Stefanovich S.Y., Maltsev V.V., Viggasina M.F. New layered nonlinear optical iodate $\text{Cs}_3\text{Ta}(\text{IO}_3)_8$: topology-symmetry analysis and structure prediction // Cryst. Eng. Comm. 2023. V. 25. P. 4364.
3. Hu C-L., Mao J-G. Recent advances on second-order NLO materials. based on metal iodates // Coord. Chem. Rev. 2015. V. 288. P. 1–17.
4. Reutova O., Belokoneva E., Volkov A., Dimitrova O., Stefanovich S. Two new $\text{Rb}_3\text{Sc}(\text{IO}_3)_6$ polytypes in proposed nonlinear optical family $A_3M(\text{IO}_3)_6$ ($A=\text{K}, \text{Rb}$; $M=\text{Sc}, \text{In}$): topology-symmetry analysis, order-disorder and structure-properties relation // Symmetry. 2022. V. 14. P. 1699.
5. Reutova O., Belokoneva E., Volkov A., Dimitrova O. Synthesis and Structure of a New Iodate $\text{Cs}_5[\text{Sc}_2(\text{IO}_3)_9](\text{IO}_3)_2$ with a Complex Framework Based on the Condensation of $[\text{Sc}(\text{IO}_3)_6]$ Building Blocks // Symmetry. 2023. V. 15. P. 1777.

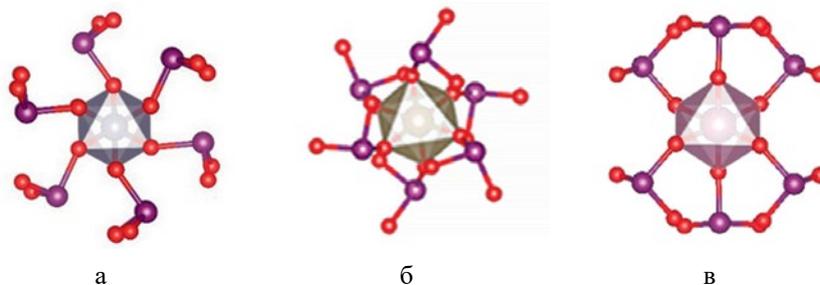


Рис. 1. Блоки $[M(\text{IO}_3)_6]$ различной симметрии и конфигурации:
а) с симметрией -3 в структурах семейства $A_nM(\text{IO}_3)_6$ ($A=\text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Ag}, \text{Tl}^+, \text{H}_3\text{O}^+, \text{H}^+, \text{Ba}, \text{Sn}^{2+}$; $M=\text{Ge}, \text{Ti}, \text{Pt}, \text{Sn}, \text{Zr}, \text{Mo}^{4+}, \text{Ga}, \text{In}$);
б) с псевдо-симметрией -3 в структуре $\text{Cs}_3\text{Ta}(\text{IO}_3)_8$;
в) с псевдосимметрией $2/m$ в структурах $\text{K}_3\text{Sc}(\text{IO}_3)_6$ и семейства $A_3M(\text{IO}_3)_6$ с пр. гр. $P-1$ ($A=\text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Ag}, \text{Tl}^+$; $M=\text{In}, \text{Tl}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{3+}$)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РОСТА КРИСТАЛЛА АЛМАЗА НА ЕГО СОСТАВ

Реутский В.Н.

ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, reutsky@igm.nsc.ru

В настоящем докладе рассматривается механизм, который может генерировать поступательные изменения $\delta^{13}\text{C}$ и N_{ppm} в направлении роста монокристаллов алмаза, растущих из флюида постоянного состава. Увеличение размера кристалла приводит к уменьшению линейной скорости роста и изменению коэффициентов распределения примесей и изотопов. Данный процесс поддается моделированию для монокристалльного роста в рамках модели Бартона-Прима-Слихтера (БПС) [Reutsky, Borzdov, 2023].

Согласно БПС, величина эффективного разделения примесей при кристаллизации из раствора определяется отношением произведения величины диффузионного слоя и линейной скорости кристаллизации к коэффициенту диффузии примеси ($\delta V/D$). Влияние V на изотопное фракционирование углерода между растущим алмазом и Ме-С расплавом экспериментально продемонстрировано нами ранее для V от 10^{-8} до 10^{-5} м/с. При более низких V эффект может быть проявлен, если δ значительны. Учитывая, что транспорт рассеянных элементов в мантии осуществляется преимущественно диффузионным путём, величины δ для углерода и азота могут составлять метры и километры. Рассчитанные постепенные изменения $\delta^{13}\text{C}$ и N_{ppm} в направлении кристаллизации достигают нескольких промилле и сотен ppm, что доступно для изучения современными методами. Эти изменения не требуют изменения температуры, давления и состава флюида.

Для апробации предлагаемого механизма рассчитаны параметры формирования неоднородности состава для двух природных кристаллов, содержащих флюидные включения: кристалл MAR06b содержит микровключения графита и углероводородов [Smit et al, 2016], а в кристалле 1P включения представлены карбонатами [Титков и др., 2015]. Моделирование

изотопного фракционирования углерода проведено для случая кристаллизации идеального объёмного октаэдра при $D=3 \cdot 10^{-9}$ м²/с, $\delta=0,01$ м и V от 10^{-9} до 10^{-7} м/с. Коэффициенты равновесного фракционирования углерода k_{eq} составляют 1,001 и 0,9975, что эквивалентно $\delta^{13}\text{C}_{\text{раствор-кристалл}}$ +1,0‰ и -2,5‰ для восстановленного и окисленного флюида, соответственно. Расчёт разделения примеси азота проведён при $D=5 \cdot 10^{-9}$ м²/с и $\delta=0,01-0,03$ м. Результаты моделирования хорошо соответствуют результатам прямых изменений. При тех же скоростях роста коэффициенты разделения азота составили 0,38–0,47 для з восстановленной системы и 0,03 для окисленной.

Изменение скорости роста формирует тренды $\delta^{13}\text{C}$ и N_{ppm} , противоположные трендам рэлеевского фракционирования в закрытой системе при тех же окислительно-восстановительных условиях. Во всех случаях примесь азота демонстрирует не совместимое с алмазом распределение.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 19-17-00075,

ЛИТЕРАТУРА

1. Титков С.В., Ширяев А.А., Зудина Н.Н., Зудин Н.Г., Солодова Ю.П. Дефекты в кубических алмазах из россыпей северо-востока Сибирской платформы по данным ИК-микроспектроскопии // Геология и геофизика. 2015. Т. 56(1-2). С. 455–466.
2. Reutsky V.N., Borzdov Y.M. Effect of growth rate on diamond composition // Diam. Relat. Mater. 2023. V. 135. P. 109865
3. Smit K.V., Shirey S.B., Stern R.A., Steele A., Wang W. Diamond growth from CH–N–O recycled fluids in the lithosphere: evidence from CH₄ microinclusions and $\delta^{13}\text{C}$ – $\delta^{15}\text{N}$ –N content in marange mixed-habit diamonds // Lithos. 2016. V. 265. P. 68–81.

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ УПРУГОГО ПОВЕДЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО БЮЧЛИИТА $K_2Ca(CO_3)_2$ ПРИ СЖАТИИ ДО 20 ГПа

Романенко А.В., Лихачева А.Ю., Ращенко С.В.

ИГМ СО РАН, Новосибирск, Россия, romanenko.alxndr@gmail.com

Бючлиит ($K_2Ca(CO_3)_2$) – минерал, встречающийся в виде включений в мантийных минералах, который играет ключевую роль в понимании фазовых взаимоотношений между плотными карбонатами калия, а также в оценке их влияния на глубинный углеродный цикл Земли. Поведение синтетического бючлиита при высоком давлении было исследовано при помощи монокристаллической синхротронной рентгеновской дифракции *in situ* до 20 ГПа. Фазовый переход (из $R-3m$ в $C2/m$) при 6 ГПа характеризуется изменением структурных элементов – катионных полиэдров и карбонатных групп (рис. 1). Это изменение связано с различной скоростью вращения карбонатных групп и Са-октаэдров. Оценен возрастающий вклад большого К-полиэдра в его объемное сжатие. Слабый (0,5%) разрыв объема в критической точке перехода сопровождается резким (~60%) рас-

ширением большого К-полиэдра, что подтверждает отнесение фазового перехода к первому роду.

Сжимаемость моноклинной фазы высокого давления ($K_0 = 44$ ГПа) соответствует зависимости между модулем объемного сжатия карбоната и средним радиусом неуглеродного катиона. Анализ имеющихся структурных данных позволяет предположить, что искажение крупных катионных полиэдров является эффективным инструментом «упрочнения» карбонатной структуры при высоком давлении. Таким образом, структурные данные этого исследования подтверждают стабильность тригонального бючлиита в условиях высоких давлений и температур, и его значение как компонента включений в глубинных минералах.

Работа выполнена за счет гранта РФФИ № 21-55-14001.

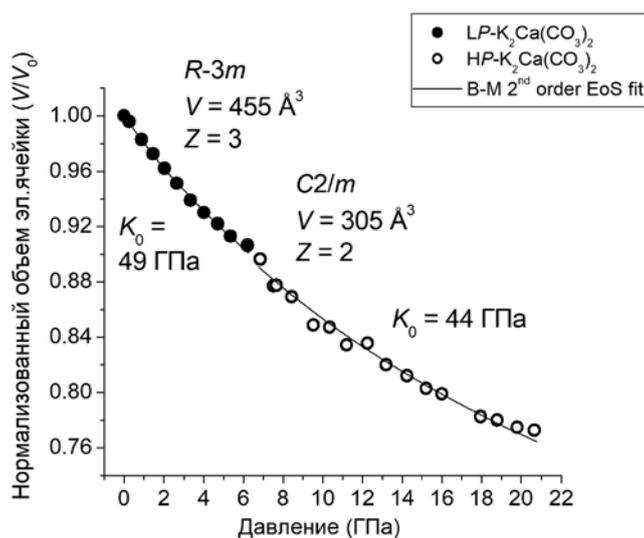


Рис. 1. Зависимость нормализованного объема элементарной ячейки бючлиита от давления

EBSD-ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ОФИОЛИТОВЫХ УЛЬТРАМАФИТОВ И ХРОМИТИТОВ УРАЛА: ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУРНОЙ И ВЕЩЕСТВЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Савельев Д.Е., Гатауллин Р.А., Шабутдинов Т.Д.

Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия, savl71@mail.ru

Метод микроструктурных исследований, основанный на дифракции отраженных электронов (ДОЭ/EBSD) в кристаллической решетке, ознаменовал выход на качественно новый уровень исследований структуры кристаллических материалов, в том числе и геологических [Prior et al., 1999; Метод ..., 2009]. По сравнению с традиционным изучением микроструктурных особенностей прозрачных анизотропных минералов на Федоровском столике, данный метод дает возможность получить большой массив разнообразных данных в цифровом виде, который может быть обработан в специфических программных комплексах.

Нами были изучены ультрамафиты и хромититы нескольких массивов Южного и Полярного Урала: Крака, Нурали, Кемпирсай, Рай-Из, Сыум-Кеу. Получены количественные данные о текстурах деформации оливина, ортопироксена и хромшпинелида, построены микроструктурные карты, оценены интенсивности текстур предпочтительной кристаллографической ориентировки минералов, проведено определение активных систем скольжения в минералах ультрамафитов (оливин, ортопироксен) как по данным анализа интегральных («синоптических») диаграмм, так и по изучению строения порфирокластов [Добржинская, 1989; Щербаков, 1990]. В ультрамафитах массивов Крака, Кемпирсай и Нурали преимущественным распространением пользуются более высокотемпературные системы скольжения с направлением течения вдоль [100], а на массивах Рай-Из и Сыум-Кеу примерно в равных количествах встречены системы с направлениями скольжения вдоль [100] и [001].

Данная закономерность может быть связана с тем, что в полярно-уральских массивах фиксируется пластическая деформация не только верхнемантий-

ного, на также и нижнекорового уровня. Детальные исследования были сосредоточены на изучении микроструктурных взаимоотношений тонких новообразованных фаз в породообразующих силикатах с внутренней структурой минерала-хозяина. Установлена взаимосвязь между образованием выделений шпинелидов, амфибола и диопсида с пластической деформацией и рекристаллизацией порфирокластов оливина и ортопироксена. Полученные результаты подтверждают важность твердофазных процессов в эволюции вещественного состава поднимающихся верхнемантийных диапиров, в частности, в образовании дунитов и связанного с ними хромитового оруденения.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 22-17-00019.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добржинская Л.Ф. Деформации магматических пород в условиях глубинного тектогенеза. М.: Наука, 1989. 288 с.
2. Метод дифракции отраженных электронов в материаловедении / под ред. А. Шварца, М. Кумара, Б. Адамса, Д. Филда (перевод с англ.) – М.: Техносфера, 2014. 544 с.
3. Щербаков С.А. Пластические деформации ультрабазитов офиолитовой ассоциации Урала. М.: Наука, 1990. 120 с.
4. Prior D.J., Boyle A.P., Brenker F., Cheadle M.J., Day A., Lopez G., Peruzzo L., Potts G.J., Reddy S.M., Spiess R., Timms N.O., Trimby P.W., Wheeler J., Zetterstrom L. The application of electron backscattered and orientation contrast imaging in the SEM to textural problems in rocks. *American Mineralogist*, 1999, V.84. P. 1741–1749.

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ

Селезнева Н.В.¹, Казанцев В.А.², Баранов Н.В.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, ИЕНиМ, Екатеринбург, Россия

² Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Как известно, температура является одним из основных термодинамических параметров, управляющих большинством геофизических процессов, приводит к изменению их скорости, направления и индуцирует различного рода фазовые превращения. Для получения знаний о тепловых характеристиках вещества Земли в большинстве случаев приходится прибегать к решению так называемых обратных задач, которые не всегда имеют однозначное решение [Петрунин, Попов, 2011]. Синтез минералоподобных соединений и исследование их тепловых характеристик является одним из способов оценки возможного поведения природных материалов при изменении температуры.

Нами проведен синтез и рентгенографическая аттестация халькогенидов переходных металлов с общей формулой $M_{1-z}Ch$ ($M - 3d$ металл, $Ch - S, Se, Te$) со структурой типа $NiAs$. Получен представительный экспериментальный материал о теплоемкости и тепловом расширении различных минералоподобных материалов. Данные о термическом изменении получены как из данных терморентгенографии и нейтронографии, так и дилатометрическим методом.

В частности, проведенные исследования тепловых свойств на монокристаллическом образце слоистого соединения Fe_7Se_8 , являющегося селенидным аналогом пирротина (Fe_7S_8) позволили установить основные закономерности поведения теплового расширения и теплоемкости при изменении температуры и выявить аномалии этих характеристик при структурных переходах, связанных с упорядочением вакансий, и при магнитных фазовых переходах, обусловленных магнитным упорядочением и спиновой переориентацией. Для выделения магнитного

и решеточного вкладов в теплоемкость соединения Fe_7Se_8 проведено исследование теплоемкости парамагнитного изоструктурного аналога Co_7Se_8 . Из сравнительного анализа данных определена температура Дебая для соединения Fe_7Se_8 . Установлено, что тепловое расширение соединения Fe_7Se_8 сильно анизотропно и демонстрирует несколько аномалий, связанных с фазовыми переходами различной природы при понижении температуры. Вблизи температуры спинового переориентационного фазового перехода $T_{sr} \sim 115$ К в Fe_7Se_8 выявлено существование гистерезиса, характерного для переходов первого рода.

Показано, что возникновение в Fe_7Se_8 ферримагнитного порядка ниже 450 К сопровождается отрицательной объемной спонтанной магнитоупругостью ($\omega_s \sim -5.3 \cdot 10^{-3}$ при 120 К), что указывает на сильную зависимость обменных взаимодействий от межатомных расстояний [Mozgovykh et al., 2021]. Показано, что в случае Fe_7Se_8 приложение одноосного давления перпендикулярно и параллельно плоскости слоёв должно приводить к разнонаправленному сдвигу критической температуры магнитного упорядочения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант № 22-13-00158).

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрунин Г.И., Попов В.Г. Теплофизические свойства вещества Земли. Учебное издание. Москва: Физический факультет МГУ, 2011. 68 с.
2. Mozgovykh S.N., Kazantsev V.A., Akramov D.F., Sherokalova E.M., Selezneva N.V., Baranov N.V. Thermal and magnetic properties of Fe_7Se_8 studied on single crystals // J. Phys. Chem. Solids. 2023. V. 180. P. 111466.

СТЕПЕНЬ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ГИПЕРГЕННОГО КАОЛИНИТА ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОГРАФИИ И ЭПР

Сидорова Е.Ю., Ситдикова Л.М., Хасанова Н.М.

*Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский)
федеральный университет, Казань, Россия, lena353@list.ru*

Каолинит, являясь наиболее распространенным глинистым минералом в коре выветривания фундамента Южно- и Северо-Татарского сводов (Волго-Уральская антеклиза), отличается количественным содержанием и структурно-морфологическими параметрами по профилю выветривания, при этом выполняет роль индикатора стадии выветривания, состава исходных пород и развития эпигенетических процессов. Для оценки степени кристаллического совершенства каолинита чаще всего используют показатель рентгеновской упорядоченности каолинита, который выражает совокупность дефектов, как самой решетки каолинита, так и строения его кристаллов [Чекин, 1984].

В данной работе проводились вычисления индексов «кристалличности» каолинита по рентгенограммам (HI, AGFI, IK, H&B, FWHM 001 и FWHM 002 и др.) [Aparicio, Galan, 1999; Aparicio et al., 2006], размера области когерентного рассеяния (ОКР), применялась методика интеркаляции органическими жидкостями [Шлыков, 2006], затем данные сопоставлялись с результатами электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Индекс AGFI наименее зависим от содержания примесей других минералов, является более достоверным и применимым. Согласно диапазону значений этого индекса, выделены различные каолиниты по степени дефектности: низко-, средне- и высоко-дефектные. Между индексом AGFI и размером ОКР выявляется взаимосвязь, в группе высоко- и средне-дефектных каолинитов преобладают более мелкокристаллические разности (10–40 нм), тогда как среди более крупнокристаллических (более 40 нм) чаще встречаются каолиниты низкой и средней дефектности. При интеркаляции диметилсульфоксидом наибольшей способностью

к разбуханию обладают высоко-дефектные каолиниты с меньшими значениями ОКР.

Оценка совершенства кристаллической структуры каолинита по ЭПР-спектрам основывается на анализе интенсивностей линий сигналов А и В [Бортников и др., 2010] в области $g \approx 2.0$ и $g \approx 4.3$ соответственно. Данные ЭПР подтверждают, что каолинит по профилю выветривания отличается структурно-морфологическими параметрами и более низко-дефектные разности характерны для верхних зон профиля площадной коры выветривания и зоны гидратации-выщелачивания коры линейного типа. Кроме того, установлено, что степень «кристалличности» каолинита снижается и напрямую зависит от действия эпигенетических процессов, действующих после формирования коры выветривания и перекрытия ее отложениями осадочного чехла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бортников Н.С., Минеева Р.М., Савко А.Д., Новиков В.М., Крайнов А.В., Беркета А.Г., Сперанский А.В. История каолинита в коре выветривания и связанных с ней месторождениях глин по данным ЭПР // Доклады академии наук. 2010. Т. 433. № 2. С. 227–230.
2. Чекин С.С. Кристаллогенез глинистых минералов (прикладные аспекты). М.: Наука, 1984. 96 с.
3. Шлыков В.Г. Рентгеновский анализ минерального состава дисперсных грунтов. М.: Геос. 2006. 176 с.
4. Aparicio P., Galan E. Mineralogical interference on kaolinite crystallinity index measurements // Clays and Clay Minerals. 1999. V. 47. P. 1227.
5. Aparicio P., Galan E., Ferrell R.E. A new kaolinite order index based on XRD profile fitting // Clay Minerals. 2006. V. 41. P. 811–817.

СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОКСОБОРАТА $\text{Sm}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$

Сизов Г.С.^{1,2}, Кржижановская М.Г.^{1,2}, Бубнова Р.С.², Власенко Н.С.¹, Филатов С.К.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,
sizov-george@mail.ru

² Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург, Россия,
rimma_bubnova@mail.ru

В работе [Илюхин, 1993] при исследовании системы $\text{CaO}-\text{Ln}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ ($\text{Ln}=\text{Gd}, \text{Tb}, \text{Lu}$) впервые был синтезирован оксоборат $\text{Eu}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$. Нами получен оксоборат, $\text{Sm}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$, изоструктурный $\text{Eu}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$, и показано существование нового бората Sm близкой стехиометрии, образующегося при разложении $\text{Sm}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$ выше 1200 °С. Для обоих соединений на монокристаллах расшифрованы кристаллические структуры, для $\text{Sm}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$ исследовано термическое расширение.

Порошковые дифракционные исследования выполнены на дифрактометре Rigaku Miniflex II: $\text{CuK}\alpha$, 30 кВ/15мА, $\theta/2\theta$, PSD детектор D/teX Ultra. Монокристаллы исследовали на Rigaku XtaLAB Synergy-S: $\text{MoK}\alpha$, 50 кВ/1 мА, НРС детектор HyPix-6000HE. Термическое поведение бората $\text{Sm}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$ изучено в интервале 30–1200 °С на воздухе методом порошковой терморентгенографии (дифрактометр Rigaku Ultima IV: $\text{CuK}\alpha$, 40 кВ/30 мА, θ/θ , PSD детектор D/teX Ultra), образец осаждался из гексановой суспензии на платиновую подложку. С помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N (приставка EDX) в образцах контролировали содержание Ca и Sm. Для обработки результатов использовались программные комплексы PDXL2 с базой PDF-2-2020, Topas 5, CrysAlis Pro, Olex2, RietToTensor [Бубнова, 2018].

Оксоборат $\text{Sm}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$ кристаллизуется в тригональной пространственной группе $R\bar{3}c$, $a=b=8.7992(3)$, $c=37.8225(15)$ Å, $V=2532.36(16)$ Å³, $Z=18$, $R1=1.18$ %. Структура представлена вдвоенными слоями из 9-вершинных полиэдров (Sm,Ca) O₉ и двух треугольников BO₃, а также кольцами

из 8-вершинных полиэдров SmO₈ и трех несвязанных кислородов. Слои и кольца чередуются вдоль направления [001] и распространяются в плоскости *ab*. По данным терморентгенографии образец стабилен в исследуемом диапазоне. Структура испытывает максимальное расширение в направлении [001]. С использованием зависимостей параметров элементарной ячейки от температуры, аппроксимированных полиномами 2-го порядка, рассчитаны значения коэффициентов при 600 °С: $\alpha_{11}=\alpha_{22}=7.8$, $\alpha_{33}=23.8$, $\alpha_v=39.3\times 10^{-6}$ °С⁻¹. Новый борат Sm кристаллизуется в гексагональной пространственной группе $P\bar{6}2c$, $a=b=8.8595(2)$, $c=8.1618(2)$ Å, $V=554.80(2)$ Å³, $Z=3$, $R1=1.12$ %. Мотив его структуры в целом похож на $\text{Sm}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$, основное отличие в соотношении Sm/Ca в крупных полиэдрах, отсутствии чередования слоев и колец, расположении треугольников BO₃ в каналах вдоль оси 6-го порядка.

Работа поддержана Российским Научным Фондом (проект № 22-13-00317). Исследования проведены в ресурсных центрах «Рентгенодифракционные методы исследования» и «Геомодель» СПбГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бубнова Р.С., Фирсова В.А., Волков С.Н., Филатов С.К. Rietveld To Tensor: программа для обработки порошковых рентгенодифракционных данных, полученных в переменных условиях // Физ. и хим. стекла. 2018. Т. 44. С. 33–40.
2. Илюхин А.Б., Джурицкий Б.Ф. Кристаллические структуры двойных оксоборатов $\text{LnCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ ($\text{Ln}=\text{Gd}, \text{Tb}, \text{Lu}$) и $\text{Eu}_2\text{CaO}(\text{BO}_3)_2$ // Ж. неорг. хим. 1993. Т. 38, № 6. С. 917-921.

ПОРФИРОВЫЕ ВКРАПЛЕННИКИ КЛИНОПИРОКСЕНА В ДОЛЕРИТАХ ХАБАРНИНСКОГО АЛЛОХТОНА: СОСТАВ И ЗОНАЛЬНОСТЬ

Симанкова А.О., Пушкарев Е.В., Чебыкин Н.С.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург

Кристаллизация магматических расплавов в закалочных условиях приводит к сохранению неравновесных минеральных ассоциаций и позволяет реконструировать последовательность и условий кристаллизации магм и их состав. Примером таких пород являются долеритовые дайки, которые формируют самый молодой магматический комплекс в составе Хабаровинского мафит-ультрамафитового аллохтона на Южном Урале. Дайки сгруппированы в протяженные рои, прорывающие все магматические и метаморфические породы массива. Протяженность даек составляет от первых метров до 15 км, мощность от первых сантиметров до нескольких десятков метров. В дайках отмечаются зоны закалки, имеющие порфировую структуру с мелко- или крипстокристаллической, редко стекловатой структурой основной массы. Центральные части даек раскристаллизованные, мелко-, среднезернистые с офитовой структурой. По химическому составу и геохимическим особенностям долериты соответствуют базальтам срединно-океанических хребтов (СОХ).

Ранняя минеральная ассоциация долеритов представлена основным плагиоклазом (An_{70-50}) и клинопироксеном. Позже них кристаллизуется андезин, коричневоый паргасит и титаномагнетит. Отмечается аксессуарный апатит. В зонах закалки выделяются идиоморфные, порфировые включения клинопироксена, реже, совместно с плагиоклазом. Размер включений клинопироксена составляет 0.5–1 мм, что в десятки и сотни раз больше, чем размер зерен основной массы. В клинопироксенах из включений установлено три типа зональности:

- 1) концентрическая зональность;
- 2) секториальность («песочные часы»);
- 3) комбинация 1-го и 2-го типов зональности.

По первому типу зональности железистость пироксена растет от 0.15–0.2 в центре до 0.3 в краю, параллельно с увеличением содержания TiO_2 (от 0.3 до 1.2 мас.%) и Al_2O_3 (от 1.5–2 до 5 мас.%)

и падением Cr_2O_3 (от 1 мас.% до 0). Секториальность («песочные часы») хорошо видна под микроскопом. На изображениях в обратно-рассеянных электронах выделяются «светлые» и «темные» сектора.

По данным РСМА, противоположные сектора имеют идентичный состав и закономерности изменения содержания компонентов. Сравнение «светлых» и «темных» секторов показывает заметную разницу в их составе. «Светлые» сектора обогащены Al_2O_3 и TiO_2 , а «темные» – SiO_2 и MgO . Различия между секторами по конституционным элементам может составлять до 2%, а для второстепенных компонентов в 2 раза и более. Проведенное изучение двух секториальных включений клинопироксена методом дифракции отраженных электронов (EBSD) показало, что соседние сектора имеют кристаллографическую разориентировку, достигающую 10° и более. Это может означать, что секториальность формируется в результате кристаллизации от одного центра разных индивидов минерала с преимущественным вхождением разных элементов в разные сектора, то есть зерна со структурой «песочных часов» не являются монокристаллами, хотя внешне выглядят как монокристаллы. 3-й тип зональности определяется секториальным распределением алюминия, титана и магния и концентрически зональным распределением остальных элементов, которые, вероятно, не обладают свойством приоритетного вхождения в разные сектора растущего кристалла. Наиболее магниевые составы пироксенов ($Mg\# = 0.87–0.85$) из изученной выборки указывают на более магниевый состав первичного расплава ($Mg\# = 0.55$), родоначального для долеритов, имеющих средний индекс магниевости $Mg\# = 0.45$. Это наблюдение согласуется с существующими представлениями о более магниевом составе первичных расплавов для базальтов СОХ-типа.

Исследования выполнены по госбюджетной теме ИГГ УрО РАН № 123011800009-9 в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН, Екатеринбург.

ГЕОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ СЛАНЦЕВ НОВОУСМАНОВСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Сначёв А.В.¹, Игошева В.С.², Рассомахин М.А.³, Баширов В.Э.¹, Упорова Н.С.²

¹ *Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия, SAVant@rambler.ru*

² *Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

³ *Институт минералогии Южно-Уральского ФНЦ МиГ УрО РАН, Миасс, Россия*

Рассматриваемая территория, известная как Новоусмановская площадь, расположена в бассейне рек Бетеря и Тупаргасс. В тектоническом отношении она приурочена к зоне сочленения субмеридионального Западно-Уралтауского и широтного Бурзянского разломов. Здесь широко развиты углеродистые отложения, характерной особенностью которых является их высокая дислоцированность и насыщенность многочисленными кварцевыми жилами и сульфидной минерализацией. Именно в них нами получены содержания платиноидов до 2.0 г/т, среди которых основное место занимает Pd (до 1.8 г/т). Из 18 анализов на металлы платиновой группы шесть имеют результаты более 1.0 г/т Pd, среднее его содержание – 0.65 г/т. Наиболее высокое содержание Pt составляет 0.36 г/т, а в среднем – 0.12 г/т. Остальные элементы (Rh, Ru, Os, Ir) не поднимаются выше сотых долей г/т.

Содержания золота в сульфидизированных углеродистых сланцах, по данным штучного опробования, колеблются от 0.28 до 0.59 г/т. Эти содержания вполне укладываются в рамки рудных концентраций ореольной зоны, обычно обрамляющей золотонесущие тела. В подавляющем большинстве кварцевых жил золото содержится в количестве от 0.01 до 0.08 г/т, а серебро от 0.2 до 9.1 г/т. Лишь в одной пробе концентрации золота возрастают до 2.7 г/т. Шлиховое опробование по этим водотокам показало наличие в русловом аллювии знаков золота. Наибольшее количество последнего установлено на ручье Большая Турьелга, дренирующего кварце-

вые жилы, приуроченные к терригенно-сланцевым толщам бетринской свиты и песчано-сланцевым отложениям зилаирской свиты. В устьевой части ручья на протяжении нескольких сот метров фиксируются промышленные концентрации шлихового золота в пределах 0.6–2.3 г/м³ [Савельев и др., 2016]. Результаты анализа проб на W и Mo жильного кварца, кварцевых алевролитов с гидроокислами железа, гематитизированных чёрных сланцев, показали максимальное значение для W – 0.019%, а для Mo – 0.010%, что соответственно в 190 и 100 раз выше фоновых [Сначёв, Сначёв, 2018].

Предварительно данная рудная минерализация может быть связана с залегающей на глубине интрузией кислого состава, апофизы которой отмечены в непосредственной близости от вершины г. Артлыш.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00265, <https://rscf.ru/project/23-27-00265/>

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев Д.Е., Казаков П.В., Бажин Е.А. К перспективам россыпной и коренной золотоносности северной части Зилаирского мегасинклинария (Южный Урал) // Руды и металлы. 2016. № 2. С. 44–50.
2. Сначёв А.В., Сначёв В.И. Перспективы углеродистых отложений Новоусмановской площади на рений, вольфрам, молибден (зона Уралтау) // Геологический вестник. 2018. № 2. С. 68–78.

ЗАВАРИЦКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ – ГОРДОСТЬ МИРОВОЙ НАУКИ**Сначёва К.А., Щербакова Е.И.***МАОУ Центр образования № 40, г. Уфа, Российская Федерация, snachevaka@rambler.ru*

Заварицкий Александр Николаевич родился 14 марта 1884 года в дворянской семье уфимцев Николая Александровича и Ирины Ильиничны. Николай Александрович (1837–1922 гг.) был мировым судьей и был женат на дочери дьяка Ирине Ильиничне Филаретовой (1854–1936 гг.) [Буторина, 1999]. А.Н. Заварицкий с золотой медалью окончил Уфимскую правительственную мужскую гимназию. По окончании гимназии поступил в Санкт-Петербургский горный институт на геологический факультет которое блестяще закончил в 1909 году, получив звание горного инженера. По окончании института был оставлен там ассистентом и вел занятия на кафедре рудных месторождений и петрографии.

Научную деятельность А.Н. Заварицкий начал на Южном Урале в 1911 г., приступив к изучению горы Магнитной, где им была детально изучена геология района. По материалам работ по горе Магнитной была защищена диссертация. В последствии был избран профессором горного института. В 1922–24 гг. вышла его трехтомная монография «Гора Магнитная и ее месторождения железных руд», где была выдвинута новая гипотеза происхождения железных руд. С 1910 по 1942 гг. провел геологическую съемку Ильменских гор, которая до сих пор является основным документом для геологов и петрографов.

В своих трудах А.Н. Заварицкий отмечал, что медно-колчеданные месторождения на Урале открывали по «железным шляпам», представленными зоной окисления первичных сульфидных рудных тел. Новые идеи Заварицкого о колчеданных месторождениях Урала распространялись и на геологии Кавказа, Алтая.

А.Н. Заварицкий разработал метод анализа состава горных пород с помощью диаграмм, показывающих особенности их химизма, чем положил начало развитию петрохимии. А.Н. Заварицкий был

почетным членом Российского минералогического общества, действительным членом Московского общества испытателей природы, Географического общества и Международного общества геологов, Гавайской ассоциации исследования вулканов.

В процессе своей научной и педагогической деятельности академик создал большую школу петрографов и исследователей месторождений полезных ископаемых. За свои достижения в науке А.Н. Заварицкий удостоился ряда престижных государственных наград. Свою последнюю экспедицию Александр Заварицкий совершил на Урал на шестьдесят девятом году жизни. На обратном пути он тяжело заболел и 23 июля 1952 года скончался во время операции. Похоронен на Новодевичьем кладбище в Москве.

В честь А.Н. Заварицкого было названо множество объектов на карте, таких как: улица Академика Заварицкого г. Уфа; Институт геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) имени А.Н. Заварицкого; Редкий минерал заварицкит (BiOF); Вулкан Заварицкого на острове Симушир [Святловский, 1986]; Скалы им. А.Н. Заварицкого на острове Галля. В конце XX века в общегеологической литературе появился термин «зона Заварицкого – Вадати – Беньофа» – глубинная тектоническая зона на стыке Евразийского материка и Тихого океана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буторина Л.А. Некоторые сведения из истории рода Заварицких // Ежегодник 1998 / Рос. АН. Урал. отд-ние. Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого. 1999. С. 261–262.
2. Святловский А.Е. А.Н. Заварицкий – основоположник дистанционных исследований вулканов СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1986. № 1. С. 138–139.

МИНЕРАЛОГИЯ СЛОИСТЫХ СИЛИКАТОВ ДОННЫХ ОСАДКОВ ВЫСОКОГОРНОГО ОЗЕРА САГАН-НУР (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

Солотчин П.А., Солотчина Э.П., Жданова А.Н.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, paul@igm.nsc.ru

Минералого-кристаллохимические особенности аутигенных и аллотигенных компонентов донных осадков озер являются ценным источником региональной палеоклиматической информации. Впервые были проведены комплексные исследования минерального состава голоценовых (возраст ~8600 лет) отложений пресноводного высокогорного озера Саган-Нур, расположенного на территории Окинского плато (Восточный Саян). Методы исследований: рентгеновская дифрактометрия (XRD), ИК-спектроскопия, лазерная гранулометрия, определение SiO_2 bio, AMS и ^{210}Pb датирование. Показано, что в минеральном составе донных осадков преобладают слоистые силикаты, кварц и плагиоклаз, присутствует рентгеноаморфная компонента, состоящая из биогенного кремнезема и органического вещества. Прецизионный минералого-кристаллохимический анализ слоистых силикатов, выполненный авторским

методом математического моделирования XRD профилей [Солотчина, 2009], выявил их ассоциации, структурные характеристики и количественные соотношения. Установлено, что ансамбль слоистых силикатов в оз. Саган-Нур стабилен и представлен мусковитом, хлоритом, иллитом, смешанослойными иллит-сметитом и хлорит-сметитом, каолинитом. В то же время структурные характеристики этих минералов и их количественные соотношения в разрезе существенно меняются в ответ на изменения природной среды и климата региона.

Исследования показали, что в те периоды, когда на территории водосбора господствовал сравнительно теплый климат и усиливались процессы химического выветривания, в отложениях оз. Саган-Нур при относительно низком содержании хорошо окристаллизованного мусковита накапливались высокодисперсные иллит, иллит-сметит с повышенной концентрацией смектитовых слоев и хлорит-сметит (рис. 1а). Напротив, в периоды похолоданий, когда на водосборных площадях преобладала физическая эрозия коренных пород, отмечается рост содержания мусковита и хлорита на фоне падения доли иллита и количества смектитовых слоев в иллит-сметите (рис. 1б). Таким образом, на основании проведенных минералого-кристаллохимических исследований реконструирована динамика природно-климатических условий осадконакопления в оз. Саган-Нур.

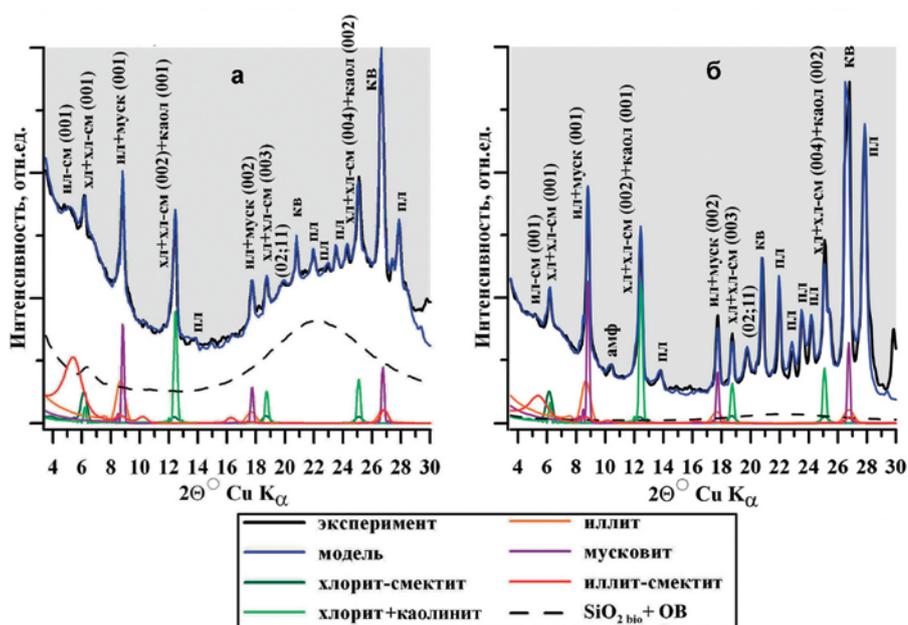


Рис. 1. Результаты моделирования XRD профилей слоистых силикатов в образцах оз. Саган-Нур: **а** – теплый климат, **б** – холодный климат.

Обозначения: муск – мусковит, хл – хлорит, ил – иллит, ил-см – иллит-сметит, хл-см – хлорит-сметит, као – каолинит, кв – кварц, пл – плагиоклаз, амф – амфибол. При съемке XRD профилей в качестве внутреннего стандарта использовался Si металлический ($d_{100} = 3,135\text{Å}$)

методом математического моделирования XRD профилей [Солотчина, 2009], выявил их ассоциации, структурные характеристики и количественные соотношения. Установлено, что ансамбль слоистых силикатов в оз. Саган-Нур стабилен и представлен мусковитом, хлоритом, иллитом, смешанослойными иллит-сметитом и хлорит-сметитом, каолинитом. В то же время структурные характеристики этих минералов и их количественные соотношения в разрезе существенно меняются в ответ на изменения природной среды и климата региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солотчина Э.П. Структурный типоморфизм глинистых минералов осадочных разрезов и кор выветривания. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2009. 234 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОФАЗНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА В РЕГОЛИТЕ ЛУНЫ

Сорокин Е.М.¹, Герасимов М.В.², Зайцев М.А.², Щербаков В.Д.³,
Рязанцев К.М.¹, Крашенинников С.П.¹, Яковлев О.И.¹, Слюта Е.Н.¹

¹ Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва Россия.

² Институт космических исследований РАН, Москва, Россия.

³ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия (e-mail: egorgeohim@ya.ru)

Одним из признаков «космического выветривания» на Луне, а это действие солнечного ветра и микрометеоритной бомбардировки [Нарке, 2001; Pieters, Noble, 2016], является формирование в реголите Луны нанофазного металлического железа (npFe^0), наблюдаемого в конденсатных плёнках на поверхности минеральных зёрен реголита и в стёклах агглютинатов. В докладе описываются результаты импульсных лазерных экспериментов, имитирующих микрометеоритный удар по базальтовым мишеням и оливинам [Sorokin et al., 2020]. В кратерах полученных лазерным «ударом» по базальтовому стеклу и оливинам обнаружены наноглобулы железа, структурированные в цепочки (рис.1). Эксперименты наглядно показали, что npFe^0 может формироваться без участия восстановителя – имплантированных ионов водорода солнечного ветра, а также минуя процесс конденсации железа из ударно-образованного пара. Аналогичные цепочечные структуры из npFe^0 наблюдались в импактном стекле лунного реголита.

Кроме того, в результате эксперимента были получены относительно крупные металлические сферулы (до 2–5 мкм), что позволило измерить их методом ЭДС на сканирующем электронном микроскопе. Такие сферулы содержали в восстановленных формах около одного процента никеля, до 5 % кремния, фосфора – до 14%, а также серы до 0,2% (табл. 1).

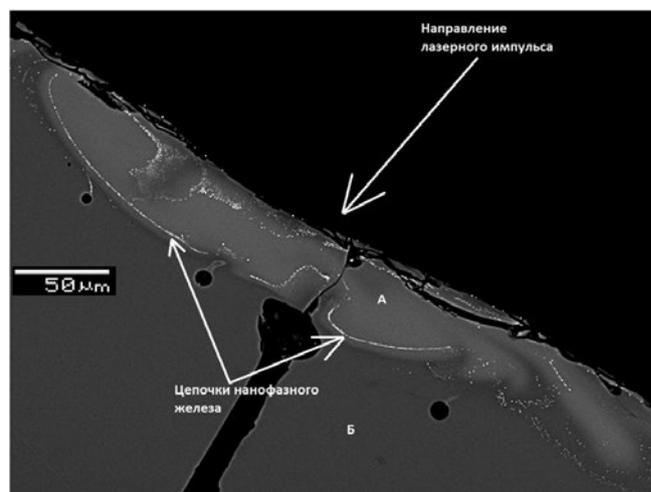


Рис. 1. Снимок со сканирующего электронного микроскопа. Профиль кратера после лазерного «удара». Зона А – изменённая в следствии химической дифференциации в ударном процессе, зона; Б – исходного базальтового стекла

Таблица 1. Среднее содержание химических элементов в субмикросферах в мишенях из железистого оливина и базальтового стекла

Элемент	O	Na	Mg	Al	Si	S	P	Ca	Mn	Fe	Ni	Всего
Fe-оливин	1,9	0	1,95	0,06	1,44	0,01	0	0,03	0,04	90,39	0,27	96,1
Базал. стекло	6,91	0,71	1,32	1,74	9,23	0	3,86	1,03	0,45	70,76	0,19	96,41

ЛИТЕРАТУРА

- Нарке, В. Space weathering from Mercury to the asteroid belt. *J. Geophys. Res.*, 106, 10039–10073, (2001).
- Pieters, C.M., Noble S.K.: Space weathering on airless bodies. *J. Geophys. Res. Planets*, 121, 1865–1884, (2016).
- Sorokin E.M., Yakovlev O.I., Slyuta E.N., Gerasimov M.V., Zaitsev M.A., Shcherbakov V.D., Ryzantsev K.M., Krashennnikov S.P. (2020) Experimental Modeling of a Micrometeorite Impact on the Moon. *Geochemistry International*, 58, 2, 113–127.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНОГО НЕФРИТА Р. ЦИПА, ВИТИМСКИЙ НЕФРИТОНОСНЫЙ РАЙОН

Сотникова В.Ф.¹, Кислов Е.В.²

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казань, Россия, vasilina0917@gmail.com

² Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, evg-kislov@ya.ru

Изучен макро- и микроэлементный состав 6 аллювиальных галек нефрита р. Ципа. Материал получен вторым автором для проведения экспертизы. Основная проблема – сходство и различие неизменного ядра галек и каемки прокрашивания с целью оценки экзогенных процессов и для распознавания фальсифицированных галек. Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе Merlin (Carl Zeiss) и масс-спектрометре iCAP Qc (ThermoFisher Scientific) в КФУ.

Предполагаемый коренной источник – Кавоктинское месторождение в 30 км выше впадения р. Кавокта в р. Ципа. Кавоктинское месторождение нефрита относится к аподолмитовому типу; нефрит сформировался на контакте доломитов и амфиболитов ксеноблоков в граните.

Сопоставление химического состава аллювиального нефрита р. Ципа и коренного нефрита Кавоктинского месторождения [Гомбоев и др., 2017; Кислов и др., 2023] подтверждает их генетическую связь. В ядре аллювиальных галек относительно коренного нефрита повышены содержания Al_2O_3 , FeO, Na_2O , K_2O , MnO. Содержания FeO и MnO в четырёх гальках повышаются от ядра к каёмке прокрашивания, что объясняется образованием гидроксидов этих металлов в кайме при процессах окисления в экзогенных условиях.

Установлены статистически значимые изменения содержаний микроэлементов при образовании каёмок прокрашивания. В каёмках снижаются содержания Ti, Cr, Rb, Sr, Y, Nb, Mo, Sn, Cs, Dy, Ho, Er, Ta, Pb, U и повышаются – Co, Ba в корреляции с MnO. Значительно увеличение содержания Ba в рыхлых пористых каёмках прокрашивания.

Содержание суммы редкоземельных элементов (РЗЭ) в ядре 3.48–28.67 г/т, в каёмке прокрашивания 2.85–26.60 г/т. Кривые распределения РЗЭ имеют выраженный правосторонний наклон, содержание лёгких РЗЭ повышено, при этом фракционирование тяжёлых РЗЭ относительно чётко выражено. Наблюдается отрицательная Eu-аномалия.

Таким образом, впервые изучен россыпной нефрит Витимского нефритоносного района. Подтверждена генетическая связь аллювиальных галек р. Ципа с коренным нефритом Кавоктинского месторождения. Выявлены особенности состава каёмок прокрашивания в связи с их формированием в экзогенных условиях.

Сбор материала и анализы выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20003, <https://rscf.ru/project/22-27-20003>, подготовка тезисов и доклада выполнена в рамках государственного задания ГИН СО РАН, № гос. рег. АААА-А21-121011390003-9.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гомбоев Д.М., Андросов П.В., Кислов Е.В., Кавоктинское месторождение светлоокрашенного нефрита: условия залегания и особенности вещественного состава // Разведка и охрана недр. 2017. № 9. С. 44–50.
2. Кислов Е.В., Худякова Л.И., Николаев А.Г. Отходы переработки аподолмитового нефрита и направление их использования // Горные науки и технологии. 2023. Т. 8, № 2. С. 195–206. doi.org/10.17073/2500-0632-2023-01-75.

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТИОНОВ ПО ПОЗИЦИЯМ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИЙ-АЛЮМИНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ

Сушанек Л.Я.¹, Шапова Ю.В.¹, Бирюков Д.Ю.², Зацепин А.Ф.²

¹ *Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО*

РАН, Екатеринбург, Россия, email: lev.sushanek@gmail.com

² *Уральский Федеральный Университет имени Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия*

Шпинель $MgAl_2O_4$ (пр.гр. $Fd\bar{3}m$) обладает высокими радиационными, термическими, оптическими свойствами и является перспективным соединением для разработки на ее основе новых функциональных материалов (керамик, пленок, покрытий) оптоэлектроники и фотоники. Нарушение упорядоченного распределения катионов Mg^{2+} и Al^{3+} по тетра- (IV) и окта- (VI) позициям (обращение структуры), характерное для шпинели под влиянием радиационных и термических нагрузок, может существенно изменить характеристики материала. В связи с этим необходимо исследовать динамику решетки и область оптической прозрачности частично обращенных шпинелей.

В настоящей работе определены температурные (77–300 К) и барические (до 15 ГПа) зависимости спектров комбинационного рассеяния света – КРС (Horiba LabRam HR 800 Evolution с температурной Linkam THMS 600 и высокобарической Almax easyLab Diacell uscoreDAC-НТ приставками) и измерены спектры оптического поглощения в видимом

и ВУФ диапазонах (McPherson VuVAS 1000 PL) кристаллов синтетических и природных образцов шпинели, степень обращения структуры которых варьировалась с помощью лабораторного отжига на воздухе с быстрой закалкой в воде. На основе полученных данных количественно охарактеризовано изменение ангармонизма колебаний решетки при обращении структуры с использованием соотношения

$$\left(\frac{\delta v_i(T)}{\delta T}\right)_P = -\frac{\beta}{x} \left(\frac{\delta v_i}{\delta P}\right)_T + \left(\frac{\delta v_i(T)}{\delta T}\right)_V;$$

показан рост вклада фонон-фононного взаимодействия в температурные зависимости спектров в этом процессе. Определено смещение края оптического поглощения в обращенной структуре, связанное с катионным разупорядочением.

Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН по теме № 124020300057-6. Авторы благодарны А.Ю. Кисину за предоставление образца шпинели ювелирного качества для оптических измерений.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИОПСИДА, ПОЛУЧЕННОГО ТВЕРДОФАЗНЫМ МЕТОДОМ ИЗ ЗОЛЫ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ И ДОЛОМИТА

Твердов И.Д.¹, Карягина А.С.², Грунина Т.М.², Попонова М.С.²,
Булыгина И.Н.^{2,3}, Сенатов Ф.С.^{2,3}, Готлиб Е.М.¹

¹ АНО ВО «Университет Иннополис», Иннополис, Россия

² Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии
имени Н.Ф. Гамалеи Минздрава России, Москва, Россия

³ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Россия

Диопсид ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) относится к группе силикатных биоактивных керамик, которая в последнее время активно исследуется как материал для регенерации костной ткани. Известно, что *in vivo* диопсид обладает хорошей апатитообразующей способностью и цитосовместимостью. Диопсид перспективен в качестве материала керамических имплантатов и биоактивного армирующего материала при производстве композиционных материалов для ортопедии [Choudhary, 2019].

В данной работе диопсид был получен твердофазным методом из золы рисовой шелухи и доломита ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) [Патент 2022131067]. Для этого порошки золы рисовой шелухи и доломита измельчали в планетарной шаровой мельнице Fritsch Pulverisette 7 при скорости 200 об./мин в течение 10 минут. Затем порошки доломита и золы смешивали с борной кислотой в соотношении 57:38:5 (масс. %). Полученную смесь обжигали в печи при температуре 1100 °С в течение 3 часов, после охлаждения до комнатной температуры материал измельчали в ступке до получения однородного порошка.

Синтезированный диопсид исследовали методом рентгеноструктурного анализа, который подтвердил формирование фазы диопсида, а также акер-

манита (5 %). Согласно микроскопии, полученные частицы имеют средний размер 76 мкм со средним размером пор 4 нм. Удельная поверхность пористых частиц составила 1958 $\text{см}^2/\text{см}^3$. Помимо этого были исследованы адсорбция и кинетика высвобождения частицами диопсида костного морфогенетического белка 2 (ВМР-2). 1 мг диопсида связывает ~155 мкг ВМР-2. После двух недель кумулятивное высвобождение белка составило 18 %. Полученные результаты показывают перспективность применения диопсида, полученного твердофазным методом из доломита, в качестве биоактивной керамики для биомедицинских приложений.

Работа по оценке связывания и выхода ВМР-2 из диопсида выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 22-15-00216.

ЛИТЕРАТУРА

1. Choudhary R., Venkatraman S.K., Chatterjee A., et al. Biomineralization, antibacterial activity and mechanical properties of biowaste derived diopside nanopowders. *Adv Powder Technol.* 2019. V. 30. P. 1950–1964.
2. Твердов И.Д., Готлиб Е.М., Галимов Э.Р. Патент рег. № 2022131067 от 29.11.2022 г.

РАЗНОВИДНОСТИ УГЛЕРОДНОГО ВЕЩЕСТВА ИМАКТИТОВ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ

Уляшев В.В., Шумилова Т.Г., Исаенко С.И.

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар (vvulashev@geo.komisc.ru)

Углерод – уникальный химический элемент, который обладает способностью образовывать множество различных веществ, что определяется возможностью нахождения атома углерода в sp , sp^2 , sp^3 и промежуточных состояниях гибридизации, а также широким диапазоном условий и механизмов образования самородного углерода. Это обуславливает многообразие углеродных материалов и возможность их применения в различных отраслях науки и техники.

В результате импактного воздействия на углеродсодержащие горные породы могут образовываться уникальные углеродные вещества, это не только импактные алмазы, но и наноструктурированные материалы, которые могут быть использованы в качестве новых полезных ископаемых или основы для создания высокотехнологичных продуктов, создания природоподобных технологий. При изучении импактных углеродных веществ в Карской астроблеме были обнаружены разные углеродные фазы, включая микро-, нано- и ультрананокристаллические алмазы, высокобарные углеродные полимеры и кристаллический карбин [Уляшев и др., 2018 (а); Уляшев и др., 2018 (б); Shumilova et al., 2018; Shumilova et al., 2020]. Особое внимание стоит уделить карбину, так как он обладает уникальными полупроводниковыми свойствами [Кудрявцев и др., 1993], что делает его перспективным материалом для микроэлектроники и фотоэлементов.

Полученные результаты еще раз доказывают, что импактные процессы играют важную роль в образовании уникальных микро- и наноструктурированных углеродных материалов. Обнаруженные в Карской астроблеме углеродные фазы представ-

ляют интерес с точки зрения изучения фазового состояния углерода в экстремальных условиях и могут иметь значение для материаловедения, по крайней мере в качестве прототипов для создания новых углеродных материалов.

Работа выполнена за счет НИИ ГР № 122040600009-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев Ю.П., Евсюков С.Е., Гусева М.Б., Бабаев В.Г., Хвостов В.В. Карбин – третья аллотропная форма углерода // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 1993. № 3. – С. 450–463.
2. Уляшев В.В., Велигжанин А.А., Шумилова Т.Г., Кульницкий Б.А., Пережогин И.А., Бланк В.Д. Исследование импактного углеродного вещества Карской астроблемы методом малоуглового рассеяния синхротронного излучения // Минералогия. 2018. №.4(4). С. 41–48 (а).
3. Уляшев В.В., Шумилова Т.Г., Кульницкий Б.А., Пережогин И.А., Бланк В.Д. Наноструктурные особенности углеродных полифазных агрегатов апоугольных продуктах импактного метаморфизма // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 8(284). С. 26–33 (б).
4. Shumilova T.G., Isaenko S.I., Ulyashev V.V., Kazakov V.A., Makeev B.A. After-coal diamonds: an enigmatic type of impact diamonds // European Journal of Mineralogy. 2018. V. 30. № 1. P. 61–76.
5. Shumilova T.G., Ulyashev V.V., Kazakov V.A., Isaenko S.I., Vasil`ev E.A., Svetov S.A., Chazhenkina Y., Kovalchuk N.S. Karite – diamond fossil: a new type of natural diamond // Geoscience Frontiers. 2020. V. 11. Issue 4. P. 1163–1174.

ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫЕ СПЛАВЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Упоров С.А.¹, Евдокимов И.В.², Стерхов Е.В.¹, Быков В.А.¹,
Сидоров В.А.², Щелкачев Н.М.², Рыльцев Р.Е.¹

¹ *Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, segga@bk.ru*

² *Институт физики высоких давлений РАН, Москва, Троицк, Россия*

Высокоэнтروпийные сплавы (ВЭС), открытые почти двадцать лет назад, вызывают особый интерес со стороны материаловедов и инженеров как перспективные функциональные материалы с уникальной структурой и свойствами по сравнению с традиционными сплавами. Повышенная конфигурационная энтропия, присущая таким системам, позволяет стабилизировать однофазные твердые растворы с простой кристаллической структурой ОЦК, ГЦК или ГЦК типа, а также интерметаллические фазы сложного состава со структурой Лавеса. Кристаллическая решетка любого ВЭС характеризуется высокой плотностью структурных дефектов, что обеспечивает повышенную прочность и пластичность, а также высокое электрическое сопротивление с крайне малым температурным коэффициентом.

Недавние исследования показали, что некоторые из ВЭС демонстрируют сильную барическую зависимость сопротивления, сравнимую с аналогичным откликом металлических материалов, применяемых в датчиках давления и деформации. В рамках данной работы обсуждаются эффекты давления и одноосной упругой деформации (тензочувствительность) на электрическое сопротивление на примере серии эквимоллярных ОЦК и ГЦК ВЭС с привлечением спектра экспериментальных и расчетных методов. Для изученных многокомпонентных систем предложены теоретические модели для количественного описания и возможного прогнозирования барических и тензометрических эффектов.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 23-13-00162.

ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В ГИПСЕ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**Упорова Н.С., Леонова Л.В., Гуляева Т.Я.***Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, nuporova84@gmail.com*

Гипс – дигидрат сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, – типичный осадочный минерал, самый распространенный кристаллогидрат из природных сульфатов, который широко используется в строительстве, цементной, фармакологической промышленности. Огнестойкость является важным преимуществом при использовании гипса в строительстве зданий, так как является противопожарным конструкционным материалом. Согласно [Иванова, 1974] гипс является термостабильным и термоинертным вплоть до 1300 °С. Однако в работах [Sebbahi, 1997; Hao, 2021] показано, что начиная с 1000 °С синтетический гипс (фосфогипс) начинает диссоциировать, что авторы объясняют диссоциацией по реакции $\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaO} + \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2$ с высокой каталитической скоростью, что нетипично для такой реакции. Высокотемпературное поведение природного гипса остается не до конца рассмотренным в литературе, поэтому его изучение является обоснованным. В основном влияние примесей на свойства гипса изучены на искусственных смесях [Hao, 2021], где не учитывается кристаллизация материала в процессе генезиса.

Данная работа посвящена исследованию высокотемпературной диссоциации и фазообразования в природных образцах гипса из местонахождений России и Ближнего Зарубежья. Образцы изучены с помощью методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), термогравиметрии (ТГ), дифференциального термического (ДТА) и рентгеноструктурного анализа (XRD) в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН. Благодаря проведенному XRD – анализу был определен фазовый состав исходных, нагретых (до 1300°С) и отожженных образцов гипса. Основные примеси в исходных образцах: кварц, кальцит, слюда и глинистые минералы.

Термические и термогравиметрические свойства гипса достаточно подробно изучены в обла-

сти температур 25–1000 °С [Иванова, 1974; Sebbahi, 1997]. При нагревании гипса происходит реакция дегидратации в два этапа с образованием промежуточного полугидрата ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ (бассанит)). Полугидрат гипса превращается в ангидрит III ($\gamma\text{-CaSO}_4$). Далее при нагревании регистрируется необратимое полиморфное превращение при температуре ~360 °С ($\gamma \rightarrow \text{b}$ – ангидрит). При температуре ~1200 °С происходит обратимый фазовый переход $\text{b} \rightarrow \text{a}$ – ангидрит. В области высоких температур 1000–1300 °С некоторые образцы природного гипса демонстрируют поведение ТГ и ДТА, отличающееся от справочного [Иванова, 1974]. Это обусловлено термической диссоциацией ангидрита, где катализаторами выступают примеси. В данной работе выявлено, что образование новых фаз и кинетика диссоциации ангидрита зависит от количества и сорта примеси. В области температур 1250–1300 °С обнаружены эндотермические реакции, связанные с фазообразованием в результате взаимодействия ангидрита с примесными минералами.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГГ УрО РАН, тема № 124020300057-6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розина Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. Л., «Недра». 1974. 399 с.
2. Hao J., Cheng G., Hu T., Guo B., Li X. Preparation of high-performance building gypsum by calcining FGD gypsum adding CaO as crystal modifier // Construction and Building Materials. 2021.V. 306. P. 124910.
3. Sebbahi S., Ould Chameikh M.L., Sahban F., Aride J., Benarafa L., Belkbir L. Thermal behavior of Moroccan phosphogypsum // Thermochimica Acta. 1997. V. 302. P. 69–75.

ВЗАИМНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ХРОМОФОРНЫХ ВИДОВ ПОЛИСУЛЬФИДОВ В МИНЕРАЛАХ ГРУППЫ СОДАЛИТА: ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ МОЛЕКУЛ S_6 С ПОМОЩЬЮ DFT

Федяева М.А.^{1,2}, Лепешкин С.В.^{1,2,3}, Чуканов С.В.⁴, Оганов А.Р.¹

¹ ГЕОХИ РАН, Москва, Россия, a.oganov@skoltech.ru

² Сколтех, Москва, Россия, femaal.femaal3@yandex.ru

³ ФИАН, Москва, Россия, s.lepeshkin@skoltech.ru

⁴ ФИЦ ПХФ и МХ РАН, Черноголовка, Россия, chukanov@icp.ac.ru

В данной работе были изучены механизмы тепловых превращений полисульфидных включений в минералах группы содалита (гаюин, лазурит, слюдянкаит) в рамках теории функционала плотности (DFT). Определены основные пути распада циклической молекулы S_6 и выявлены наиболее вероятные конечные продукты реакции (пары радикальных анионов $S_3^{\cdot-} + S_3^{\cdot-}$ и $S_2^{\cdot-} + S_4^{\cdot-}$). Обнаружено, что наиболее предпочтительный путь реакции начинается с захвата одного электрона молекулой S_6 , приводящего к открытию цикла $S_6^{\cdot-}$ и последующему распаду образованного радикального аниона с энергетическим барьером около 0.5 эВ.

Было выявлено, что нейтральные серные молекулы демонстрируют способность к спонтанному захвату одного электрона с последующим значительным снижением энергии. Радикал-анионы $S_n^{\cdot-}$ ($n=2-6$) оказались стабильнее по сравнению с другими видами серных частиц с тем же числом атомов n , но другими зарядами. Захват второго электрона радикал-частицей $S_6^{\cdot-}$ происходит с высоким энергетическим барьером (~2.0 эВ), что объясняет нахождение в полостях минералов двухзарядных анионов лишь в следовых количествах. В работе был также изучен процесс захвата электронов молекулами S_5 , поскольку ионы S_5^{2-} встречаются в структурных полостях минералов группы канкринита [N.V. Chukanov et al., 2022; A.N. Sapozhnikov et al., 2017]. Процесс зарядки аналогичен.

Результаты расчетов позволяют объяснить экспериментальные данные о термических превращениях

внекаркасных S-содержащих групп в минералах группы содалита [N.V. Chukanov et al., 2023].

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 19-72-30043. Анализ стабильности проводился в рамках проекта государственного задания (ГЕОХИ РАН, Москва, Россия). Сравнение результатов с экспериментальными данными проводилось в соответствии с государственным заданием 124013100858-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sapozhnikov, A.N., Kaneva, E.V., Suvorova, L.F., Levitsky, V.I., Ivanova, L.A. $Na_5K_2Ca(Al_6Si_6O_{24})(S_5)$ (SH), a new mineral with the LOS framework, and re-interpretation of bystrite: cancrinite-group minerals with novel extra-framework anions // Mineral. Mag. 2017. V. 81. P. 383–402.
2. Chukanov, Nikita V., Sapozhnikov, Anatoly N., Kaneva, Ekaterina V., Varlamov, Dmitry A., Vigasina, Marina F. Bystrite, $Na_7Ca(Al_6Si_6O_{24})S_5^{2-}Cl^-$: formula redefinition and relationships with other four-layer cancrinite-group minerals // Mineral. Mag. 2023. V. 87. P. 455–464.
3. Chukanov N.V., Shchipalkina N.V., Shendrik R. Yu, Vigasina M.F., Tauson V.L., Lipko S.V., Varlamov D.A., Shcherbakov V.D., Sapozhnikov A.N., Kasatkin A.V., Zubkova N.V., Pekov I.V. Isomorphism and mutual transformations of S-bearing components in feldspathoids with microporous structures // Minerals (Basel). 2022. V. 12: 1456.

СИММЕТРИЙНАЯ СТАТИСТИКА МИНЕРАЛОВ

Филатов С.К.

Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия, filatov.stanislav@gmail.com

Хорошо известно, что минералы неравномерно распределены по семи сингониям. И.И. Шафрановский [1983] сопоставив таблицы по симметричной статистике разных времен («Основания минералогии» К.Ф. Науманна (1860), «Учебник минералогии» Г.Г. Лебедева (1891), таблицы Г. Штрунца (Strunz, 1949, 1977), сводки А.С. Поваренных (1966)), обнаружил, что распределение минералов по сингониям практически не изменялось за эти годы, независимо от количества минеральных видов. Это позволило И.И. Шафрановскому назвать данную симметричную статистику законом природы. Об этом писал и В.С. Урусов [2006]. Оказалось, что доминируют моноклинные минеральные виды, в то время как триклинные встречаются реже других. Ответы на эти вопросы даются в настоящем докладе.

Максимум (30.5 %) встречаемости моноклиновых минералов. Эта моноклиновая аномалия возникает благодаря оптимальному сочетанию двух решающих факторов: динамичности моноклиновой кристаллической решетки (4 переменных параметра) и максимально возможной кратности атомных позиций (8).

Триклинный минимум (7.4%). Для триклинных кристаллов динамичность решетки возрастает за счет возможности изменения двух оставшихся углов ячейки (6 переменных параметров). И это, казалось бы, должно приводить к возрастанию распространенности триклинных минералов по сравнению с моноклиновыми. Однако реально триклинные минералы встречаются много реже моноклиновых, что обусловлено малой кратностью позиций (не выше 2).

Второе место занимают ромбические кристаллы (22.6 %), имеющие три независимых линейных параметра элементарной ячейки и кратность позиций – 16.

Резюме. Распределение минеральных видов по симметричной иерархии окружающего нас мира минералов и неорганических соединений, определяется прежде всего двумя разнонаправленными факторами – динамичностью решетки (количеством не фиксированных симметрией параметров элементарной ячейки) и экономичностью кристаллического строения (максимальной кратностью атомных позиций, допускаемой данной голоэдрией) [Филатов, 2019]. Факторы, определяющие распределение минералов по точечным группам, определяют в общих чертах распределение их и по пространственным группам.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 22-13-00317.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урусов В.С. Симметричная статистика минеральных видов и эволюционная диссимметризация минерального вещества // Зап. Росс. минерал. об-ва. 2006. Ч. 135, № 6. С. 1–12.
2. Филатов С.К. Симметричная статистика минеральных видов в различных термодинамических обстановках // Зап. Росс. минерал. об-ва. 2019. Ч. 148, № 3. С. 1–13.
3. Шафрановский И.И. Статистические закономерности и обобщающий закон в распределении минералов по их симметрии // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1983. Ч. 112, № 2. С. 177–184.

ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЙ АСТЕРОИД (6037) 1988 EG И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО ОПТИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ В ОБСЕРВАТОРИИ САНГЛОХ

Хамроев У.Х., Сафаров С. Н., Асоев Х.Г., Шокириён Ф.М.

*Институт астрофизики Национальной Академии наук Таджикистана,
Душанбе, Таджикистан, safarov.sangin@mail.ru*

В период с 22 по 24 августа 2023 года, в Международной астрономической обсерватории Санглох, Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана, осуществлялись наблюдения за потенциально опасным астероидом 1988 EG. Регистрация объекта выполнялась с помощью ПЗС камерой, со следующими характеристиками: $D/F=1000$ мм/13 300 мм, CCD FLI Pro Line 09000, FOV $10^{\circ} \times 10^{\circ}$, масштаб 0.579 arcsec/pixel с использованием широкополосных фотометрических фильтров системы Джонсона-Козинса – *BVRI*, экспозиции наблюдений составляли 20–120 секунд. Для уменьшения уровня шумов ПЗС камеры аппаратура была охлаждена до температуры -20°C . Астрометрическая и фотометрическая обработка выполнено с помощью программы Tycho Tracker [Parrott, D., 2020; Львов, Цекмейстер, 2012].

Определены экваториальные координаты (положения) астероида 1988 EG и построена видимая траектория. Вычислена орбита астероида в период сближения с Землей, которая имеет минимальные отклонения от орбиты базы данных MPC [MPC. URL]. В результате фотометрии изображения измерен видимый блеск, построены кривые блеска в фильтрах *BVRI*, определен абсолютный блеск $H=18.90^m \pm 0.03$ (фильтр *V*). Значение альбедо астероида составляет

0.20 и полученные показатели цвета свидетельствуют о принадлежности астероида к *S*-типу, вещество которого богато оливином и пироксеном. Диаметр оценивается в 0.492 ± 0.005 км, что согласуется с имеющимися данными. Определено период вращения астероида 2.76 ± 0.000012 часа, что согласуется с имеющимися данными [<https://aldef.org/>].

Ключевые слова: астрометрия, фотометрия, координаты, орбита, кривая блеска, показатели цвета, период вращения, диаметр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Львов В.Н., Цекмейстер С.Д. Использование программного пакета ЭПОС для исследования объектов Солнечной системы // Астрон. вестник. 2012. Т. 46 (2) С. 190–192.
2. Parrott, D. Tycho Tracker: A New Tool to Facilitate the Discovery and Recovery of Asteroids Using Synthetic Tracking and Modern GPU Hardware (Abstract) // Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO). 2020. V. 48. P. 262.
3. The International Astronomical Union – Minor Planet Center. URL: <https://minorplanetcenter.net> Дата обращения 12.03.2024.
4. https://aldef.org/php/aldef_GenerateALCDEF-Page.php

ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ В СТРУКТУРЕ АНГИДРИТА КАК ИНДИКАТОРЫ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

Хасанов Р.А., Королев Э.А., Низамутдинов Н.М., Хасанова Н.М.

*Институт геологии и нефтегазовых технологий, КФУ, Казань,
ravil.khasanov.40@mail.ru; nkhasano@yandex.ru*

Изучены спектры электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в порошковых образцах двух генетических типов ангидрита распространенных на территории Республики Татарстан – седиментационно-диагенетического и инфильтрационно-метасоматического. Седиментационно – диагенетический ангидрит – тип 1, представляет собой протяженные пластовые тела мощностью до 10 м, образовавшиеся в результате развития эвапоритового бассейна Казанского палеоморя. Они широко развиты среди отложений казанского яруса биармийского отдела пермской системы. Инфильтрационно-метасоматический ангидрит – тип 2, встречается в нефтяных коллекторах различного возраста. Их образование осуществлялось путем вторичного отложения из состава сульфатсодержащих инфильтрационных вод, проникающих в глубины Земли по системам трещин. Данный способ переноса минерального вещества обусловил преимущественно прожилковый и сгустково-гнездовой облик аутигенных сульфатных агрегатов.

Установлено, что независимо от условий образования обнаруженные спектры в естественных ангидритах обоих типов представлены ярко выраженными линиями, принадлежащими SO_3^- , O_3^- , O_2^- и слабой линией от O^- радикала [Бершов, 1972; Хасанов, 1980; Мударисова, 2022]. Отличие генетических типов проявилось в относительном соотношении их концентраций – доминирование центра O_3^- в первом генетическом типе, а во втором – SO_3^- . Радиационную стойкость ангидрита к рентгеновскому излучению в первую очередь обеспечивают O^- радикалы, с большей концентрацией в инфильтрационно – метасоматическом ангидрите. Различная термическая стойкость SO_3^- радикала

в структуре ангидрита (до 400 °С) и в карбонатах (до 250 °С), а также появление в структуре карбонатов интенсивной линии, принадлежащей SO_2^- ион-радикалу, начиная с 250 до 300 °С, подтверждают пойкилитовое прорастание ангидрита седиментационно-диагенетического генезиса в карбонатах вмещающих пород.

Таким образом, проведенные системные термические и радиационные исследования представляют генетическую информативность парамагнитных центров в структуре ангидрита. Становится очевидным, что состав и количество дефектных центров служат чувствительным индикатором условий минералообразования. Парамагнитные центры, а также характер радиационного влияния на спектры ЭПР данных центров, можно отнести к типоморфным особенностям данного минерала – структурным и физическим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бершов Л.В. Экспериментальное исследование радиационных электронно-дырочных центров в минералах // Дисс. ... докт. г.-м.н. М. ИГЭМ. 1972. С. 30.
2. Мударисова Р.А., Волков Ю.В., Хасанова Н.М., Успенский Б.В. Характеристика карбонатных пород-коллекторов раннеказанского возраста Горского месторождения сверхвязкой нефти, изученных методом электронного парамагнитного резонанса // Георесурсы / Georesursy. 2022 Т. 24(3). С. 90–98.
3. Хасанов Р.А. Исследование структуры и свойств радиационных парамагнитных центров в некоторых сульфатах // Автореферат. Казань. 1980. – 19 с.

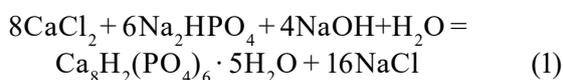
СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ И АЛЬГИНАТА

Цыганова А.А., Голованова О.А.

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия, golovanoa2000@mail.ru

В настоящее время актуальными являются направления создания остеопластических материалов для медицинских целей, что связано с распространенностью патологических состояний костной ткани и старением населения в целом. Индустрия биоматериалов стремительно развивается и каждый год появляются все новые виды биоматериалов: натуральные материалы (скелет кораллов, коллаген, желатин, хитозан) и синтетические полимеры (полиэфир, полилактиды, полигликолиды и их сополимеры), кальцийфосфатная керамика и биостекла. Особое внимание сегодня привлекают материалы на основе октакальциевого фосфата (ОКФ) – прекурсора биологического апатита, который участвует в ранней стадии минерализации, то есть является центром кристаллизации в кости и зубной эмали с последующим формированием осажденного гидроксиапатита (ГА) и далее в ГА с высокой степенью кристалличности. Однако получить чистый ОКФ затруднительно, ввиду того, что он является метастабильной фазой, поэтому его часто используют в смеси с другими фосфатами кальция.

На основе литературных данных был выбран способ синтеза смеси ортофосфатов кальция, путем осаждения из водного раствора. В основе данного способа лежит следующая химическая реакция (1):



Смешивание растворов проводилось при охлаждении (0–5°C).

После вызревания осадка под маточным раствором, в течение 48 ч, твердую фазу отделяли от раствора фильтрованием, высушивали при температуре ~ 80 °С до постоянной массы и полного удаления химически несвязанной воды, взвешивали и исследовали с применением группы физико-химических методов.

Для получения композиционного материала в качестве оптимального биополимера использовали альгинат натрия (Е-401). Готовили 2% водную суспензию полимера.

Методом БЭТ установлено, что удельная поверхность композиционного материала, характеризующегося соотношением наполнитель/матрица 20/80, возрастает по сравнению с порошковым материалом от 23 м²/г до 37 м²/г, но при увеличении температуры сушки удельная поверхность образца уменьшается до 33 м²/г. Таким образом, варьирование температуры позволяет получить пористые композитные материалы, которые могут быть использованы в ортопедии и травматологии.

Для изучения биорезорбируемости образцов было проведено их растворение в 0,1 М растворе HCl, ацетатном буферном растворе и 0,9% растворе NaCl. Экспоненциальная зависимость соответствует кинетике реакции первого порядка, поэтому в качестве количественной меры растворения можно рассматривать начальную скорость растворения, определенную, как тангенс угла наклона линейного участка прямой, построенной в координатах $\ln C_a = f(\tau)$. Установлено, что резорбируемость полученных композитов выше, чем у соответствующего образца без биополимера, при этом при увеличении соотношения наполнитель/матрица и увеличении температуры сушки композита резорбируемость снижается.

Таким образом, на основе полученных данных, предложен способ получения композиционных материалов, кинетику резорбции и удельную поверхность, которых возможно корректировать за счет варьирования соотношения наполнитель/матрица и температуры сушки.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023).

ПОЛУЧЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ ХАЛЬКОГЕНИДОВ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Чареев Д.А.

*Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, Россия
Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия
charlic@mail.ru, d.chareev@gmail.com*

Реакционные сосуды из кварцевого стекла позволяют получать кристаллы различных соединений, включая халькогениды. В качестве ростовых сред могут использоваться и расплавы и газы.

Задача данного исследования: разработка простых и универсальных методов ампульного синтеза, при которых рост кристаллов происходит в неизменных во времени условиях вследствие постоянства температуры и, в идеале, постоянства химических потенциалов всех компонентов. Постоянные физико-химические параметры особенно необходимы при получении кристаллов фаз с широкой, зависящей от температуры, областью гомогенности и фаз, легированных другими элементами.

Первым используемым методом является метод газового транспорта. Рассмотрено получение кристаллов предельных сульфидов в серных парах. Перенос в серных парах нельзя назвать методом сублимации, так как перенос металла осуществляется в виде газовых молекул с большим количеством атомов серы и не осуществляется в отсутствие паров серы.

Вторым методом является разработанный нами метод получения кристаллов в расплавах в стационарном температурном градиенте в ампулах из кварцевого стекла. В качестве ростовой среды используются расплавы галогенидов щелочных

металлов и алюминия. Температура в одной части ампулы выше, чем температура в другой части. В горячей части находится халькогенидная шихта. Она постепенно растворяется в солевом расплаве, мигрирует и образует кристаллы в холодной части ампулы. Важно, что солевой расплав не является электролитом, поэтому не содержит свободных электронов. Иногда для улучшения переноса используются метод «ампула в ампуле» и проводящие электроны контуры.

Аналогично, в температурном градиенте при перекристаллизации в жидкой сере получены кристаллы предельных сульфидов.

Третий рассматриваемый метод – метод испарения селена и теллура. Испарение селеновых и теллурических расплавов, насыщенных различными примесями, позволяет получить не только селениды и теллуриды, но и сульфиды, например пирит и пирротин.

Полученные кристаллы были охарактеризованы различными физическими методами. Кроме стандартных методов РФА и РСМА, качество кристаллов проверялось при измерении электропроводности, магнитной восприимчивости и теплоемкости при низких температурах. Некоторые образцы были изучены синхротронными методами.

ЛА-ИСП-МС ОПРЕДЕЛЕНИЕ Lu-Hf-ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ЦИРКОНА В РЕЖИМЕ «ВЛАЖНОЙ ПЛАЗМЫ»

Червяковская М.В., Червяковский В.С.

ИГГ УрО РАН, Екатеринбург, Россия, zaitseva.mvl991@gmail.com

В работе [Червяковская и др, 2021] была показана успешная реализация методики определения изотопного состава Lu и Hf в цирконе на многоколлекторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Neptune Plus (Thermo Fisher) с приставкой для лазерной абляции (ЛА) NWR 213 (ESI). На примере стандартных образцов циркона Mud Tank, GJ-1, 91500, Plesovice и Temora-2 выполнен анализ неопределенности единичного измерения отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$, которая составила 0.002–0.008 % в виде 2σ (при диаметре кратера 50 мкм; при его уменьшении до 25 мкм неопределенность измерения отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ возрастает в 1.5–2 раза) [Червяковская и др, 2021]. Данная работа была выполнена в режиме «сухой плазмы» (dry plasma), когда материал пробы после абляции транспортируется к масс-спектрометру только посредством газа-носителя гелия.

Известно [O'Connor et.al., 2006], что режим «влажной плазмы» (wet plasma) обладает некоторыми преимуществами перед режимом «сухой плазмы», в частности, приводит к более стабильным результатам при рутинном анализе, сокращению времени вымывания пробы после абляции. В работе [Connor et. al., 2006] показана эффективность использования режима «влажной плазмы» для микроэлементного анализа ЛА-ИСП-МС.

Цель работы: определение состава изотопной системы Lu-Hf в режиме «влажной плазмы» с помощью ИСП-МС Neptune Plus (Thermo Fisher) с приставкой для ЛА NWR 213 (ESI) на примере образцов сравнения циркона.

На рис. 1 представлена схема реализации режима «влажной плазмы». Расход H_2O – 5 мл за час работы.

На примере стандартных образцов циркона Mud Tank, GJ-1, 91500, Plesovice при диаметре кратера 25 мкм выполнен анализ неопределенности единичного измерения отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$, которая составила 0.003–0.013 % в виде 2σ . Получено значение изотопного отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ в стандартах циркона GJ-1, 91500, Mud Tank, Plesovice $0.282052 \pm (2)$ ($N=65$), $0.282275 \pm (11)$ ($N=6$), $0.282506 \pm (6)$ ($N=7$), $0.282509 \pm (3)$ ($N=32$), соответственно. Значение стандартного отклонения (повторяемости) результатов измерения (s , %) методики анализа для GJ-1, 91500, Mud Tank, Plesovice составило 0.003, 0.006, 0.002, 0.005 %, соответственно.

Полученные результаты в режиме «влажной плазмы» согласуются с литературными данными и данными в режиме «сухой плазмы» [Червяковская и др, 2021]. Показана эффективность использования режима «влажной плазмы» для определения изотопного состава Lu-Hf системы ЛА-ИСП-МС.

Работа выполнена в рамках г/б темы № 123011800012-9.

ЛИТЕРАТУРА

1. Червяковская М.В., Вотяков С.Л., Червяковский В.С. Изучение Lu/Hf изотопного состава цирконов с помощью многоколлекторного масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Neptune Plus и приставки для лазерной абляции NWR 213 // Аналитика и контроль. 2021. Т. 25 (3). С. 212–221.
2. O'Connor C., Sharp B.L., Evans P. On-line additions of aqueous standards for calibration of laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry: theory and comparison of wet and dry plasma conditions // J. Anal. At. Spectrom. 2006. V. 21. P. 556–565.

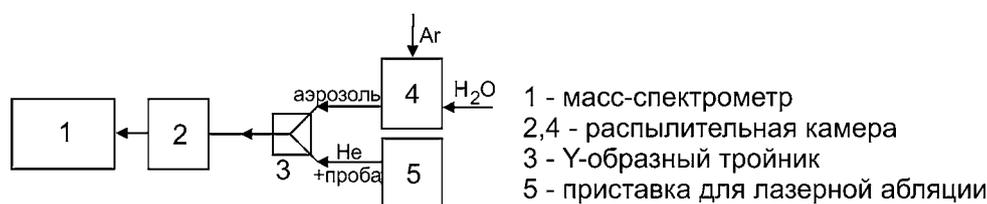


Рис. 1. Блок-схема реализации режима «влажной плазмы»

ПЕРВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА АПАТИТА ИЗ АНДЕЗИТОВ МАССИВА ДИВИЙ КАМЕНЬ (СРЕДНИЙ УРАЛ) МЕТОДОМ ЛА-ИСП-МС

Червяковский В.С., Червяковская М.В.

ИГГ УрО РАН, Екатеринбург, Россия, v.chervyakovskiy@mail.ru

Возраст палеовулкана Дивий Камень на Среднем Урале определен как средний девон (D_2 – 382.7–393.3 млн лет) по эйфельской фауне в обломках известняков из туфоконгломератов и глыбовых туфов нижних горизонтов разреза. Остатки этого палеовулкана представлены сложной ассоциацией лав базальтов, андезибазальтов, андезитов, андезидацитов, дацитов, риодацитов. Широким распространением пользуются также туфы различного состава. По авторским данным возраст по цирконам данного объекта (проба Див 1-16) составляет от 327 до 390 млн лет. Возраст цирконов в андезитах, установленный в интервале 369–362 млн. лет. ($T_{cp} = 366.8 \pm 2.6$ млн. лет), близок к времени их образования [Червяковский и др., 2023]. U-Pb возраст апатита ранее не был определен.

В данной работе был изучен U-Pb возраст апатита из пробы андезита массива Дивий камень (Див 1-16) с помощью ИСП-МС NexION 300S (PerkinElmer) с приставкой для ЛА NWR 213 (ESI). Методика измерения представлена в работе [Червяковский и др., 2023а]. Диаметр кратера 25 мкм. Изучено 85 зерен апатита. Обработка результатов проведена в программе GLITTER 4.4; корректировка на не-

радиогенный свинец и построение диаграммы конкордии проведена в программе IsoplotR. Значение U-Pb возраста образцов сравнения апатита в данной измерительной сессии составило для Mun Mad 474 ± 4 млн лет. (1σ , СКВО=0.26), Durango – 29.2 ± 1.6 млн лет. (1σ , СКВО=0.01). На рис. 1 представлена диаграмма конкордии результатов U-Pb датирования апатита пробы Див 1–16. Возраст, определенный по диаграмме конкордии составил 363.7 ± 3.1 млн лет (1σ , СКВО=0.27).

Полученные данные датирования апатита и циркона из пробы Див 1-16, не противоречат друг другу, что вероятнее всего, подтверждает формирование данного объекта в верхнем девоне.

Работа выполнена в рамках г/б темы №№ 124020400013-1 и 123011800012-9.

ЛИТЕРАТУРА

1. Червяковский В.С., Слободчиков Е.А., Червяковская М.В., Фаррахова Н.Н., Волчек Е.Н. Геохимическая характеристика пород и изотопное датирование циркона из дайки андезитов рудянской толщи (D_2 rd) Восточной зоны Среднего Урала // Известия УГГУ. 2023. Вып. 4 (72). С. 69–80.
2. Червяковский В.С., Червяковская М.В., Пупышев А.А., Вотяков С.Л. ЛА-ИСП-МС определение U-Pb-изотопного состава апатита // XXIX Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа – 2023». Екатеринбург. 2023а. С 220–222.

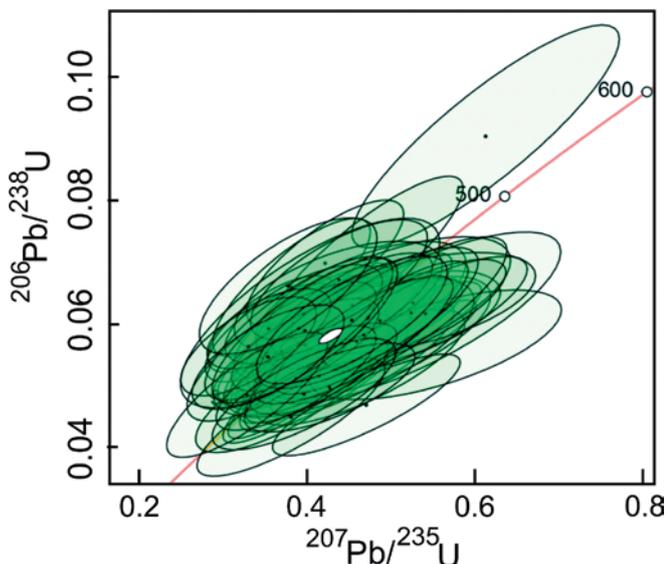


Рис. 1. Диаграмма конкордии результатов U-Pb датирования апатита пробы Див 1-16

ОЦЕНКА ФОРМ ВХОЖДЕНИЯ МЕДИ В РУДАХ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Чубаров В.М., Финкельштейн А.Л.

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия, chubarov@igc.irk.ru

В рудах промышленных месторождений медь присутствует в виде сульфидов, а также в зонах окисления в виде карбонатов, силикатов, сульфатов и оксидов. Обогащаемость медных руд определяется, среди прочего, преимущественной формой вхождения меди и ее валентным состоянием [Александрова и др., 2021].

Рентгенофлуоресцентный анализ широко используется для определения валового состава рудных объектов, в том числе медных руд. На параметры некоторых линий К-серии рентгеновского эмиссионного спектра переходных элементов оказывают влияние их валентное состояние и форма вхождения [Филиппов и др., 2001].

В данной работе предпринята попытка оценки форм вхождения меди в медных рудах методом рентгенофлуоресцентного анализа. Исследование выполнено с помощью волнодисперсионного спектрометра S4 Pioneer (Bruker AXS, Германия). На рис. 1 приведен спектр образца сульфида меди Cu_2S в области линии $\text{CuK}\beta_{1,3}$ и результат аппроксимации псевдо-функцией Фойгта, позволившей установить присутствие интенсивного спутника $\text{CuK}\beta'$. На рис. 2 приведены разностные спектры, полученные вычитанием нормированных (на интенсивность максимума линии $\text{CuK}\beta_{1,3}$) интенсивностей спектра образца сульфида меди (соответствует на рис. 2

оси абсцисс) из интенсивностей спектров образцов сульфата и карбоната меди. Интенсивности нормированных спектров образцов, содержащих различные формы меди, существенно отличаются в области спутника $\text{CuK}\beta'$, что позволяет использовать его интенсивность как аналитический параметр при оценке преимущественной формы вхождения меди. Описанный подход был применен при исследовании образцов медных руд зон окисления месторождения Удокан (Забайкальский край).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00449, <https://rscf.ru/project/23-23-00449/>) с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова Т.Н., Орлова А.В., Таранов В.А. Современное состояние переработки медных руд (обзор) // Известия вузов. Цветная металлургия. 2021. Т. 27(3). С. 4–14.
2. Филиппов М.Н., Куприянова Т.А., Лямина О.И. Одновременное определение содержания и формы нахождения элемента в твердом теле рентгенофлуоресцентным методом // Журнал аналитической химии. 2001. Т. 56(8). С. 817–824.

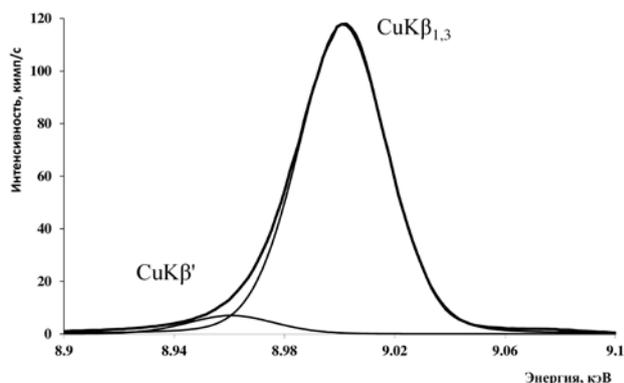


Рис. 1. Рентгеновский спектр образца Cu_2S в области линии $\text{CuK}\beta_{1,3}$

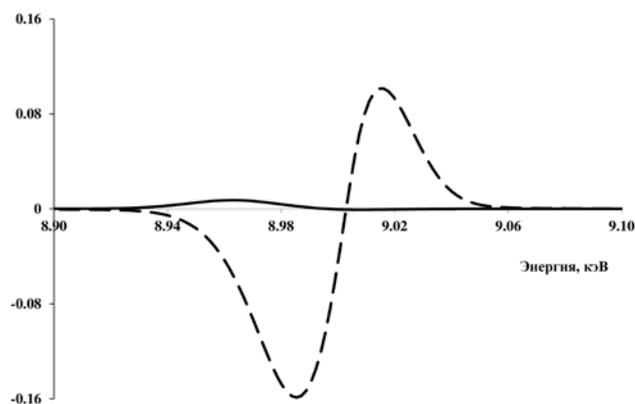


Рис. 2. Разностный спектр образцов Cu_2S (ось абсцисс), CuSO_4 (сплошная линия), CuCO_3 (пунктирная линия) в области линии $\text{CuK}\beta_{1,3}$

СУЛЬФАТЫ $\text{Rb}_2(\text{SO}_4)$, $\text{Cs}_2(\text{SO}_4)$ И $\text{Rb}_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$: ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Шаблинский А.П.¹, Демина С.В.^{1,2}, Кржижановская М.Г.²,
Бирюков Я.П.¹, Бубнова Р.С.¹, Филатов С.К.²

¹ Институт химии силикатов РАН, Санкт-Петербург, Россия, shablinskii.andrey@mail.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, filatov.stanislav@gmail.com

В настоящей работе приводятся результаты исследований сульфатов $\beta\text{-Rb}_2\text{SO}_4$, $\alpha\text{-Rb}_2\text{SO}_4$, $\beta\text{-Cs}_2\text{SO}_4$, $\alpha\text{-Cs}_2\text{SO}_4$, $\text{Rb}_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$. Рассмотрены их кристаллические структуры с позиции фундаментальных строительных единиц. Методом порошковой терморентгенографии выполнено исследование полиморфных превращений и термического расширения $\beta\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$, $\alpha\text{-Rb}_2\text{SO}_4$, $\beta\text{-Cs}_2\text{SO}_4$, $\alpha\text{-Cs}_2\text{SO}_4$, и $\text{Rb}_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$. Проведен комплексный термический анализ (ДСК+ТГ).

$\text{Rb}_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$ относится к с.т. лангбейнита $P2_13$, $a = 10.553(3) \text{ \AA}$ [Boujelben et al., 2007]. Основой кристаллической структуры $\text{Rb}_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$ является каркас $\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$, из связанных по вершинам структурных единиц $\text{Ca}(\text{SO}_4)_6$, состоящий из октаэдра CaO_6 соединенного с тетраэдрами SO_4 по вершинам. Подобные структурные единицы (модули) $M(\text{TO}_4)_6$ были выделены впервые в [Воронков и др., 1975] для описания октаэдрических-тетраэдрических каркасов. Результаты исследования $\text{Rb}_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$ не выявили полиморфных переходов в температурном интервале 25–900 °С. Коэффициенты термического расширения: $\alpha_a = 10.4(2)$ при 25 °С до $\alpha_a = 14.2(2)$ при 900 °С. По результатам ДСК и ТГ плавление происходит при температуре 1049 °С.

$\beta\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$ и $\beta\text{-Cs}_2\text{SO}_4$ кристаллизуются в пр. гр. $Pm\bar{c}n$ ($a = 5.9834(1)$, $b = 10.4492(2)$, $c = 7.8292(2) \text{ \AA}$ для $\beta\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$). Основой кристаллической структуры $\beta\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$ [Weber et al., 1989] является каркас $\text{Rb}_2(\text{SO}_4)$, состоящий из фундаментальных строительных единиц $\text{Rb}(\text{SO}_4)_6$, связанных по вершинам. Изучено термическое расширение обеих моди-

фикаций в интервале температур –170—1000 °С. $\beta\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$ испытывает отрицательное термическое расширение от –170 до –130 °С ($\alpha_a = -10.3(3)$, $\alpha_b = -8.6(2)$, $\alpha_c = -9.7(2)$ при –170 °С). При температуре 675 °С низкотемпературная модификация $\beta\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$ переходит в высокотемпературную $\alpha\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$, который кристаллизуется в пр. гр. $P6_3/mmc$ ($a = 6.129(2)$, $c = 8.460(5) \text{ \AA}$). Коэффициенты термического расширения $\beta\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$ составляют $\alpha_a = 36.9(6)$, $\alpha_b = 21.23(7)$, $\alpha_c = 144.4(8)$ при 650 °С. Коэффициенты термического расширения $\alpha\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$ составляют $\alpha_a = 32.4(1)$, $\alpha_c = 92.1(9)$ при 675 °С. Кристаллическую структуру $\alpha\text{-Rb}_2(\text{SO}_4)$ также слагает каркас $\text{Rb}_2(\text{SO}_4)$, связанный по ребрам, а структура фундаментальных строительных единиц $\text{Rb}(\text{SO}_4)_6$ претерпевает изменения из-за разупорядочения атомов кислорода.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № (№23-77-10066) и с использованием оборудования СПбГУ РЦ РДМИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронков А.А., Илюхин В.В., Белов Н.В. Кристаллохимия смешанных каркасов. Принципы их формирования // Кристаллография. 1975. Т. 20. С. 556–566.
2. Boujelben M., Toumi M., Mhiri T. Langbeinite-type $\text{Rb}_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$ // Acta Cryst. 2007. E63. P. 157.
3. Weber H.J., Schulz M., Schmitz S. Determination and structural application of anisotropic bond polarisabilities in complex crystals // J. of Phys.: Cond. Mat. 1989. V. 1. P. 8543–8557.

ПЛАТИНОИДНЫЕ ФАЗЫ В КОРЕ ПЛАВЛЕНИЯ ХОНДРИТОВ ЧЕЛЯБИНСК (LL5) И ОЗЕРКИ (L6)

Шарыгин В.В.^{1,2}, Гроховский В.И.², Яковлев Г.А.^{2,3}

¹ ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, sharygin@igm.nsc.ru

² Физико-технологический институт, УрФУ, Екатеринбург, Россия

³ Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Внешняя зона коры плавления обыкновенных хондритов представлена криптокристаллическим агрегатом скелетных кристаллов зональных оливина и магнетита и/или магнезиоферрита (до 5 μm) и стеклом (44–47 мас.% SiO_2). Внутренняя зона содержит более крупные кристаллы новообразованного оливина, стекло и второстепенный магнетит-магнезиоферрит. В обеих зонах обычно присутствуют округлые реликты исходного оливина и хромита, а также новообразованные высоко-Ni металл-сульфидные глобулы (до 10–20 μm). Фазовый состав таких глобул – хизлевудитовый твердый раствор Hzss1 ($\text{Ni}_{3\pm x}\text{S}_2$) + никель или аваруит $\text{Ni}_3\text{Fe} \pm$ обогащенные платиноидами (PGE) металлические фазы. Глобулы с PGE-фазами наиболее характерны для внешней зоны коры плавления. Малый размер этих фаз (рис. 1) позволяет лишь констатировать, что в метеорите Челябинск в их составе преобладает Os, а в метеорите Озерки – Pt [Шарыгин, 2018; Sharygin, 2019].

Само появление PGE-фаз в коре плавления пока остается загадкой. Не исключено, что именно взаимодействие с атмосферой Земли (при $T \approx 2000^\circ\text{C}$) приводит к аномальному концентрированию PGE за счет повышения активности кислорода. Возможными механизмами могут служить взаимодействие

с атмосферой, способствующее частичному окислению железа в силикатном расплаве, и обмен компонентами между металл-сульфидным и силикатным расплавами. При этом металл-сульфидная жидкость существенно обогащалась Ni и обеднялась S и Fe, а силикатный расплав становился более железистым. При этом PGE концентрируются в металл-сульфидной составляющей и образуют включения в высоко-Ni металле, несмотря на быстротечность процессов плавления и последующей кристаллизации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Программы развития УрФУ в соответствии с программой «Приоритет-2030» и гранта Российского научного фонда № 24-27-00392 (ГВИ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарыгин В.В. Высоконикелевые металл-сульфидные глобулы в коре оплавления L6 хондрита Озерки, Липецкая область: предварительные данные // XVIII всероссийская конференция по термобарогеохимии. Москва, ИГЕМ РАН. 2018. С. 148–150.
2. Sharygin V.V. Nickel-rich metal-sulfide globules in fusion crust of Chelyabinsk meteorite // Meteoritics and Planetary Science. 2019. V. 54. SI-1. 6363 pdf.

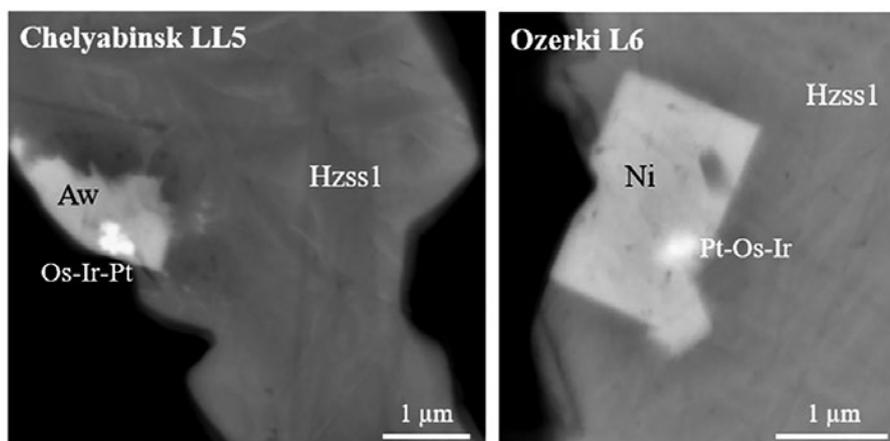


Рис. 1. PGE-фазы в металл-сульфидных глобулах из внешней зоны коры плавления метеоритов Челябинск и Озерки (BSE). Условные обозначения: Hzss1 – хизлевудитовый твердый раствор, Ni – никель, Aw – аваруит

ВКЛЮЧЕНИЯ РАСПЛАВА В ФОСТЕРИТЕ ИЗ CV3 УГЛИСТОГО ХОНДРИТА АЛЛЬЕНДЕ

Шарыгин В.В.^{1,2}

¹ ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, sharygin@igm.nsc.ru

² Физико-технологический институт, УрФУ, Екатеринбург, Россия

В углистом хондрите Алльенде (CV3) включения силикатного расплава были выявлены в фенокристаллах оливина из порфирированных оливиновых и оливин-пироксеновых хондр (0.5–1 мм), а также в одиночных зернах оливина (до 0.5 мм). Оливин в хондрах зонален: центр – Fo_{99–97}, край – Fo_{94–85}. В POP хондрах он ассоциирует с низко-Са пироксеном En_{98–95}. Матрикс – это стекло (тонкокристаллический агрегат) или ассоциация низко-Са пироксен + диопсид + анортит ± хромит. Реже встречаются нефелин, содалит, ильменит, шпинель и апатит, а также глобулы, содержащие аварунит, пентландит, магнетит и троилит в разных соотношениях.

Включения расплава образуют цепочки в оливине и являются вторичными-мнимовторичными по генезису (рис. 1). В пределах цепочек они обычно ассоциируют с металл-сульфидными и флюидными включениями (размер – ≤ 10–15 μm), комбинированные варианты металл/сульфид + стекло и газ + металл/сульфид – это обычное явление. Фазовый состав включений расплава: силикатное стекло + газовый пузырек (низкоплотный флюид) ± шпинель/хромит ± клинопироксен ± металл-сульфидная глобула (Fe-Ni-металл + троилит).

В зависимости от степени раскristаллизации стекла включений имеют варьирующий состав. Наиболее характерны нефелин-нормативные составы (в мас.%): SiO₂ – 50.9–59.7; Al₂O₃ – 20.3–24.6;

Na₂O – 10.5–13.6; K₂O – 0.5–0.9; CaO – 1.0–8.7; MgO – 0.7–4.7, TiO₂+FeO+Cr₂O₃ – <1.5. Некоторые стекла содержат более высокие концентрации CaO (13.8–21.5) и Al₂O₃ (24.7–24.6) и низкие Na₂O (4.0–8.9) и SiO₂ (44.7–49.2 мас.%). В наиболее раскristаллизованных включениях стекло имеет кварц-нормативный состав (SiO₂ – 76.1–89.5 мас.%).

По фазовому и химическому составу большинство включений расплава в форстерите метеорита Алльенде напоминают таковые в оливине метеорита Каинсаз [Шарыгин, Пастухович, 2023]. Наличие включений расплава в форстерите Алльенде показывает, что его кристаллизация (PO и POP хондры, IOGs) происходила из расплава при T>>1000°C.

Работа выполнена при финансовой поддержке ИГМ СО РАН (гос. задание № 122041400312-2, опт. микроскопия, КР-спектроскопия) и Минобрнауки РФ в рамках Программы развития УрФУ в соответствии с программой «Приоритет-2030» (сканирующая микроскопия).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарыгин В.В., Пастухович А.Ю. Включения расплава в отдельных зернах форстерита из углистого хондрита Каинсаз (Татарстан) // 13-я Всеросс. Мол. Науч. Конф. «Минералы: строение, свойства, методы исследования», ИГГ УрО РАН, Екатеринбург, 2023. С. 307–309.

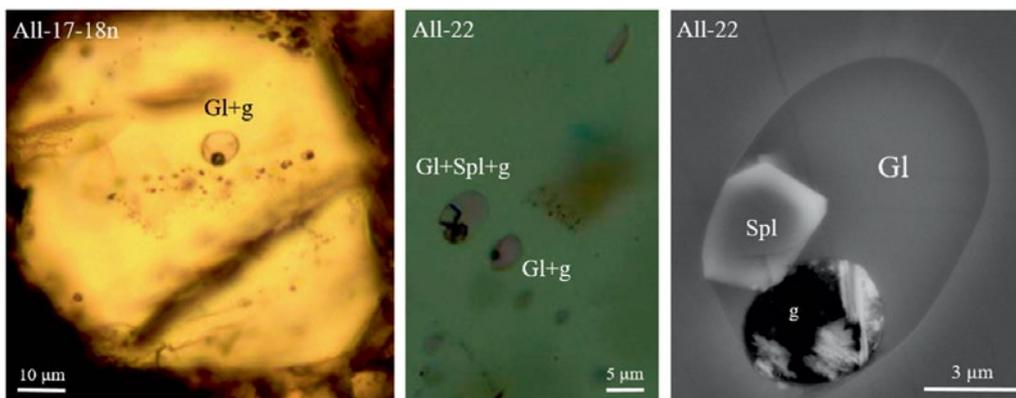


Рис. 1. Вторичные включения расплава в оливине POP хондр, метеорит Алльенде. Условные обозначения: Gl – силикатное стекло, g – газовый пузырек, Spl – шпинель

МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ МЕТЕОРИТА КАПУСТИН ЯР (L/LL6)

Шарыгин В.В.^{1,2}

¹ ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, sharygin@igm.nsc.ru

² Физико-технологический институт, УрФУ, Екатеринбург, Россия

Капустин Яр – это третий метеорит, найденный на территории Астраханской области (48.806°N, 46.062°E). Он был обнаружен в апреле 2021 года на севере области в районе полигона Капустин Яр. Метеорит (L/LL6, S2, W2, масса 276.5 кг) был зарегистрирован в Международном метеоритном обществе в сентябре 2023 года. Он входит в список шести самых крупных по общей массе каменных метеоритов России [Шарыгин, 2024].

Общий вес метеорита, вместе с девятью обломками, составляет 276.5 кг. Самый крупный образец метеорита (275 кг) имеет угловатую и слегка округлую форму, размер – 48 x 60 x 50 см. Его поверхность частично покрыта корой плавления. Свежие сколы на внешней части метеорита выявляют его пятнистое строение, и он выглядит как брекчия. Светлая и темная части одинаковы по минералогическим характеристикам, но светлая часть в большей степени дезинтегрирована, чем темная. Импактные прожилки (shock veins) пока не обнаружены. Вторичные изменения фиксируются по присутствию гидроксидов железа вокруг зерен металла и троилита, а также в трещинках зерен всех минералов.

Метеорит состоит из средне- до крупнозернистой матрицы и редких хондр и их фрагментов. Хондры (размеры 0.5–1 мм, RP, PO, POP и BO типы) иногда слабо различимы и имеют очень расплывчатые границы с матрицей. Матрица хондрита содержит оливин (форстерит), низкокальциевый пироксен (энстатит), диопсид, альбит, троилит, Fe-Ni-металлы и хромит, а также второстепенные (>1 об.%) хлорапатит и мерриллит. Металл-сульфидные ассоциации в матрице состоят из камасита, тэнита, тетратэнита и троилита. Мартенсит (α' -камасит) иногда присутствует в хондрах.

Химический состав ключевых минералов метеорита Капустин Яр: оливин – $\text{Fa}_{26.37\pm 0.42}$ (N=62), низкокальциевый пироксен – $\text{Fs}_{22.32\pm 0.59}\text{Wo}_{1.55\pm 0.34}$ (N=55), альбит – $\text{Ab}_{84.2}\text{An}_{10.1}\text{Or}_{5.7}$ (N=17), Cr-содержащий диопсид – $\text{En}_{45.2}\text{Fs}_{8.4}\text{Wo}_{46.4}$ (Cr_2O_3 – 0.7–0.9 мас.%, N=3), хромит – $\text{Cr}_{81.8}\text{Spl}_{12.9}$ (N=17). Хлорапатит содержит 0.5–0.9 мас.% F, 4.9–5.2 мас.% Cl и 0.4–0.5 мас.% Na_2O (N=9). Мерриллит обеднен Fe (до 1.0 мас.% FeO, N=4). Состав металлов (в мас.%): камасит (N=14) – Fe 92.77±0.64, Ni – 6.09±0.51, Co – 1.16±0.23; тэнит (N=17) – Fe 64.86±0.79, Ni 34.54±0.85, Co 0.53±0.12; тетратэнит (N=7) – Fe 45.75±2.68, Ni 53.89±2.61, Co 0.36±0.04; мартенсит (N=7) – Fe 83.26±0.35, Ni 15.55±0.30, Co 1.19±0.14. В целом, по составу главных силикатов и содержанию Co в камасите метеорит Капустин Яр занимает промежуточное положение между хондритами L и LL. По этим характеристикам он существенно отличается от ближайшего по падению метеорита Царев (L5), траектория полета которого была с ЮВ на СЗ и приблизительно на 50 км юго-западнее местонахождения метеорита Капустин Яр.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ИГМ СО РАН (гос. задание № 122041400312-2, оптическая микроскопия, Рамановская спектроскопия) и Минобрнауки РФ в рамках Программы развития УрФУ в соответствии с программой «Приоритет-2030» (сканирующая микроскопия).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарыгин В.В. Капустин Яр – новый крупный хондрит в европейской части России // В мире минералов. Минералогический Альманах. 2024. Т. 28. № 3. С. 82–85.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СПЕКТРОВ МИНЕРАЛОВ И ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ КАРТ

Шендрик Р.Ю., Богданов А.С., Мясникова А.С.

Институт геохимии им. А.П. Виноградова г. Иркутск, Россия, roshen@yandex.ru

Для идентификации минералов и установления их структуры требуются неразрушающие, чувствительные к химическому составу и кристаллической структуре методы. Одним из широко используемых методов является колебательная спектроскопия, включающая в себя инфракрасную (ИК) спектроскопию поглощения с Фурье преобразованием и спектроскопию комбинационного рассеяния света (КРС). Использование ИК и конфокальных КРС микроскопов позволяет исследовать образцы малого размера и строить гиперспектральные карты поверхности этих образцов.

В настоящей работе будут рассмотрены методы и подходы к обработке колебательных спектров,

построению гиперспектральных карт и идентификации минералов на основе библиотек с открытым исходным кодом micromap [<https://github.com/romus33/micromap>] и ArDi (<https://ardi.fmm.ru>) [Шендрик и др., 2024] с использованием алгоритмов глубокого обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Репозиторий Micromap: <https://github.com/romus33/micromap>
2. Шендрик Р.Ю., Плечов П.Ю., Смирнов С.З. ArDI – система обработки и анализа колебательных спектров минералов // Новые данные о минералах. 2024. Т. 58. Вып. 2. (в печати).

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ОТЛОЖЕНИЙ НА ИСКУССТВЕННЫХ СОСУДАХ

Шершнева А.Е., Голованова О.А.

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия, golovanoa2000@mail.ru

На сегодняшний день один из вариантов лечения сердечно-сосудистых заболеваний – это протезирование искусственными кровеносными сосудами, но при их использовании в организме человека на стенках искусственных сосудов наблюдаются отложения, которые приводят к повторному протезированию сосудов и их замене.

Благодаря биохимическим исследованиям, существуют данные о составе плазмы крови человека. Это позволяет проводить исследования в моделированном растворе плазме крови, параметры которой приближены к физиологическим значениям организма человека.

Таким образом, изучение процесса образования малорастворимых фосфатов кальция в организме человека и на поверхности имплантатов является перспективным направлением для научных изысканий. Необходимо исследовать процессы кристаллизации из модельного раствора плазмы крови на искусственных сосудах в присутствии глицина.

Для осаждения фосфатов кальция на поверхности сосудистых протезов марок «Витафлон», «Intergard Silver» и «Intergard Synergy» (табл. 1), были подготовлены образцы размером 10·10 мм. Затем образцы опускали в вертикальном положении в конические колбы на 50 мл, в таком положении, чтобы они не касались дна и стенок колбы.

Далее приливали модельный раствор плазмы крови человека и полученную систему выдержива-

ли в течение 1 и 2 месяцев в шкафу БИАТРОН при температуре 36,6 °С, после чего образцы извлекали из модельного раствора, просушивали при комнатной температуре и анализировали посредством оптической микроскопии.

Исследован процесс кристаллизации фосфатов кальция на искусственных сосудах разных марок в растворах, моделирующих состав плазмы крови человека, в зависимости от времени синтеза и концентрации добавки глицина.

С помощью РФА и ИК-спектроскопии показано, что полученные твердые фазы и отложения на сосудах состоят из карбонатгидроксиапатита В-типа и витлокита. Установлено влияние глицина на процесс образования фосфатов кальция. По результатам оптической микроскопии сосудов разных марок выявлено, что на сосудистом импланте «Витафлон» наблюдаются наиболее интенсивные отложения, в отличие от других марок сосудов. Химическими методами получено, что с увеличением времени синтеза Ca/P коэффициент увеличивается, так как меняется фазовый состав твердой фазы. Изучена растворимость образцов в препарате Верапамил и установлены кинетические характеристики данного процесса.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023).

Табл. 1. Примеры искусственных сосудов, использованных в работе

Протез марки «Витафлон» Материал: Политтрафторэтилен (ПТФЭ)	Протез марки «Intergard Silver» Материал: Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) с покрытием CH_3COOAg	Протез марки «Intergard Synergy» Материал: ПЭТФ с покрытием CH_3COOAg + триклозан
		

ТИТАНСОДЕРЖАЩИЙ ГИДРОКСИЛКЛИНОГУМИТ В ХРОМИТИТАХ ВОЙКАРО-СЫНЬИНСКОГО МАСИВА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Ширяев П.Б., Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Пучков В.Н., Хиллер В.В.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, pavel-shiryaev@mail.ru

В хромовых рудах плато Пайты, расположенного в северной части Войкаро-Сыньинского ультрамафитового массива, впервые в подиформных хромититах обнаружен (совместно с нашей безвременно ушедшей коллегой Н.В. Вахрушевой) титансодержащий гидроксилклиногумит, относящийся к DHMS-фазам.

Химический состав минерала – SiO_2 – 37,7–38,46%; TiO_2 – 4,75–5,64% Cr_2O_3 – 0,02–0,14%; NiO – 0,15–0,24%; FeO – 1,53–1,92%; MgO – 52,93–53,99%; при полном отсутствии фтора. При пересчете 23 микрозондовых анализов минерала (на 13 катионов) получена следующая обобщенная кристаллохимическая формула: $\text{Mg}_{8,34-8,53}\text{Ti}_{0,27-0,43}\text{Fe}_{0,13-0,17}\text{Cr}_{0,00-0,08}\text{Mn}_{0,00-0,02}\text{Ni}_{0,00-0,01}(\text{Si}_{3,86-4,05}\text{Ti}_{0,00-0,14}\text{O}_{16})(\text{OH})_2$.

Присутствие ОН-группировки в минерале установлено методом рамановской спектроскопии. Полученный спектр в целом соответствует эталону гидроксилклиногумита [González-Jiménez et al., и др., 2017]. Результаты геотермометрии показывают, что формировался данный минерал в хромититах (локализованных в теле дунитов на контакте апогарцбургитовых амфибол-оливин-антигоритовых и амфибол-энстатит-оливиновых метаморфических пород) при температуре 668–740°C и, вероятно, дав-

лении 20–25 кбар. Данный вывод согласуется с результатами, полученными при изучении хромовых руд массива Рай-Из [Вахрушева и др., 2017]. Из этого следует, что образование (или преобразование) хромитовых руд проявления Пайты происходило в высокотемпературных условиях, то есть, по всей видимости, в надсубдукционной геодинамической обстановке, которая по современным данным является наиболее перспективной для генерации именно крупных месторождений хромитов.

Исследования проводятся за счет гранта Российской государственной академии наук № 22-17-00027, <https://rscf.ru/project/22-17-00027/>

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р. Петрология и хромитонность ультраосновного массива Рай-Из Полярный Урал. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 265 с.
2. González-Jiménez J.M., Plissart G., Garrido L.N. et al. Ti-clinohumite and Ti-chondrodite in antigorite serpentinites from Central Chile: evidence for deep and cold subduction // *European Journal of Mineralogy*, 2017. Vol. 29. P. 959–970.

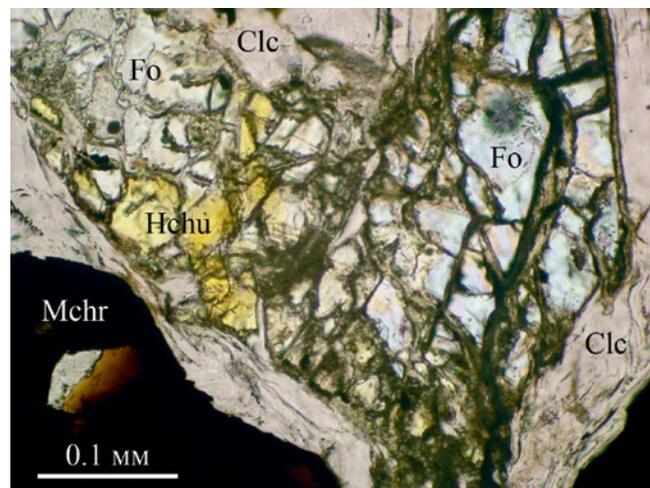


Рис. 1. Срастание оливина с клиногумитом в хромитите рудопроявления Пайты (Fo – форстерит, Chl – гидроксилклиногумит, Mchr – магниохромит, Cpx – клинопироксен. Фото шлифа, без анализатора)

ХИМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ И СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Штенберг М.В., Коробатова Н.М., Неволina Л.А., Зайнуллина Р.Т., Королева О.Н.

ИОУ ФНЦ МуГ УрО РАН, Миасс, Россия, shtenberg@mineralogy.ru

Щелочные и щелочноземельные боросиликатные стекла и материалы на их основе применяются при производстве микроэлектроники, лазеров и других отраслях. В частности, боросиликатные стекла широко используются как матрицы для захоронения радиоактивных отходов [Ojovan et al., 2019].

В рамках исследования структуры и свойств щелочных и щелочноземельных боросиликатных стекол и стеклокристаллических материалов, были проведены опыты по определению химической устойчивости согласно ГОСТ 52126-2003. Образцы для выщелачивания представляли собой кусочки стекол правильной геометрической формы (прямоугольные параллелепипеды), а также таблетки в форме диска для образцов стеклокерамики. Растворы анализировали на ICP-OES спектрометре Varian 720-ES и ICP-MS спектрометре Agilent 7700х.

Серия образцов стекол системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ продемонстрировала увеличение химической устойчивости при замещении Na_2O на CaO . При этом эта зависимость нелинейная, и связана не только с химическими свойствами натрия и кальция, но и со структурными преобразованиями, отражающимися на изменении атомной плотности и колебательных спектров. Нормированные значения скоростей выщелачивания показали, что наиболее подвижным элементом является натрий, тогда как кремний, бор и кальций выходят в раствор менее интенсивно.

В серии образцов системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{Cs}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ также наблюдается нелинейное изменение химической устойчивости от содержания Cs_2O . Менее устойчивым оказался образец с соотношением Na_2O к Cs_2O 2 : 2, наиболее устойчивым является

стекло без цезия (4Na0Cs50). Образец стеклокерамики с соотношением Na_2O к Cs_2O 3 : 1 (3Na1Cs50-M) показал большую химическую устойчивость, чем стекло соответствующего состава. Это связано с образованием водорастворимого боросиликата цезия $(\text{Na}_{0.10}\text{Cs}_{1.05})\text{B}_{0.99}\text{Si}_{2.01}\text{O}_6$, что приводит к обеднению цезием основной массы стекла делая его более устойчивым.

Пористые матрицы для получения стеклокристаллических материалов были синтезированы из стекол системы $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{GeO}_2$ путем фазового разделения с последующим кислотным травлением (для удаления щелочно-боратной фазы). Насыщенные нитратом цезия пористые стекла подвергали отжигу для консолидации пор, в результате были получены стеклокристаллические материалы [Koroleva et al., 2023]. Эти образцы показали наибольшую химическую устойчивость за счет минимального присутствия в составе оксида бора. При этом отмечена высокая устойчивость стеклянной матрицы и меньшая устойчивость кристаллической фазы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-17-20005 (<https://rscf.ru/project/22-17-20005/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Koroleva O.N., Nevolina L.A., Korobatova N.M. Glass-containing matrices based on borosilicate glasses for the immobilization of radioactive wastes // J. Compos. Sci., 2023, V. 7. 505.
2. Ojovan M.I., Lee W.E., Kalmykov S.N. An introduction to nuclear waste immobilisation. 3rd edition; 2019; 512 p.

СТРУКТУРНОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ РАЗУПОРЯДОЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ И ИХ СИНТЕТИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ ПО ДАННЫМ КОНФОКАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРНО-ЗАВИСИМОЙ (8-770 К) ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Щапова Ю.В., Вотяков С.Л.

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия, shchapova@igg.uran.ru

Структурное разупорядочение характерно для природных кристаллов на уровне ближнего, среднего, дальнего порядка; оно представлено собственными и примесными n -мерными ($n=0-3$) дефектами, позиционным и композиционным беспорядком твердых растворов, структурными напряжениями и деформациями, областями нано- и микрофазовой неоднородности, в т. ч. аморфизации [Минералы-концентраторы... 2020]. Степень и тип разупорядочения определяются как кристаллохимическими и термодинамическими характеристиками минералов, так и P,T -условиями их образования и постростовыми воздействиями. Расшифровка неупорядоченных структур – необходимый этап восстановления геологической истории минералов (радиационной дозы, термических и высокобарических воздействий, окислительно-восстановительной обстановки) и прогнозирования свойств минералоподобных материалов в различных условиях. Исследовано разупорядочение силикатных (циркон), фосфатных (монацит, апатит), оксидных (шпинель) минералов, алмаза методом конфокальной оптической спектроскопии (комбинационного рассеяния света и фотолюминесценции) в диапазоне $T = 8 - 770$ К с высоким спектральным (от 0.5 см^{-1}), пространственным (от 1 мкм) разрешением и анализом поляризации. В U , Th -содержащих цирконе и монаците установлены эволюция структуры разупорядоченной фазы и изменение ангармоничности колебаний с ростом радиационной дозы. Анализ T -поведения специфического для аморфных сред бозонного пика ($60-70 \text{ см}^{-1}$) в цирконе показал наличие структурных напряжений до ~ 1 ГПа за счет несоответствия КТР и сжимаемости сосуществующих аморфной и кристаллической фаз. Люминес-

ценция таких цирконов предложена как критерий подбора референсных образцов для ЛА-ИСП-МС анализа изотопного состава $U-Pb$ и $Lu-Hf$.

Установлена зависимость колебательных и люминесцентных свойств многокомпонентных монацитоподобных керамик $LnPO_4$ ($Ln=La-Dy$) от средней величины структурных искажений и конфигурационной энтропии твердых растворов. В природной и синтетической шпинели $MgAl_2O_4$ определено влияние катионного беспорядка на динамику решетки, фотолюминесценцию и оптическую прозрачность. Для природных алмазов реализована процедура визуализации структурных дефектов, напряжений, разориентировок с определением статистических характеристик их распределения; последние могут быть использованы в качестве одного из типоморфных признаков коренного источника алмазов при сопоставлении образцов.

Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН по темам № 123011800012-9 и 124020300057-6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минералы-концентраторы d - и f -элементов: локальные спектроскопические и ЛА-ИСП-МС исследования состава, структуры и свойств, геохронологические приложения : монография / Ю.В. Щапова, С.Л. Вотяков, Д.А. Замятин, М.В. Червяковская, Е.А. Панкрушина; под ред. Вотякова С.Л.; Ин-т геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2020. – 424 с.

АУТИГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ В ОСАДКАХ ОЗЕР ЮЖНОГО УРАЛА

Юсупова А.Р., Нургалиева Н.Г., Кузина Д.М.

Казанский федеральный университет, Казань, Россия, i@ajusupova.ru

Широко известно свойство озерных котловин накапливать озерные осадки, которые в естественных условиях характеризуются высокой степенью сортированности и горизонтальной слоистостью и рассматриваются как природные расходно-накопительные системы, содержащие информацию о состоянии окружающей среды [Субетто, 2017]. Известно, что аутигенные минералы являются индикаторами физико-химических условий среды осадкообразования: pH, Eh, солености вод бассейна и т.д. [Логвиненко, 1984].

В связи с этим целью данной работы явилось изучение аутигенных минералов осадков озер Южного Урала (оз. Банное, Сабакты, Большое и Малое Миассово).

Для определения минерального состава осадков озер использовался рентгеновский дифракционный анализ (XRD), проведенный с помощью рентгеновского дифрактометра D2 PHASER. Для изучения морфологии и элементного состава минеральных частиц донных отложений использовался автоэмиссионный сканирующий электронный микроскоп Merlin компании Carl Zeiss (Германия), оснащенный детектором элементного анализа Aztec X-MAX с разрешением 127 эВ.

В результате рентгенодифрактометрии и микроскопии установлено присутствие ряда аутигенных

минералов: биогенного кремнезема (кристобалит, тридимит), пирита, карбонатных минералов (кальцит, арагонит, доломит), сульфатных минералов (гипс и барита) (рис. 1).

Изучены вариации морфологии и содержаний аутигенных минералов по озерным осадочным колонкам, обсуждены процессы их образования, а также специализация этих минералов как индикаторов условий среды осадкообразования и климатических изменений.

Полученные результаты позволили развить и дополнить общие и региональные представления об условиях озерного осадконакопления.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания проект № FZSM-2023-0023 в сфере научной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород с основами методики исследования: учебник для геол. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1984. 416 с.
2. Субетто Д.А., Севастьянов Д.В., Сапелко Т.В., Байнагрян В.Р., Греков И.М. Озера как накопительные информационные системы и индикаторы климата // Астраханский вестник экологического образования. 2017. № 4 (42). С. 4–14.

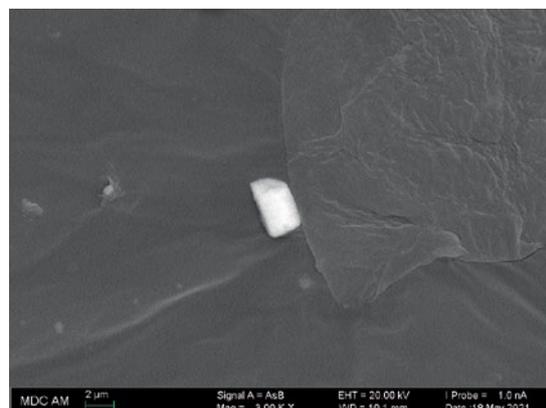
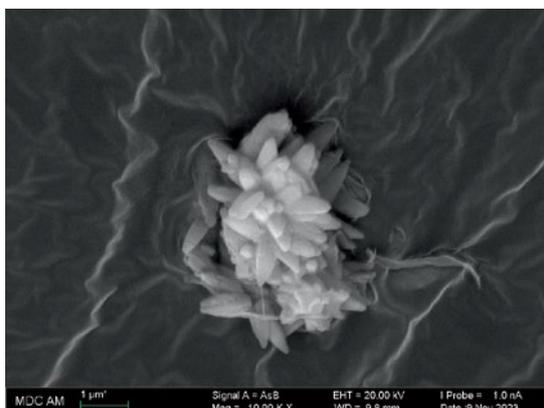


Рис. 1. а) Арагонит в образце озера Банное (42 см, 1800 к.л.н.)
б) Барит в образце озера Сабакты (36 см, ~1200 к.л.н.)

НАХОДКА БОГАТОГО SiO₂ КОМПОНЕНТА (SRC) В УГЛИСТОМ ХОНДРИТЕ КАИНСАЗ (CO3.2)

Яковлев Г.А.^{1,2}, Берзин С.В.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, yakovlev.grigory@urfu.ru

² Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Изучение включений в хондритах вызывает значительный интерес в силу возможности привнести новые знания о процессах, имевших место на ранних этапах развития Солнечной системы. Одним из типов таких включений являются обогащенные кремнеземом компоненты (SRC, SiO₂-rich components). Как правило, SRC обнаруживаются в виде хондр, их фрагментов или отдельных включений в матрице хондритов, демонстрируя при этом весьма разнообразную минералогию: фазы SiO₂ (тридимит, кристобалит или кварц), пироксен, оливин, полевой шпат, меррихьюит, металл, и т. д. [Brigham et al., 1986, Hezel et al., 2006, Dugushkina et al., 2023, и др.]. SRC являются общим компонентом для разных классов хондритов, однако преобладающая их доля встречается в неравновесных обыкновенных хондритах (UOC), находки в углистых хондритах (CC) остаются единичными, а в метеоритах CO находки SRC ранее не известны. Нами впервые обнаружено включение SRC в метеорите Каинсаз CO3.2, упавшем в 1937 году.

Изучение метеорита проводилось в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН (Екатеринбург) с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan MIRA LMS, оснащенного ЭДС приставкой EDS X-max 80 и ДОЭ (EBSD) приставкой NordlysNano.

В аншлифе метеорита Каинсаз площадью 2 см² была обнаружена составная хондра, состоящая из порфировой оливин-пироксеновой (POP) хондры и эксцентрически-лучистой пироксеновой (RP) хондры размером 150 x 50 мкм² с изометричными зернами SiO₂ размером до 20 мкм. Краевая часть

зерен SiO₂ замещается силикатами, содержащими Ca, Fe, Al, Na, Mg. Это может быть связано с процессами метаморфизма или с процессами земного выветривания.

Находка SRC в метеорите группы CO дает новую информацию о данных включениях и накладывает дополнительные ограничения на модели формирования SRC в протосолнечной небуле.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

ЛИТЕРАТУРА

1. Brigham C.A., Murrell M.T., Yabuki H., Ouyang Z., El Goresy A. Silica-bearing chondrules and clasts in ordinary chondrites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1986. V. 50. P. 1655–1666.
2. Dugushkina K.A., Berzin S.V., Pankrushina E.A., Chebykin N.S., Pastukhovich A.Yu., Grokhovsky V.I., Demberel S. SiO₂-rich components (SRS) in chondrite Shinejinst (H4) and Severniy Kolchim (H3): new results of EBSD research // *Meteoritics & Planetary Science*. 2023. V. 58(S1). 86th Annual Meeting of the Meteoritical Society (2023): Abstracts. 6072.
3. Hezel D.C., Palme H., Nasdala L., Brenker F.E. Origin of SiO₂-rich components in ordinary chondrites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2006. V. 70. P. 1548–1564.

ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В ВЕЩЕСТВЕ ВНЕЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Яковлев Г.А.^{1,2}, Гроховский В.И.¹

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, yakovlev.grigory@urfu.ru

² Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Обзор. Определение концентраций элементов платиновой группы (ЭПГ) в минералах метеоритов позволяет установить особенности фракционирования на разных этапах развития Солнечной системы.

Для обыкновенных хондритов установлено, что исследование локальными и интегральными методами приводит к различным результатам [Gilmour and Herd, 2020]. Данные без разделения по камаситу и тэните были интерпретированы ранними исследователями как тенденция к росту концентраций ЭПГ в ряду $H < L << LL$. Данные же локальных методов свидетельствуют скорее о равных концентрациях ЭПГ в тэните H-, L- и LL-хондритов. Увеличение общей доли частиц тэнита в этом ряду в совокупности с повышенной концентрацией ЭПГ в тэните по сравнению с камаситом, могли привести к завышению концентраций в случае LL-хондритов при исследовании интегральным методом.

Для энстатитовых хондритов отмечается преобладание ЭПГ у EL-хондритов по сравнению с EH. Носителями ЭПГ в углистых хондритах являются металлические зёрна: внутривондровые, околохондровые, индивидуальные зёрна и тугоплавкие металлические крупы (ТМК). В работе [Van Kooten et al., 2022] на основании исследования первых трёх типов делают вывод о понижении распространённости сидерофильных элементов с ростом летучести ЭПГ в металле групп CV, CR и CM при нормировании на CI-хондриты. Статья [Daly et al. 2017] фокусируется на ТМК. Их средний состав оказался удовлетворяющим среднему составу Солнечной системы и CI-хондритам, что свидетельствует о ТМК, как основном носителе ЭПГ.

В самородном виде ЭПГ обнаруживаются не только в углистых хондритах, но и G-хондритах [Ivanova,

2020], где самородки ЭПГ могут быть продуктами трансформации ТМК или продуктами окисления металлов. Кроме того, нахождение самородков ЭПГ в коре плавления хондритов [Шарыгин и др., 2014] допускает возможность их формирования в процессе пирохимических реакций при абляции метеороидов в земной атмосфере.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00392.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарыгин В.В., Тимина Т.Ю., Карманов Н.С., Томиленко А.А., Подгорных Н.М. Минеральные ассоциации в коре оплавления фрагментов метеорита Челябинск // Материалы Всероссийской научной конференции «Метеорит Челябинск – год на Земле», г. Челябинск, ЧГКМ. 2014. С. 654–666.
2. Daly L., Bland P.A., Dyl K.A., Forman L.V., Evans K.A., Trimby P.W., Moody S., Yang L., Liu H., Ringer S.P., Ryan C.G., Saunders M. *In situ* analysis of Refractory Metal Nuggets in carbonaceous chondrites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2017. V. 216. P. 61–81.
3. Gilmour, C.M. Herd, C.D.K. *In situ* analysis of platinum group elements in equilibrated ordinary chondrite kamacite and taenite // *Meteoritics & Planetary Science*. 2020. V. 55, I. 3, P. 679–702.
4. Ivanova M.A. Sierra Gorda 009: A new member of the metal-rich G chondrites grouplet // *Meteoritics & Planetary Science*. 2020. V. 55, I. 8, P. 1764–1792.
5. Van Kooten E.M.M.E., Kubik E., Siebert J., Heredia B.D., Thomsen T.B., Moynier F. Metal compositions of carbonaceous chondrites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2022, V. 321. P. 52–77.

ОСОБЕННОСТИ РУДООБРАЗУЮЩЕГО АПАТИТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУКИСВУМЧОРР (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Яковлева Д.В., Ситдикова Л.М.

*Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, Россия
yakovleva.dv30@gmail.com, sitdikova8432@mail.ru*

Апатит-нефелиновое месторождение Кукисвумчорр расположено в южной части Хибинского массива, это многофазная интрузия центрального типа, приурочено к зоне сочленения протерозойского имандра-варзугского комплекса осадочно-вулканогенных пород с гнейсами архея. Массив характеризуется концентрически-зональным расположением серповидных тел этих комплексов вокруг ядра фойзитов и штокообразного тела карбонатитов [Каменев, Минеев, 1982]. Изученные апатит-нефелиновые руды характеризуются разнообразием текстурных разновидностей с различным содержанием P_2O_5 , представлены типами: пятнистыми, пятнисто-полосчатыми, линзовидно-полосчатыми, блоковыми, массивными, вкрапленными. Содержание апатита и P_2O_5 максимальное в пятнистых, пятнисто-полосчатых и блоковых типах руд, пятнистые сложены мелко- и среднезернистым апатитом белого, светло-зеленого цвета (70–95%), пятнисто-полосчатые – апатита 50–90%. В линзовидно-полосчатых вариации содержания P_2O_5 (10–26%), массивных рудах содержание свыше 8%, в апатитовых урритах содержание: 8–4% и 4–2% соответственно.

Апатит $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$ – природный фосфат кальция. В катионной группе апатита проявляется изовалентный изоморфизм $Ca^{2+} \rightarrow Sr^{2+}$ и $Ca^{2+} \rightarrow Mn^{2+}$. Гетеровалентный изоморфизм наблюдается при вхождении в катионную группу лантаноидов, редких земель, U, Th, Fe^{3+} . С изоморфизмом апатита связаны: дефектность структуры, размеры кристаллической решетки, заряд поверхности – свойства, определяющие его сорбционную активность и флотуруемость [Бобрышев, 1982, Каменева, 1983]. Ионы кальция в структуре апатита имеют различное положение: часть ионов Ca^{2+} (1) семерной координации располагается по стенкам гексагональных каналов,

в центре каналов – ионы F-, Cl-, OH-, каждый из которых связан с тремя ионами Ca^{2+} (1); другие ионы Ca^{2+} (2) образуют колонки между тетраэдрами $(PO_4)^{3-}$ и имеют девятнерную координацию.

Были изучены монофракции крупнозернистых и мелкозернистых апатитов методом электронного парамагнитного анализа (ЭПР) при комнатной температуре и после отжига при 350 °С. По результатам ЭПР-анализа спектры радикала F-O-F зафиксированы во всех исследованных образцах. Этот дефект структуры отождествляется с парамагнитным центром аксиальной симметрии, находящейся в положении иона кислорода и взаимодействующей с двумя соседними ионами фтора и интерпретируется как ион кислорода, захвативший «дырку», в положении иона фтора. Интенсивности спектра, определенные по амплитуде резонансной линии для исследованных образцов апатита, различны, что свидетельствует об изменчивости концентрации указанного дефекта. Изученные апатиты по типу отнесены к фторхлорапатиту, но различаются по интенсивности радикала Cl, который отчетливо фиксируется после отжига при 350 °С. Также установлено, что для исследованных образцов прослеживается соответствие дефектности структуры и суммарного содержания редких земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобрышев Г.И. Геолого-технологические основы эффективной эксплуатации апатит-нефелиновых руд месторождений Хибин. Л., 1982. 23 с.
2. Каменев Е. А., Минеев Д.А. Новые Хибинские апатитовые месторождения. М., 1982. 182 с.
3. Каменева Е.Е. Флотационная минералогия апатита. Основы минералургии. Теория и практика разделения минералов. М., 1983. 245–249 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРАНАТОВОГО ГАРЦБУРГИТА С ВОДНО-УГЛЕКИСЛО-СОЛЕВЫМ ФЛЮИДОМ ПРИ 5 ГПА

Якушик М.А.^{1,2,3}, Давыдов А.А.¹, Бутвина В.Г.¹, Сафонов О.Г.^{1,4}

¹ ИЭМ РАН, Черноголовка, Московская область, Россия, yakush.mihail@yandex.ru

² ИГЕМ РАН, Москва, Россия

³ ГИН РАН, Москва, Россия

⁴ МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия

Модальный мантийный метасоматоз – процесс взаимодействия пород мантии с флюидами и расплавами различного состава и происхождения, в ходе которого происходит как образование новых минеральных ассоциаций (например, флогопита и хромита), так и изменение составов первичных минералов. Ведущими факторами этого процесса рассматриваются активности H_2O и CO_2 , а также активности Na и K. Пассивная роль оливина в реакциях образования флогопита подтверждается экспериментами [Edgar, Arima, 1984; Safonov, Butvina, 2013]. Тем не менее, оливин может быть реагирующей фазой в реакции образования флогопита при взаимодействии перидотита с щелочными силикатными расплавами. В вышеперечисленных экспериментальных исследованиях не сообщалось об изменениях состава фаз, сосуществующих с флогопитом. Такие наблюдения были сделаны в модельных системах энстатит-пироп-гроссуляр и энстатит-пироп-кноррингит в присутствии флюидов H_2O -KCl с переменным соотношением H_2O/KCl при давлении 5 ГПа [Safonov et al, 2019]. В настоящей работе рассматриваются экспериментальные данные обменной реакции взаимодействия гранатового гарцбургита с водно-углекисло-солевыми флюидами при давлении 5 ГПа.

Эксперименты проводились с использованием твердофазного аппарата высокого давления «наковальня с лункой» НЛ-13Т с тороидальным уплотнением ячеек (5 ГПа, 1100 °С). Исходные смеси приготавливались из природных образцов гранатовых перидотитов из трубки Удачная, Якутия с последующим добавлением флюидного компонента

в требуемом количестве. Флюидный компонент добавлялся в виде смеси шавелевой кислоты, KCl и NaCl в различных пропорциях. Массовая доля флюидного компонента в каждом опыте составляла 10 % от стартовой смеси. Были проведены три серии опытов с различным отношением щелочных компонентов во флюиде (калиевая серия: $x_{KCl} = 5; 15; 25\%$ во флюиде; смешанная калий-натриевая: $x_{K,Na} = 5; 15; 25\%$ во флюиде при отношении KCl : NaCl = 1: 1, а также натриевая серия: $x_{Na} = 5; 15; 25\%$ во флюиде).

Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о закономерностях изменения состава минералов в зависимости от состава флюида в системе, в ходе реакции образования флогопита, сопровождающей процессы метасоматоза в верхней мантии.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-27-00065, <https://rscf.ru/project/23-27-00065>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Edgar A.D., Arima M. Experimental studies on K-metasomatism of a model pyrolite mantle and their bearing on the genesis of ultrapotassic magmas // In Proceedings of the 27th International Geological Congress. Moscow. Russia. 4–14 August 1984. V. 9. P. 509–541.
2. Safonov O., Butvina V., Limanov E. Phlogopite-Forming Reactions as Indicators of Metasomatism in the Lithospheric Mantle // Minerals 2019. 9. P. 685.
3. Safonov O.G., Butvina V.G. Interaction of model peridotite with H_2O -KCl fluid: Experiment at 1.9 GPa and its implications for upper mantle metasomatism // Petrology 2013. 21. P. 599–615.

Научное издание

**МИНЕРАЛЫ: СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА,
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Материалы XIV Всероссийской научной конференции

Ответственный редактор: Вотяков С.Л.

Оригинал-макет: Амромин И.М.

Верстка и издание книг и журналов на заказ 2077181@mail.ru

ISBN-978-5-89516-336-8



Формат 60x84 1/8, объем 16.51 усл. печ. листов.

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН

620016, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15.

www.igg.uran.ru

