XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

НОВЫЕ ИДЕИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ



3 – 4 АПРЕЛЯ 2025 г.
МОСКВА

ТОМ 2

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

МГРИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 082 + [550.8+553] (082)
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

Новые идеи в науках о Земле: в 9 т. Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» - М.: Издательство Издательство МГРИ, 2025.

Т. 2: ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ / ред. коллегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. - М.: Издательство МГРИ, 2025 – 410 с.

ISBN 978-5-907595-10-1

УДК 082 + [550.8+553] (082)
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

ISBN 978-5-907595-02-6 (Том 2)

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 2. ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ 8
Николаев Ю.Н.*, Балыкова И.В., Калько И.А.*, Аплеталин А.В. Закономерности размещения, условия формирования и геохимические характеристики золотого оруденения, связанного с интрузиями (на примере Западной Чукотки) 8
Кабанов С.С.*, Карелина Е.В., Абдуллаев Е.А., Кирьяк С.К. Выявление закономерностей между геологическим строением территории и физико-механическими свойствами скальных пород с целью поиска перспективных участков под карьеры для добычи строительного щебня 12
Костина Е.Д.*, Куртеева У.С., Чернов Б.Ю., Буртоликов Д.В. Особенности локализации золото-сульфидного оруденения на базификатном субстрате, приминительно к объектам Могочинского золотоносного района 16
Клоков И.А.*, Горбатов Е.С. Дифференцированный анализ интенсивности палеоземлетрясений по структурно-литологическим параметрам конволюций в озёрных комплексах 20
Литвинова Т.В.* Строматолитовые постройки глубинных горизонтов недр – маркеры скопления углеводородов и фосфатов 24
Стрельников А.А.* Тектонические движения четвертичного периода в центральной части Джумгальской впадины, Восточный Тянь-Шань 28
Георгиевский А.А.*, Жегалло Е.А., Георгиевская К.А. Некоторые аспекты в вопросе о формировании коры выветривания на Тургоякском месторождении каолиновых глин 32
Васильев Е.А.*, Грязнов П.В., Ковков Р.В. Особенности диагностики двух желтых бриллиантов 36
Сорокина Е.С.* Использование in-situ SIMS метода измерения $\delta^{18}O$ для отбраковки натуральных корундов от синтетических аналогов 40
Стрельников М.В.*, Япаскурт В.О., Гекимянц В.М., Пеков И.В. Новый природный сульфовисмутид палладия PdBiS, образующий твёрдый раствор с падмаитом PdBiSe в уран-благороднометальных рудах месторождения Средняя Падма (Карелия) 43
Подсекция 2.1. Геология месторождений полезных ископаемых 47
Бектемиров М.С., Жураев М.Н. Геологическое особенности золотого оруденения Зармитанского рудного поля 47
Мартынов Д.В., Арсениевич Д.*, Зенкаева В.В. Месторождения сурьмы в регионе Крупань (Сербия) и перспективы добычи в будущем 51
Жакипбаев Б.Е.*, Абеков К.О. Изучение минерально-сырьевой базы бентонитовых глин Кынграк-Келесского месторождения Туркестанской области Казахстана для получения термопанелей теплоизоляционного назначения 55
Закариаш А.Г.* 5Геологические особенности Медведевской площади титан-магнетитовых руд (Южный Урал) 59
Зиёдуллоев Г.Ш.*, Садикова Л.Р. Геологическое строение и рудоносные характеристики нижнепалеозойских отложений Мальгузарских гор (Узбекистан) 63
Имрана Х.И.*, Егорова И.В. Анализ геологических особенностей урановых месторождений нигера на основе обработки космических снимков 67
Тошметов У.Х.*, Ежков Ю.Б. Перспективы редкометалльно-полиметаллического оруденения месторождения Кошмансай (Восточный Узбекистан) 71
Маматкулов Н.А.*, Kim Sahng Yup, Урунов Б.Н. Условия локализации золотого оруденения на месторождении Умид 75

Мансур А.Х.*, Верчеба А.А., Шарафелдин Х.Э. Золоторудные месторождения северной части Аравийско-Нубийского кратона 79
Мартынов Д.В.*, Вольфсон И.Ф., Арсеньевич Д. Биологически активные кремни - перспективный вид нерудного минерального сырья 83
Сагалевич В.Д.*, Богуславский М.А. Перспективы добычи оптически чистого кварца из глин Шулеповского месторождения (Рязанская область) 87
Павлов И.Д.*, Межеловская С.В. Петрографо-геохимическая характеристика Танюрерско-Золотогорского плутонического комплекса. Корякско-Камчатская складчатая область 91
Попов Е.М.*, Игнатов П.А., Минеев А.Л., Малютин С.А. Факторы прогнозирования погребенных и древних россыпей золота в Зимбабве 95
Берзин С.В.*, Конопелько Д.Л., Петров С.В., Проскурнин В.Ф. Опыт использования минералов-индикаторов Cu-Mo-Au-порфирового оруденения (циркон, апатит, титанит) при изучении гранитоидов северо-восточной части п-ва Таймыр 98
Верчеба А.А.*, Оганесян Л.В. О макете концепции геологического образования России ... 102
Восихов Ш.Т.*, Литвиненко А.К. Геохимическая аномалия рудных элементов на площади месторождения бирюзы Бирюзакан, Северный Таджикистан 106
Иванова Н.Д.*, Лейбгам П.Н. Отражение геологического строения в ЦМР Лангерийского рудного узла и его обрамления (о. Сахалин) 110
Левкова Б.Д. *, Рязанцев А.В. Фосфатная минерализация в карбонатитовых метасоматитах в структуре Башкирского мегантиклинория на Южном Урале 114
Чемоданов Д.Ю.* Особенности геологического строения Новомосковского месторождения гипса 117
Медина Х.П.* Минералогические характеристики руды Au-Ag месторождения Тунанца в Эквадоре 121
Подсекция 2.2. Минералогия, геохимия и петрография 125
Агапов И.Р.*, Рассулов В.А. Диагностика ортосиликатной-гидрослюдистой минерализации на основе спектрометрии диффузного отражения в диапазоне swir-vnir 125
Бубликова Т.М.*, Сеткова Т.В., Балицкий В.С. Применение метода термодинамического моделирования для расчета растворимости тенорита и малахита в воде и растворах аммиака 128
Булах М.О.* Минералы серии флогопит-киноситалит из кальцифиров Шаманского мыса, Юго-Западное Прибайкалье 132
Гнучев Я.Ю.*, Бычков Д.А., Коптев-Дворников Е.В. Оптимизация уравнения для определения содержания воды в равновесии расплав-флюид 136
Гридчина В.М.*, Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Аксенов С.М. К вопросу о диссимметризации в минералах сложного состава. Особенности структуры высококальциевого эвдиалита с P3-симметрией 140
Должанская Т.Ю.* Минералы Пермского края в экспозиции Минералогического музея МГРИ 144
Ильин Г.С.*, Чуканов Н.В., Пеков И.В., Аксенов С.М. Псевдосимметрия и особенности катионного упорядочения в кристаллической структуре перротита из Октябрьского массива (Северное Приазовье) 148
Исаева С.А.* Минералогические особенности гранатов Кительского месторождения 152
Лебедянцева В.Я.*, Рассулов В.А. Оптическая спектроскопия минералов монацитового концентрата 156
Литвиненко А.К., Восихов Ш.Т.* Структурно-текстурные особенности бирюзы с месторождения Бирюзакан, Северный Таджикистан 160

Макеев А.Б.*, Тонкачеев Д.Е., Ковальчук Е.В., Абрамова В.Д. Геохимия микроэлементов необычных разновидностей сфалерита и вюртцита из проявления Гониатитовое (хребет Пай-Хой, Арктическая зона России) 164
Саймудасири Махмадшариф*, Литвиненко А.К. Талий (Tl)и Pb-Bi-содержащие минералы из возгонов природного подземного пожара на Фан-Ягнобском месторождении каменного угля (Таджикистан)……..……..……..……...168
Шелементьева А.Ю.*, Ярапова О.В. Типоморфные особенности ювелирных турмалинов Малханского пегматитового поля из жилы Иркутянка 172
Ярапова О.В.*, Шелементьев Ю.Б., Шелементьева А.Ю. Сравнение свойств “радужных” лунных камней с Мадагаскара с лунными камнями из других месторождений 176
Зинчук М.Н.*, Зинчук Н.Н. О специфике геохимических исследований кимберлитов 180
Зинчук Н.Н.* Петрологические особенности кимберлитов 184
Иванов В.В.*, Игнатов П.А., Красных А.В. Элементы прогнозно-геохимической оценки медно-никелевого месторождения Кун-Манье по вторичным ореолам рассеяния (участок Малый Курумкан) 188
Красовская Б.П.*, Должанская Т.Ю. Петрохимические особенности ультрабазитов Пайерского блока Войкарского массива (Полярный Урал) 192
Кочанов А.Н.* Экспериментальные исследования структурных и физико-механических параметров минералов и горных пород 196
Михалко Н.П.*, Тертышная К.М. Петрографические и петрохимические особенности гранитоидов Тигертышского комплекса Ипчульского рудного узла 200
Сущевская Н.М.*, Шишкина Т.А., Щербаков В.Д. Происхождение поднятия Крозе (Индийский океан) по данным изучения минералогических и геохимических особенностей вулканитов острова Поссесьон 208
Чижова И.А.*, Петроченков Д.А. Элементы-примеси в кристаллах касситерита месторождений олово-грейзенового промышленного типа 212
Никитин Е. К.*, Должанская Т.Ю. Минералого-геохимические особенности нефелина и астрофиллита из Хибино-Ловозёрского (Кольский полуостров) и Октябрьского (Восточное Приазовье) щелочных комплексов 216
Грызлов А.М.*, Толстоусов А.А.*, Наумов К.К.*, Чулкова В.В. Применение метода высокоточной гелиевой съёмки при поисках подземных литиеносных рассолов 220
Терехов Е.Н.*, Макеев А.Б. Гранаты с необычным оптическим эффектом из корундовых проявлений Беломорского пояса (Балтийский щит) 224
Лодыгина В.Ю.*, Монхоров Р.В.*, Бардухинов Л.Д., Демидова Л.А. Морфология и особенности внутреннего строения алмазов «Альпака» и «Акула» коллекции редких форм АК «АЛРОСА» (ПАО) 228
Борисов М.В.*, Шваров Ю.В. Оценка влияния величины градиента давления в термобароградиентных гидротермальных системах на эффективность процессов жильного полиметаллического рудообразования 232
Прямиков Н.А.*, Алешин А.П. Количественный минералогический анализ на основе комплексирования оптической и электронной микроскопии на примере бериллиевых руд Ермаковского месторождения 236
Подсекция 2.3. Геммология и технология художественной обработки материалов 240
Краснолуцкий С.А.*, Ананьев С.А., Бондина С.С. «Тёйский жад» – серпофит железорудного месторождения (Республика Хакасия) как цветной декоративный камень и использование его для изготовления коллекционных, ювелирных и резных изделий 240
Пономарева К.С. Анализ применения халцедона в декоративно-прикладном искусстве 244
Нуртаев Д.Б.* Находка минералов группы цеолита во вмещающих породах месторождения кахолонга Сарыктау (горы Букантау, Узбекистан) как поисковый признак на кахолонг 248

Ахметшин Э.А., Долматова П.Ф.* Перспективы получения костных материалов на основе органоминерального природного сырья для производства декоративно-прикладных изделий 252
Климкин И.А.*, Ахметшин Э.А. Улучшение цветовых характеристик малханских турмалинов радиационными методами воздействия 256
Ахметшин Э.А., Смирнова В.В.* Перспективы улучшения оптико-спектральных характеристик природного александрита Малышевского месторождения 260
Миронова Н.В.*, Кирсанова Е.А. Разработка классификации фактур текстильных полотен образованными минеральными огранёнными вставками 264
Петроченков Д.А*, Чижова И.А. Мономинеральные агрегаты касситерита – новый вид ювелирно-поделочного сырья 268
Брусов А.А. Применение лазерных технологий в 3d гравировке камеи из гагата 272
Рогова А.Р.*, Романова Е.И. Интересные имитации природных минералов в геммологической практике 276
Пономарева А.Н.*, Петроченков Д.А. Исследование математической закономерности характеристик фотоаппарата от свойств драгоценных камней при фотографировании 280
Горюнов П.Д. Использование РФА для диагностики синтетического малахита 284
Вилесова В.Д.*, Романова Е.И. Лунный камень – диагностика и реальные минералы на современном рынке 287
Солодовникова П.Н.*, Моисеева С.Б. Аквамарин с «сюрпризом»: выявление облагораживания методом заполнения трещин 292
Чжу Шуань* Технические приемы резьбы по нефриту в китайской традиции “Цяодяо” (Умное использование цвета) 296
Чжу Шуань* Использование разноцветных глин Домодедовского карьера Московской области в качестве сырья для изготовления художественных изделий 300
Подсекция 2.4. Общая, региональная геология и палеонтология 304
Верета З.А.*, Ерофеева К.Г., Окина О.И. Рутил – как источник информации об источниках сноса терригенного материала 304
Графеев О.Е.* Изучение атмосферных предвестников землетрясений Камчатки 308
Дьяконов В.В.*, Махмуд Х.А., Погребс Н.А. Особенности геологического строения Иорданской рифтовой долины 312
Дьяконов В.В.*, Май Варди, Наравас А.К. Палеовулканическая реконструкция Африкано-Сицилийского «порога» 316
Зенкаева А.В.*, Павлова Т.В., Верчеба А.А. Верхневендские отложения Московской синеклизы Восточно-Европейской платформы в скважине Солигаличская-1 319
Межеловская С.В. Карельская учебная геологическая практика: цели, задачи и результаты 323
Рахматуллаева Ш.Д.*, Туляганова Н.Ш. Региональная геодинамическая обстановка при формировании Марджанбулакского рудного поля 327
Кальбова П.И.*, Лебедянцева В.Я. Признаки прижизненного и посмертного прикрепления эпибионтов к организму-субстрату 331
Короленко П.С.*, Лебедянцева В.Я., Кальбова П.И., Миронова Д.Н. Находки эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Tabulophyllum normale (Walth.) из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана 335
Маленкина С.Ю.* Новые данные о различных микробиальных образованиях Европейской России 339
Меркулов И.Е.*, Шалимова Т.И. Новые данные о находках эпибионтов на раковинах спириферид Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed) из фаменского яруса Северо-Западного Каратау (Центральный Казахстан) 343

Ширяева П.В.*, Монгуш А.Э. О случаях совместного обитания эпибионтов и сверлильщиков на организме-субстрате 347
Ширяева П.В.*, Монгуш А.Э. Находки эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана 351
Трайдова Л.С.* Новые данные о находках эпибионтов на брахиоподах Retzia macula Martynova из нижнего фамена бассейна реки Хантаги (Центральный Казахстан) 355
Андрухович А.О.*, Комаров В.Н., Туров А.В. Использование экспозиций Геолого-палеонтологического музея МГРИ в преподавании курса «Историческая геология» 359
Гречишникова Я.Д.*, Комаров В.Н. О необычной форме сохранности фрагментов стеблей криноидей 363
Драгина К.А.*, Исаева С.А., Серяева А.Р., Трайдова Л.С. Новые данные о находках эпибионтов на фавозитидах Thamnopora rigida Sokolov из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана 367
Дубова В.Д.*, Мустафина А.Ф. Новые данные о находках эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Tabulophyllum longiseptatum (Bulv.) из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана 371
Карташова З.Д.*, Куртикова Е.Л. Первые находки эпибионтов на раковинах атиридид Cryptothyrella norilica (Nikiforova) из агидыйского горизонта (теличский ярус, лландовери, силур) бассейна реки Верхняя Томба (Якутия) 375
Комаров В.Н.*, Тарасов Д.А. Новые данные о находках эпибионтов на раковинах атиридид Athyris kiltitalica Martynova из нижнего фамена бассейна реки Хантаги (Центральный Казахстан) 379
Комаров В.Н.*, Петрова А.Н., Трайдова Л.С. Холдфасты стебельчатых иглокожих на брахиоподах и четырёхлучевых кораллах 383
Комаров В.Н.*, Агафонова Г.В., Трайдова Л.С. О некоторых особенностях геологии Сюрташа 387
Литвинова Т.В.* Архитектура миниатюрных биогенных построек позднего венда и ее создатели 391
Петрова А.Н.* Новые данные о находках эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Caninia okensis Stuck. из серпуховского яруса Центрального Казахстана 395
Стукалова И.Е.*, Гусев И.М. Парагенез угленосных и фэновых формаций в мезозойских грабенах Забайкалья 399
Яцкин Д.А.* Характеристика палеобиоценозов на основе кораллов живетского яруса (средний девон) Павловского и Михайловского карьеров Воронежской антеклизы 403
Anh Ngoc Le* Seismic characteristic of mass-transport deposits on the seafloor, southern Vietnam sea 407

СЕКЦИЯ 2. ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

Закономерности размещения, условия формирования и геохимические характеристики золотого оруденения, связанного с интрузиями (на примере Западной Чукотки)

Николаев Ю.Н. (МГУ им. М.В.Ломоносова, nikolaev@geol.msu.ru),*
Балыкова И.В. (МГУ им. М.В.Ломоносова, irin701@gmail.com),
Калько И.А. (МГУ им. М.В.Ломоносова, ildarkalko@yandex.ru),*
Аплеталин А.В. (МГУ им. М.В.Ломоносова, aplet@geol.msu.ru)

Аннотация

Представлены результаты комплексного изучения золотоносных структур, приуроченных к гранитоидным массивам магматогенного поднятия Южно-Анюйской структурно-формационной зоны Западной Чукотки. На основе новых полевых наблюдений, вещественного состава руд и систематизации геолого-геохимических данных выявлены ключевые закономерности пространственного размещения золотого оруденения. По результатам исследований доработана система минералого-геохимических критериев, позволяющая проводить типизацию рудопроявлений и осуществлять прогнозирование перспективных участков золотого оруденения.

Ключевые слова

Рудно-магматическая система, геохимические аномалии, рудные минералы, золото, флюидные включения, геохимическая зональность

Теория

Современная добыча золота на Чукотке ведется преимущественно из месторождений золото-серебряного (Купол, Двойное, Валунистое), золото-кварцевого (Каральвеем) и золото-мышьяковистого (Майское) типов, запасы которых истощаются. Недавний прирост запасов связан с разведкой золотого оруденения в гранитоидах (Кекура). Этот тип оруденения вместе с золото-медно-молибденовыми месторождениями Баимской зоны определит будущее золотодобычи в регионе.

В зарубежной литературе месторождениям золота в гранитоидах уделяется значительное внимание [1, 2, 6], тогда как в российских исследованиях они изучены меньше. Российские авторы используют модель золоторудных систем, связанных с интрузиями (IRGS), разработанную для месторождений Аляски и Юкона [3, 4, 5]. Но эта модель не включает геохимические характеристики и критерии оценки эрозионного среза. Исследования в Стадухинском районе и его окрестностях дополняют представления о золотом оруденении этого типа в Западной Чукотке.

Породы региона включают офиолиты, островодужные образования, турбидиты и терригенный меланж с блоками океанической коры. При коллизии эти породы были надвинуты на окраину Чукотского континента, а сдвиговые деформации сформировали чешуйчато-блоковое строение сутуры.

Постколлизионный этап отмечен магматизмом с формированием интрузивно-купольных структур, гидротермальной деятельностью, сформировавшей золоторудных месторождений. Основная фаза интрузивного магматизма датируется концом раннего мела (апт-альб, 113-100 млн лет). В результате постколлизионного растяжения и внедрения интрузивов комплекса образовалась кольцевая структура диаметром ~ 80 км.

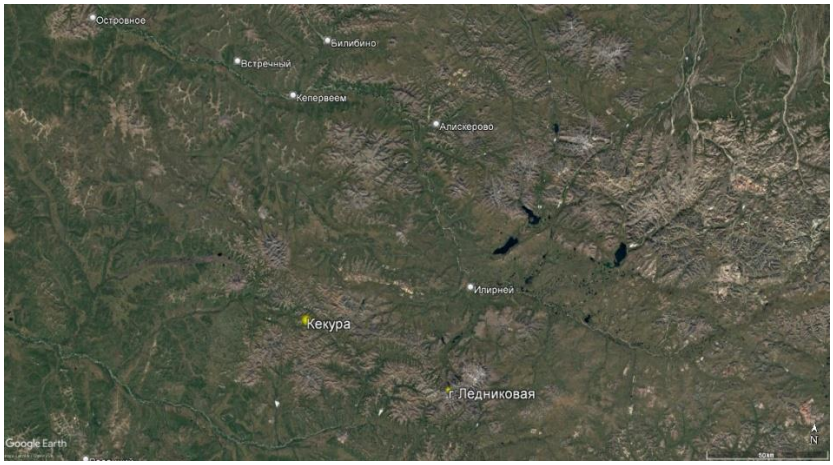


Рисунок 1. Схема расположения месторождения Кекура и г. Ледниковая

Стадухинский район приурочен к зоне интрузивного магматизма и россыпной золотоносности. Рудогенерирующими центрами выступают локальные интрузивно-купольные структуры гранитоидов, а размещение золоторудных объектов контролируется диагональными разломами.

В районе выявлены различные типы минерализации: полиметаллическая медно-цинковая в экзоконтакте массива г. Трехречье и перспективная золото-серебряная в экзоконтакте Гвардейского массива. Пространственное распределение оруденения указывает на неоднократную перестройку структурно-тектонического плана территории при многократной активизации тектономагматической деятельности и эволюции магматических расплавов и гидротермальных флюидов.

Структура аномального геохимического поля в пределах магматогенного поднятия представлена тремя зонами: 1) ядерная зона с месторождением Кекура и проявлениями золото-кварцевого березитового типа, 2) промежуточная зона с золото-редкометальным теллуридно-висмутовым оруденением в гранитоидах, 3) внешняя зона с золото-серебряными проявлениями промышленного значения в терригенных породах.

В эволюции рудно-магматической системы Стадухинского района выделены этапы, соответствующие различным фазам внедрения интрузий и последовательному формированию трех основных типов оруденения: золото-редкометального теллуридно-висмутового, золото-кварцевого (березитового) и золото-серебряного.

На раннем этапе сформировалось типичное для систем IRGS золото-редкометальное оруденение в виде параллельных жил и прожилков в трещинах скола. Рудная минерализация (арсенопирит, шеелит, пирит, висмутин, самородный висмут, теллуриды и сульфотеллуриды висмута, высокопробное золото >900‰) образовалась на глубинах 2-3 км при температурах 300-340°C из малосоленых флюидов (1,4-6,4 мас.% NaCl экв.). Геохимическая ассоциация: Au-Te-Bi-W-Fe-S-As-(Cu, Sn, Mo).

В поздний этап в "эпитермальной зоне" образовалось Au-кварцевое (березитовое) оруденение месторождения Кекура и участков периферии. Эти проявления ассоциируют с апофизами Кекурского массива и имеют единый источник флюидов.

Месторождение Кекура расположено в центральной части интрузивного массива, сложенного гранитами и гранодиоритами, в узле пересечения разломов северо-восточного и северо-западного направлений. Рудные тела представлены жилообразными залежами и линзами кварц-серицитовых метасоматитов, формирующих центральную часть березитовых ритмов.

Основные промышленные запасы сосредоточены в рудной зоне Пологая, прослеженной по простиранию на расстояние около 1 км и по падению на 300–350 м Мощность рудных тел: от нескольких десятков сантиметров до 3 м, в среднем – 1 м.

Руды месторождения относятся к золото-кварцевому убогосульфидному типу. Минерализация представлена самородным золотом средней пробности (800-880‰) и небольшим количеством сульфидов (1-5%), среди которых преобладает арсенопирит, а второстепенными являются пирит, шеелит, сфалерит, галенит, халькопирит и блеклые руды. В геохимической ассоциации ореолов рассеяния доминируют Au, As и W. Формирование руд происходило на глубинах не более 1,5-2 км из малосоленых флюидов (3,1-5,9 мас.% NaCl экв.) при температурах 230-270°С.

Заключительный этап гидротермальной деятельности связан с внедрением поздних даек с кварцевыми жилами золото-серебряной минерализации протяженностью 100-400 м и мощностью до 1 м. В составе гетерогенных флюидов этого этапа возрастает роль углекисло-водных растворов с соленостью 4-14 мас.% NaCl экв. Температура гомогенизации ГЖВ составляет 270-300°С, что соответствует эпитермальной зоне. Рудная минерализация представлена арсенопиритом, пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами, сульфосолями серебра, акантитом и низкопробным самородным Au (<700‰). Ассоциация: Au-As-Ag-Pb-Zn-Sb.

По результатам исследования вертикальной зональности в программе НЮ-2 установлен ряд зональности рудно-магматической системы Стадухинского района (снизу-вверх): Bi-Te-Na-Cu-S-As-Co-Fe-K-W-Al-Mg-Ni-Au-Mo-Ca-Sb-Mn-Zn-Pb-Ag.

Этот ряд согласуется с принятой моделью месторождения, где элементы нижней части (W-Te-Bi-Fe-S-Cu-Co) соответствуют более высокотемпературному (300-350°С) минеральному парагенезису золото-редкометального этапа, формировавшемуся на глубинах более 2 км. Элементы верхней части ряда (Au-Ag-Sb-As-Pb-Zn) характеризуют низкотемпературный (250-300°С) парагенезис золото-кварцевого березитового и золото-серебряного этапов с глубиной формирования 1,5-2 км.

Предложены показатели зональности общего вида AgSbPb/BiWMoCuAs, которые могут использоваться для определения уровня эрозионного среза золоторудных проявлений на поверхности. Важным дополнительным критерием оценки степени эродированности локальных рудных систем служит закономерное изменение пробности золота с глубиной: от электрума (600‰) в золото-серебряных жилах к золоту средней пробности (800‰) в золото-кварцевых рудах и высокопробному золоту (900‰) с теллуридами висмута в золото-редкометальном типе.

Схожая со Стадухинской рудно-магматической системой выделяется рядом с г. Ледниковая. Большая часть вмещающих пород представлена осадками от верхнетриасового до нижнемелового возраста, осадочные породы прорваны гранитоидами ледникового комплекса, возраст которого на текущий момент не был подтвержден датировками, в северной части системы выделяется позднемеловые гранодиориты, относящиеся к теньвельвеемскому массиву. В пределах этих интрузий выделяется спорадически проявленная минерализация, относящаяся к двум типам: золото-редкометальному (связана с выходами гранитоидов) и серебро-полиметаллическому (связана с осадочными породами). Тип минерализации подтверждается как по результатам литохимической съемки, так и по результатам штуфного опробования. Во вторичных ореолах в связи с гранитоидами в группе накопления и в факторах отмечаются корреляции между элементами W-Bi-As-Mo-Cu-Au, на выходах осадочных пород – Au-Sb-Ag-Pb-As-Bi. В штуфных пробах ассоциации накопления совмещены, что говорит в пользу последовательного отложения минеральных комплексов редкометального и полиметаллического. В корреляционных группах элементы рудного комплекса образуют более тесные связи между элементами редкометальной ассоциации W, Au, Mo, Bi, Te, они же

имеют более высокие коэффициенты концентрации в рудных пробах относительно полиметаллической ассоциации, которая содержит Ag, Pb, Cu, Sb, Zn, As. Отличием от Стадухинской системы является непроявленность березитов.

Выводы

Получены данные, расширяющие представление о геохимической структуре, составе, закономерностях размещения, параметрах рудообразования, глубинах формирования и пульсационном характере рудно-магматического процесса в Стадухинском рудно-россыпном районе с крупным золоторудным месторождением Кекура. Построена модель вертикальной геохимической зональности золотого оруденения типа IRGS и разработаны критерии оценки уровня эрозионного среза оруденения и его распространения на глубину.

Уровень эрозионного вскрытия рудно-магматической системы, согласно разработанной модели вертикальной минералого-геохимической зональности, оценивается как соответствующий нижним частям эпитермальной зоны. Главным фактом, свидетельствующим в пользу вскрытия эрозией относительно глубинных частей в периферийных гранитоидных массивах рудно-магматической системы являются состав, высокая пробность золота и более высокие температуры гомогенизации газово-жидких включений. Впервые для подобных систем выявлены золото-серебряные проявления на их периферии, имеющие промышленные перспективы. Дана их прогнозная оценка.

Библиография

1. Волков А. В., Сидоров А. А., Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов арктической зоны России. Арктика: экология и экономика № 3 (31), 2018 с. 84-99.
2. Соколов С.Д. и др. Тектоника Южно-Анюйской сутуры (Северо-Восток Азии). Геотектоника, 2015, №1, с. 5-30.
3. Baker, T. et. all. 2005. A comparison of granite-related tin, tungsten, and gold-bismuth deposits: implications for exploration. SEG Newsl. 61, 5–17.
4. Hart, C.R.J., 2005, Classifying, distinguishing and exploring for intrusion-related gold systems. The Gangue, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 87 (1): 4-9.
5. Lang, J., Baker, T., 2001. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding.Mineral. Dep. 36 (6), 477–489.
6. Vikent'eva O.V. et. all. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids // Ore Geol. Rev., 2018, vol. 102, p. 240-259.

Выявление закономерностей между геологическим строением территории и физико-механическими свойствами скальных пород с целью поиска перспективных участков под карьеры для добычи строительного щебня

Кабанов С.С.* (РУДН, 1142220018@pfur.ru),
Карелина Е.В. (РУДН, karelina-ev@rudn.ru),
Абдуллаев Е.А. (РУДН, 1142220270@rudn.ru),
Кирьяк С.К. (РУДН, 1142220193@pfur.ru)

Аннотация

Щебень является одним из основных материалов, применяемых при строительстве автомобильных дорог. Важно учитывать физические и механические свойства скальной породы, из которой будет получен строительный материал, так как от этого зависит целостность дорожного полотна при воздействии на него факторов природного и техногенного характера. Основными показателями пригодности скального грунта для дорожных работ являются: прочность на сжатие и растяжение, марка дробимости, морозостойкость, размягчаемость [1].

Проведенный анализ позволяет выделить наиболее перспективные зоны разработки карьеров при строительстве в будущих проектах с учетом литологии скальных грунтов. Это позволит уменьшить затраты на разработку и транспортировку скальных грунтов, так как на основании анализа можно будет учесть наиболее благоприятные области для получения строительного материала, исходя из литологии дочетвертичных отложений.

Ключевые слова

Скальные грунты, разработка карьеров, насыпь, дорожное строительство, физические свойства скальной породы, механические свойства скальной породы

Теория

Материал для исследования был собран в период с 2021 по 2023 год в ходе инженерно-геологических изысканий в районе Баимского района Чукотского АО.

Основные показатели для статьи были получены в лаборатории по следующим методикам: влажность, плотность, прочность при одноосном сжатии, прочность при одноосном растяжении, коэффициент размягчаемости, дробимость, истираемость, лещадность, наличие слабых зерен, морозостойкость, содержание глинистых частиц в песке, содержание сернокислых соединений в песке, модуль крупности песка [2][3].

Для получения физических характеристик щебня и песка пробы были раздроблены до следующих фракций: 40-70 мм, 20-40 мм, 10-20 мм, 5-10 мм, отсев (песок) [4].

Данные были систематизированы исходя из геологии района, а также описательных характеристик в буровых журналах. Статистическая обработка по ГОСТ 20522-2012 позволила отбраковать неверные данные и выделить инженерно-геологические элементы скальных грунтов, по которым были сформированы нормативные показатели по массивам данных. Конечная стадия анализа данных включала: объединение данных по геологии района (стратиграфическим индексам) по основным указанным показателям.

Дальнейшая обработка численных показателей была произведена с целью обобщения результатов внутри геологических возрастов и фильтрации стратиграфических единиц по качестве щебня, получаемого из скальных пород.

Исследуемые скальные породы представлены триассовыми, юрскими, меловыми отложениями и относятся большей частью к: песчаникам, алевролитам, сланцам, аргиллитам,

диоритам, и в меньшей к: туфам, долеритам, монцодиоритам, филлитам, клинопироксенитам, андезидацитам. Наименее часто встречаются карбоновыми отложения (песчаники).

Количество проб, которые были отобраны для анализа физико-механических свойств скальной породы, находятся в диапазоне от 110 до 500 проб на каждую выделенную после анализа скальную породы. Для анализа свойств щебня были отобраны групповые пробы однородной скальной породы общей массой до 35 кг. На каждый проектируемый участок было выделено от 5 до 13 групповых проб в зависимости от размера карьера.

Показатели щебня были проанализированы с целью определения скальных пород, характеристики которых удовлетворяют требованиям нормативной документации, по типам использования (основание и покрытие) и категориям дорог (от I (дорога федерального значения) до V (дорога местного назначения)). Тип использования и категория дорог являются основополагающими факторами, влияющими на требуемые показатели щебня.

Исходя из полученных данных о пригодности использования щебня, получаемого из скальных пород на территории исследования мы пришли к выводу, что только 51.9 % удовлетворяют требованиям нормативной документации. Из указанных 51.9 % могут быть использованы при строительстве автомобильных дорог I категории – 11.43 %; II – 11.43 %; III – 13.93 %; IV – 29.64 %; V – 33.57 %.

Рисунок 1 и рисунок 2 показывают процентное распределение по категориям автомобильных дорог внутри стратиграфических единиц, исходя из типа использования щебня (основание или покрытие). Включены стратиграфические единицы, обладающие хотя бы одной скальной породой, щебень которой удовлетворяет требованиям нормативной документации. Таким образом, скальные породы, щебень которых нельзя использовать при строительстве автомобильных дорог, относятся к следующим стратиграфическим единицам:

1) При использовании щебня в качестве основания автомобильной дороги: K1an, K1lt, αK1, γδ-γK1il, J1ŝr, J3kr, T1-2il, T3dr, C3-P1or.

2) При использовании щебня в качестве покрытия автомобильной дороги: K1an, K1pr-ar, αK1, γδ-γK1il, ν,δ,ργK1in, J2in, J3-K1ap, J3kr, T1-2pn, T3dr, T3n2-3, C3-P1or.

Мы считаем, что некоторые стратиграфические единицы обладают лучшими характеристиками щебня, что видно исходя из количественного распределения по категориям автомобильных дорог и типам использования – это позволяет подтвердить гипотезу о широком геологическом разнообразии региона и отдельном выделении некоторых наиболее перспективных для получения строительного щебня областей. Мы предлагаем включать в список факторов выбора потенциальных участков карьеров, не только геоморфологию территории, но также геологическое строение.

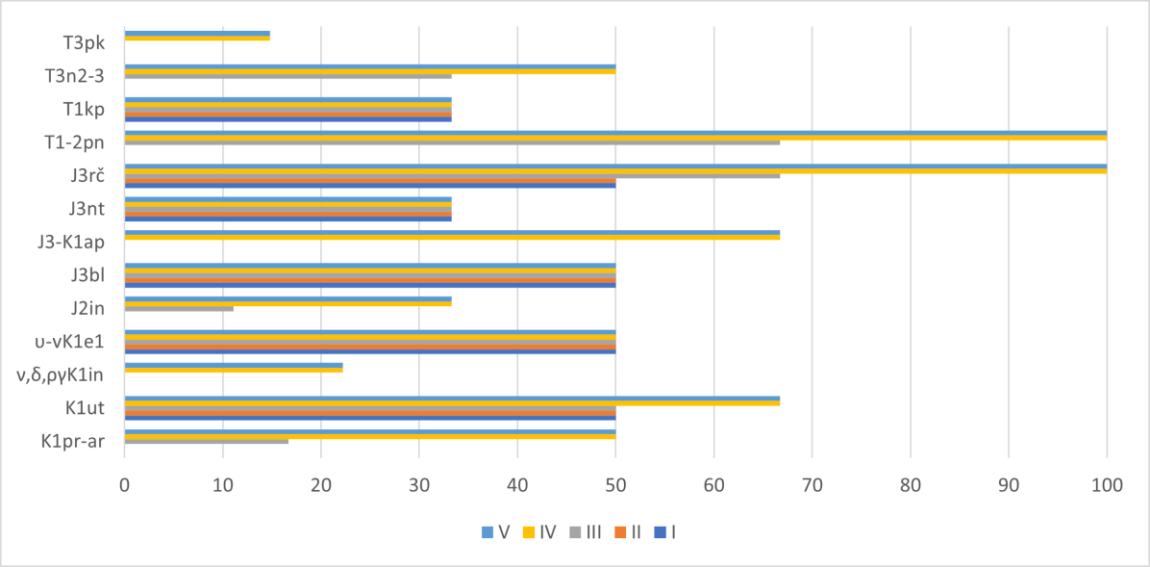


Рисунок 1. Соответствие щебня скальных пород требованиям нормативной документации по категориям автомобильных дорог. Тип использования – основание

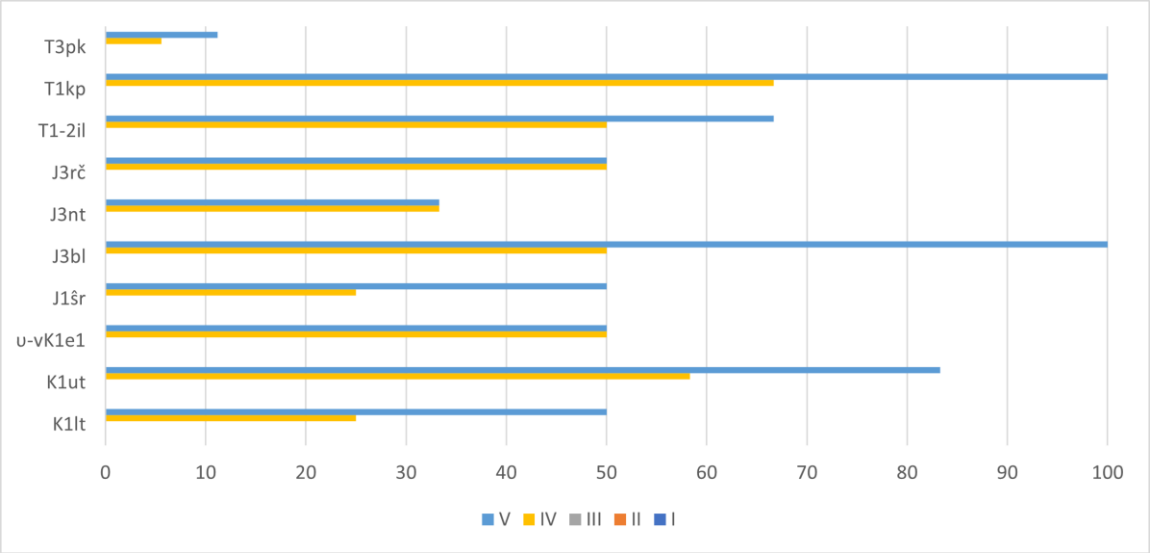


Рисунок 2. Соответствие щебня скальных пород требованиям нормативной документации по категориям автомобильных дорог. Тип использования – покрытие

Выводы

Проведенное исследование показывает, что:

1. Наиболее перспективными области по геологическому строению для получения строительного щебня при использовании в основаниях автомобильных дорог являются: меловые отложения (K1ut - утувеемская свита, υ-vK1e1-егдэгкычский плутонический комплекс), юрские (J3bl - болотнинская свита, J3nt - нетпнейвеемская свита, J3rč - раучуанская свита) и триассовые отложения (T1kp - кэпэрвеемская свита); в покрытии: меловые отложения (K1lt - левотеньвельвеемская толща, K1ut - утувеемская свита, υ-vK1e1 - егдэгкачский плутонический покмлпекс), юрские (J1ŝr - широкинская толща, J3bl - болотнинская свита, J3rč - раучуанская свита) и триассовые отложения (T1-2il - илирнейская толща, T1kp - кэпэрвеемская свита).

2. При классификации скальных пород было выяснено, что 51,9 % не подходят для использования в строительстве автомобильных дорог, так как не удовлетворяют требованиям нормативной документации.

3. Количество скальных пород, пригодных для использования при строительстве автомобильных дорог, на территории Билибинского района имеют следующее распределение по категориям: I – 11.43 %, II – 11.43 %, III – 13.93 %, IV – 29.64 %, V – 33.57 %.

Библиография

1. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация (с Поправкой) — Введ. 2021-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2020.— 44 с. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200174302?section=text

2. СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги (с Изменениями N 2-5) — Введ. 1987-01-01. — Москва: Госстрой России, 2004.— 191 с. — URL: https://docs.cntd.ru/document/5200258?section=text

3. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (с Изменениями N 1-4) — Введ. 1995-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2018.— 21 с. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200000314?section=text

4. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправками) — Введ. 1998-07-01. — Москва: Стандартинформ, 2018.— 56 с. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200003066?section=text

Особенности локализации золото-сульфидного оруденения на базификатном субстрате, приминительно к объектам Могочинского золотоносного района

Костина Е.Д.* (ФГБУ ЦНИГРИ),
Куртеева У.С. (ФГБУ ЦНИГРИ),
Чернов Б.Ю. (ФГБУ ЦИГРИ),
Буртоликов Д.В. (ФГБУ ЦНИГРИ)

Аннотация

В данной работе исследуется золотосульфидная минерализация Могочинского золотоносного района, расположенного в восточной части Забайкальского края. Используя данные, полученные в ходе полевых исследований и лабораторных исследований изотопного состава серы, авторы анализируют рудогенез золота. Результаты показывают, что в пределах Могочинского золотоносного района золото-сульфидное оруденение локализовано в трещиноватых приразломных зонах, проявленных в виде широких полей околорудных метасоматитов (березитов, пропилитов) и гидротермалитов (кварц-турмалиновые жилы, карбонатные жилы). Гидротермально-метасоматические изменения рудовмещающих пород произошли под воздействием насыщенного летучими компонентами кислого флюида, циркуляция которого вызвана внедрением массива габброидов на глубине.

Ключевые слова

Могочинский золотоносный район, месторождение Уконик, околорудный метасоматизм, метасоматическая колонна

Теория

В 2024 году полевые партии ЦНИГРИ вели поисковые и прогнозно-минерагенические работы на объектах Могочинского золотоносного района (фланги месторождения Уконик, рудопроявления золота в верховьях ручья Черемная), расположенного в восточной Забайкальского края, на стыке номенклатурных листов масштаба 1 : 1 000 000 N-50 и N-51.

В ходе работ исследовалось золотосульфидное оруденение, которое связано широкоразвитыми полями околорудных метасоматитов.

Рудогенез золота Могочинского района слабо изучен, и требуется уточнение связи золотой минерализации и флюидоподводящего магматического очага. Эти данные позволят построить прогнозно-поисковую модель золоторудного месторождения для данной территории, являющейся экономически привлекательной для недропользователей.

Район исследования расположен на выклинивании архейской Могочинской глыбы, осложненной нарушениями: северо-восточной, северо-западной, широтной ориентировки. Разломы и узлы их пересечений связаны с рудогенерирующими интрузиями. [2] По кинематике разломы являются сбросами и сдвигами, нарушающими залегание геологических комплексов. Они проявляются зонами брекчирования и метасоматитов. В пределах Уконикского рудного поля метасоматические изменения наложены на (% от общего числа метасоматитов): 80%-раннеархейские метаморфические образования, представленные могочинским и амазарским гнейсовыми комплексами; 15%-мезозойские континентальные вулканогенные, вулканогенно-осадочные отложения, представленные джилиндинской толщей. менее 5%- породы позднеархейского амазарского габбрового комплекса и позднеархейским-раннепротерозойского комплекса гранито-гнейсов. [1] [2]

Ранее предполагалось, что метасоматиты были образованы под действием флюидов, которые поступали во вмещающие породы в результате многофазного внедрения гранитоидов. Но, авторы данной работы выдвигают теорию, что рудогенез был спровоцирован

внедрением массива габброидов. Вероятно, взаимодействие с вмещающими гнейсами и сланцами могочинского комплекса, обогатило «сухой» расплав летучими компонентами, водой и кислым компонентом из силикатов. Также, ключевую роль в формировании золотого оруденения сыграло наличие трещин и разломов, по которым циркулировал флюид, эффективно взаимодействуя с проницаемыми вмещающими породами.

О вероятном влиянии габброидного массива на формирование золотой минерализации указывают следующие факторы. Наличие даек габброидного состава с убогой вкрапленной сульфидной минерализацией. Массивные сульфидные руды и кварцевые жилы с высоким содержанием сульфидов (до 85%), преимущественно представленные пиритом, арсенопиритом, пирротином, галенитом, сфалеритом, реже молибденитом. Повышенное содержание хлороводорода, выраженное в обширной калишпатизации и альбитизации пород; повышенное содержание CO_2, проявленное в виде широкого развития карбонатных жил и прожилков.

Также, в лаборатории ЦНИГРИ С. Г. Кряжевым были проведены изотопно-геохимические исследования сульфидов из руд месторождения Уконик. Было установлено, что сера всех сульфидов характеризуется весьма высокой изотопной гомогенностью, что свидетельствует о ее магматическом происхождении. При этом близость изотопных отношений к «метеоритному» уровню указывает на ювенильный источник серы, вероятно, интрузивные образования основного состава. Можно утверждать. Что в области генерации магм на всех этапах формирования рудного поля отсутствовали породы, содержащие серу осадочного происхождения. [3]

Авторами околорудные метасоматиты Могочинского золотоносного района объединены в метасоматическую колонну кислого метасоматизма: альбититы, калишпатиты, (кварц-турмалиновые жилы), березиты, пропилиты, (альбит-мусковитовые жилы), аргиллизиты. [4]

Зона калиевого метасоматоза. От гранитоидного интрузива во вмещающие породы (преимущественно плагиогнейсы) поступает кислый флюид температуры 400-500 °С. Альбит вступает в реакцию с поступающим флюидом раньше ортоклаза, так как электроотрицательность натрия (0,93) ниже, чем у калия (0,82). Новообразуются кварц и корунд, выделяется вода. Среда щелочная. Образующийся, предположительно, корунд в данных условиях неустойчив и, вероятно, в дальнейшем переходит в гиббсит (Al(OH)3).

(1) Na[AlSi3O8] (альбит)+HCl→NaCl +Al2O3 (корунд)+SiO2 (кварц)+H2O

В реакцию с хлоридом натрия вступает ортоклаз, происходит перекристаллизация кварца, в результате выделяются хлорид калия и вода. Среда щелочная.

(2) K[AlSi3O8] (ортоклаз)+NaCl+H2O→ Na[AlSi3O8] (альбит)+KCl+H2O

(3) Na[AlSi3O8] (альбит)+KCl+H2O→ K[AlSi3O8] (ортоклаз)+NaCl+ H2O

Происходит цикличная смена калишпатизации и альбитизации до момента относительного равновесия систем и смены кислотно-щелочных условий на нейтральные.

Кварц-турмалиновые жилы. В условиях нейтральной, слабокислой среды при температуре обогащенного летучими компонентами флюида 300-400°С образуются кварц-турмалиновые жилы.

(4) Na[AlSi3O8] (альбит) + H3BO3 (борная кислота) + H2O (вода) → NaFe3Al6[Si6O18](BO3)3(OH, F)4 (шерл-турмалин) + SiO2 (кварц) + H2O (вода)

Березитовая зона. Нейтральная, слабокислая среда меняется на кислую-начинается расход водорода, при температуре флюида 250-350 °С происходит процесс березитизации: биотит за счет привноса водорода распадается на мусковит (мелкочешуйчатый), высвобождающиеся в результате ионы двухвалентного железа реагируют с сероводородом, продукт этой реакции-пирит:

(5) K(Mg,Fe2+)3[AlSi3O10](OH,F)2 (биотит)+ H+ (ионы водорода) → KAl2[AlSi3O10](OH,F)2 (мусковит) + Fe2+ (ионы железа)

(6) Fe2+(ионы железа)+2HS(сероводород)→FeS2(пирит)+2H+

Пропилитовая зона - зона земной коры, которая взаимодействует с флюидами температуры 100-200 °С, характеризующаяся “озеленением” за счет новообразующихся минералов зеленого цвета. Кислая среда меняется на щелочную в результате израсходования водорода, в реакцию с соляной кислотой вступает кальциевый плагиоклаз, в результате образуется неустойчивый хлорид кальция, кварц, корунд, вода. Высвобождаются ионы кальция, что провоцирует начало пропилитизации пород.

(7) Ca[Al2Si2O8] (основной плагиоклаз) + HCl→ CaCl2 (распадается на Ca2+ и Cl-) + Al2O3 (корунд)+SiO2 (кварц)+H2O

Свободные ионы кальция проникают по тонким трещинам в гнейс: образуется эпидот, минералы группы хлорита. Среда нейтральная, слабокислая.

(8) (Ca, Na)[Al2Si2O8] (полевые шпаты) + H+→ Ca2(Fe3+,Al)Al2[SiO4][Si2O7]O(OH) (эпидот)+ 2Na+

(9) K(Mg,Fe2+)3[AlSi3O10](OH,F)2(биотит)+H+→ (Mg,Fe2+)6[(Al,Si)4O10](OH)8(хлорит)+K++ Fe2+

Зона гидротерм.

Альбит-мусковитовые жилы. В результате пропилитизации выделяются свободные ионы калия, натрия и железа, которые образуют альбит-мусковитовые гидротермальные жилы.

Аргиллизитовая зона - зона земной коры, которая взаимодействует с водными растворами температуры 100-200 °С, в результате чего полевые шпаты разлагаются на каолин, а биотит-на мусковит. Примечательно, что были сделаны единичные находки пренита, предположительно, развившегося по эпидоту.

(10) K[AlSi3O8] (калиевый полевой шпат)+ + H2O→ Al4[Si4O10](OH)8 (каолинит)+ K++SiO2 (кварц)

(11) Ca[Al2Si2O8] (основной плагиоклаз)+ H2O → Al4[Si4O10](OH)8 (каолинит)+ SiO2 (кварц)+ Ca2+

(12) K(Mg,Fe2+)3[AlSi3O10](OH,F)2(биотит) + H2O→ Fe2O3 (гематит)+ KAl2[AlSi3O10](OH,F)2 (мусковит)+ Mg2+(ионы магния) + Fe2+

(13) Ca2(Fe3+,Al)Al2[SiO4][Si2O7]O(OH) (эпидот) + H2O→ Ca2Al[(Si3,Al)O10](OH)2 (пренит) + Fe2O3 (гематит)

При кислом метасоматизме золото отлагается в слабокислых условиях (pH=5-6), а при более низких значениях - растворяется и выносится из системы. Благоприятными для формирования золотого оруденения являются: кварц-турмалиновые жилы; березитовая зона, пропилитовая зона. Исходя из понятия о коммерческой тайне, авторами в работе не приводится полный объем результатов опробования пород на содержание золота и серебра по первичным ореолам. Так, например, на участке Гольцовый (рис. 1) аномалии золота и серебра приурочены к сближенным полям развития кварц-турмалиновых жил и березитов, которые находятся в обширном поле калишпатитов и альбититов.

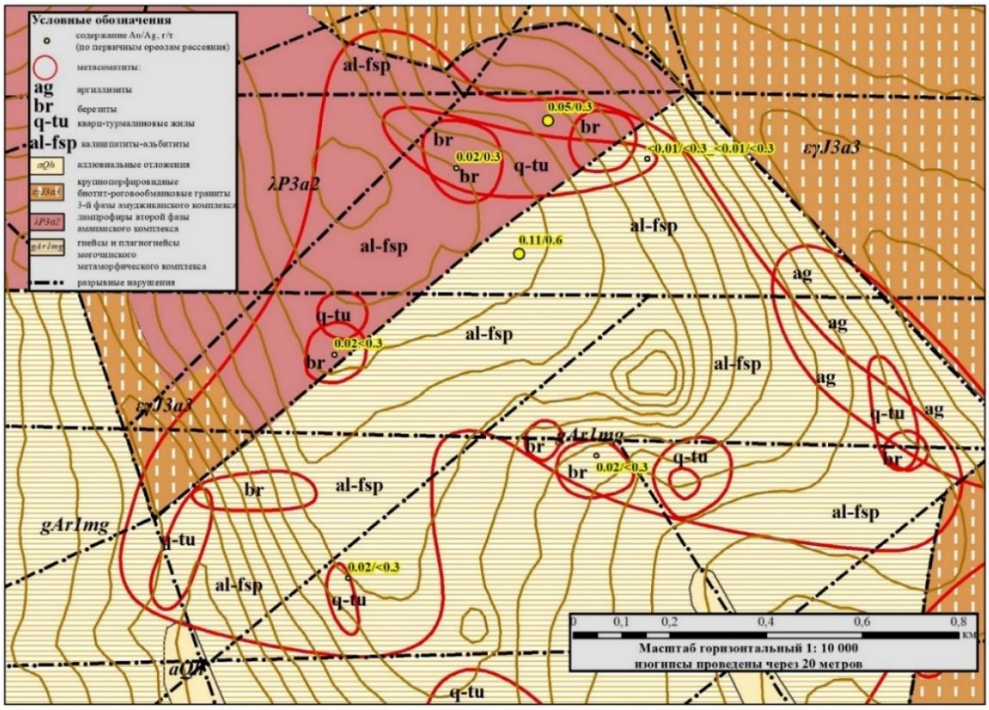


Рисунок 1. Золотоносность околорудных метасоматитов, участок Гольцовый

Выводы

Авторы работы делают вывод, что в пределах Могочинского золотоносного района золото-сульфидное оруденение локализовано в трещиноватых приразломных зонах, проявленных в виде широких полей околорудных метасоматитов (березитов, пропилитов) и гидротермалитов (кварц-турмалиновые жилы, карбонатные жилы). Гидротермально-метасоматические изменения рудовмещающих пород произошли под воздействием насыщенного летучими компонентами кислого флюида, циркуляция которого вызвана внедрением массива габброидов на глубине.

Библиография

1. ГГК-1000. Серия Алдано-Забайкальская. Лист N-50 – Сретенск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУГП «Читагеолсъемка»).

2. ГГК-200. Издание второе. Серия Олёкминская. Лист N-50-XXIV (Могоча). Объяснительная записка / С. Ф. Абдукаримова, Т. Ф. Абдукаримова, В. В. Карасев и др.; Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ», АО «Росгео», АО «Сибирское ПГО», ОСП «Читагеологоразведка», 2024.

3. Изотопно-геохимические и генетические модели золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах. С.Г.Кряжев (ЦНИГРИ)

4. Теория метасоматической зональности. Д. С. Коржинский. Изд-во «Наука», 1969.

Дифференцированный анализ интенсивности палеоземлетрясений по структурно-литологическим параметрам конволюций в озёрных комплексах

Клоков И.А.* (ИФЗ РАН, ilia.klokov@mail.ru),
Горбатов Е.С. (ИФЗ РАН, e.s.gor@mail.ru)

Аннотация

Разработанная структурно-литологическая типизация конволюций (складчатых деформации сейсмического разжижения осадков) послужила основой для создания комплексного метода палеосейсмологической параметризации конволюций в озёрных комплексах по параметру «сейсмическая интенсивность». Благодаря созданию каталога конволюций из 31 региона мира мы предложили шкалу сейсмической интенсивности, где каждый тип конволюций создаётся при определённой $I_{\Delta min}$, I_{0min}, а выведенная авторами эмпирическая зависимость по усреднённому коэффициенту синформности (K_s) конволюции позволяет определить эпицентральную интенсивность. Также получена экспертная визуализация, что позволяет оценить минимальную эпицентральную интенсивность, зная структурно-литологический тип конволюции, местоположение (до 100 км) эпицентра. Данные методы существенно уменьшают экономические издержки при оценке долгосрочной сейсмической опасности и повышают точность прогноза.

Ключевые слова

Сейсмогенные конволюции, структурно-литологический тип, коэффициент синформности, палеоземлетрясения, оценка сейсмической опасности

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWU-2025-0039 ИФЗ РАН.

Теория

Оценка палеосейсмичности (поиск, параметризация древних землетрясений) разных районов Земли является актуальной задачей, т.к позволяет выверенно вкупе с данными современной сейсмичностью оценивать сейсмоопасность территории. Данные методики базируются на исследовании палеосейсмодислокаций на поверхности Земли. С конца XX века многие специалисты начали создавать различные методики параметризации палеоземлетрясений, которые основываются как на морфологических и метрических параметрах отдельных деформаций разжижения в рыхлых отложениях, так и на пространственных характеристиках их распространения [по Zhong et al.,2021]. Но они пренебрегают литологическими характеристиками деформаций, слабо учитывают индивидуальные особенности каждого класса сейсмитов.

Вышеописанные проблемы в нашем исследовании мы частично решаем благодаря созданию методики параметризации палеоземлетрясений по пликативным конволютным структурам (далее «конволюции») разжижения в рыхлых (озёрных) отложениях (рис. 1). Данные структуры, при их соответствии критериям сейсмогенности [Корженков и др., 2014], являются хорошим индикатором как для оценки интенсивности палеоземлетрясений, так и оценки сейсмоопасности исследуемой территории в целом, т.к: 1) Конволюции широко распространены во всех регионах мира; 2) Низкий порог чувствительности этих образований к сейсмовибрационным воздействиям; 3) Резкое различие пороговых значений сейсмических воздействий при формировании конволютных деформаций в зависимости от состава и от особенностей стратификации [Горбатов, 2023].

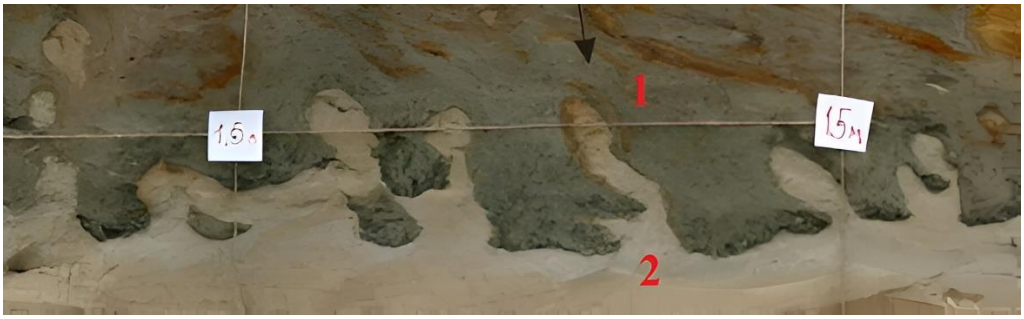


Рисунок 1. Пример конволютных структур на берегу р. Иркут. 1-слои супесей и суглинков; 2-средне-крупнозернистые пески [Гладков и Лунина, 2010]

Исходя из вышеизложенного на первом этапе одним из авторов [Горбатов, 2023] была разработана структурно-литологическая типизация (SC) сейсмогенных конволюций по сочетанию критериев разжижаемость (легкая/тяжелая), стратификация по плотности (устойчивая/неустойчивая). В результате был выделено 4 типа конволюций (A, B, C, D), где тип А наиболее легковоспроизводимый тип (лёгкая разжижаемость: слагают пески или алевриты; неустойчивая стратификация: более грубый состав верхнего деформируемого слоя), тип D-воспроизводится наиболее трудно (тяжёлая разжижаемость: слагают грубообломочные, глинистые, карбонатно-глинистые, органоминеральные породы; устойчивая стратификация: более дисперсный или оторфованный состав верхнего горизонта), В и С-промежуточные типы.

Далее, предположив, что созданию каждого структурно-литологического типа соответствует тот или иной порог сейсмической интенсивности, по литературным данным мы создали представительный каталог, включающий 75 конволюций из 31 региона мира, куда заносились состав стратифицированных осадков, морфология и вертикальная мощность (*H*), структурно-литологический тип (A-B-C-D), коэффициент синформности складок (*Ks*-отношение ширины смежной синформной к антиформной складки), возраст, сейсмическая интенсивность в точке исследования (I_{Δ}) и в эпицентре (I_0), эпицентральное расстояние (*R*).

Для полного анализа структурных взаимосвязей внутри массива данных (каталога) между I_{Δ}, I_0 структурно-литологическими и морфологическими параметрами конволюций (*L*-разжижаемость осадков, S_d-стратификация по плотности и составу, *SC*-тип конволюций, *Ks*-коэффициент синформности) определены парные коэффициенты корреляции этих значений благодаря использованию функции «КОРРЕЛ» в Exel. При этом для оценки не метрических структурно-литологических параметров и адекватного исследования корреляции как с ранговыми (баллы сейсмической интенсивности), так и метрическими параметрами (K_s; *H*) использовалась порядковая шкала, т.е. различным категориям ранговых параметров присваивалось целочисленное значение, отражающее порядковые отношения. Введена ранговая цифровая оценка следующих параметров: *L* («легкая разжижаемость» = 1; «тяжелая» = 2); S_d («неустойчивая» = –1; «неопределённая» = 0; «устойчивая» = 1); SC (A-D), тождественный типу: Тип А (*L*=1; S_d = –1) соответствует SC=1; В (1; 1) это SC=2; С (2; -1) это SC=3; D(2; 1) это SC= 4 ; SC=1,5 или 2,5, 3,5, то это означает вариативность типа конволюций (напр. A-B) в связи с неопределённостью показателя S_d. Анализ полученной корреляционной матрицы показывает, что параметр *SC* имеет сильную и умеренную корреляционную связь с «I_0» (*r*= 0.536), с «I_{Δ}» (*r*= 0.392). А коэффициент синформности имеет слабую корреляционную связь с эпицентральной интенсивностью (*r*= -0.158).

Так как была отмечена довольно высокая парная корреляция между «I_{Δ}; SC», « I_0;SC», то на основании массива данных были определены пороговые (min, max), средние местные и

эпицентральные значения интенсивности для каждого структурно-литологического типа (табл. 1).

Таблица 1. Пороговые и средние значения интенсивности местной и эпицентральной для формирования различных типов конволюций

Структурно-литологический тип конволютных складок	Сейсмическая интенсивность, баллов по шкале MSK-64:					
	Местная (I_Δ) (n=26)			Эпицентральная (I_0) (n=25)		
	min	сред.	max	min	сред.	max
A	**5**	7.29	9	**6**	7.25	11
B	**6**	7.83	9	**6**	7.83	11
C	**6-7**	7.91	10	**6-7**	7.89	10
D	**8**	8.71	11	**8-9**	9.67	11

Минимальные пороговые величины (I_{0min}, $I_{\Delta min}$) показывают значительную дифференциацию в ряду типов конволюций со средней ступенью роста 1 балл (таблица 1). Это означает пригодность данных значений для создания шкалы сейсмической интенсивности на базе типизации конволюций (табл. 2).

Таблица 2. Шкала сейсмической интенсивности на базе типизации конволюций, MSK-64

Сейсмическая интенсивность		Характеристика конволютных структур в толщах субаквальных осадков
($I_{\Delta min}$)	(I_{0min})	
5 и менее	6 и менее	Присутствие в разрезах только конволюций типа A в неустойчивой двухслойной системе «песок на алеврите», «песок на супеси»
6	6	Появление в разрезах конволюций типа B в системе «алеврит на песке», «супесь на песке»
6-7	7	Появление в разрезах конволюций типа C в системе «гравийно-галечники на дисперсном грунте, «дисперсный грунт на глине»
8 и более	8-9	Появление в разрезах конволюций типа D в наиболее устойчивой системе «дисперсный грунт на гравийно-галечниках», «глина на дисперсном грунте»

Опираясь на созданную шкалу, а также массив данных (брали данные структурно-литологического типа, эпицентральная интенсивность, эпицентральное расстояние) из 31 региона мира, нами были получены точечные экспертные визуализации по величинам «I_0, R» для каждого структурно-литологического типа, которые по огибающей кривой позволяют (зная структурно-литологический тип, местоположение эпицентра) оценить минимальную эпицентральную интенсивность в отдалённой (до 100 км) от эпицентра точке (рис. 2).

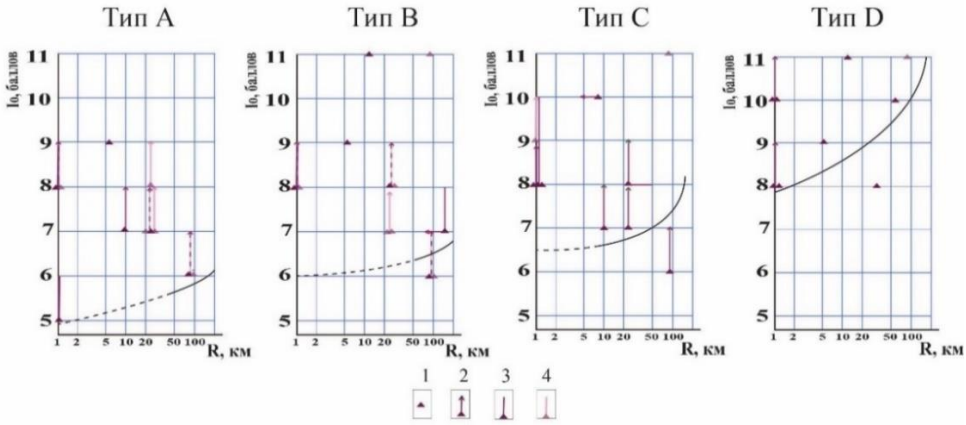


Рисунок 2. Экспертная визуализация «интенсивность в эпицентре, эпицентральное расстояние» при формировании конволюций. Условные обозначения: 1.Точные значения; 2-открытые и 3-закрытые интервалы; 4- точно не выявленный тип конволюций (напр. B-D)

Сравнительно высокий коэффициент парной корреляций коэффициента синформности отдельных конволютных структур с эпицентральной интенсивностью (r =0.534) указывают на наличие эмпирической регрессионной зависимости между ними:

$$I_0 = 9.265\text{-}1.043\ K_s, \text{ при } K_s \geq 0.5;\ R^2 = 0.285. \quad (1)$$

Выводы

В результате, разработан дифференцированный анализ интенсивности по структурно-литологическим параметрам конволюций, что основан на: 1) Шкале сейсмической интенсивности на базе типизации конволюций; 2) Экспертной визуализации, которая позволяет оценить минимальную эпицентральную интенсивность в отдалённой (до 100 км) от эпицентра точке; 3) На эпицентральной интенсивности, которая определяется в зависимости от значения K_s. Благодаря комплексности нашего метода обеспечивается точность исходных данных для оценки сейсмоопасности, а распространённость, простота поиска и анализа конволюций обеспечивает методу конкурентное преимущество.

Библиография

1. Гладков А.С., Лунина О.В. Сейсмиты юга Восточной Сибири: проблемы и перспективы изучения // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1, №. 3. С. 249–272

2. Горбатов Е.С. Структурно-литологическая диагностика сейсмогенных конволюций в озерных комплексах // Вопросы инженерной сейсмологии. 2023. Т. 50, № 2. С. 111–128.

3. Корженков А.М., Аванесян М.А., Вирджино А., Караханян А.С. Сейсмогенные конволюции в четвертичных отложениях озера Севан (Армения) //Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – №. 1. – С. 56-65

4. Zhong N Jiang, H., Li, H., Su, D., Xu, H., Liang, L., & Fan, J. The use of soft-sediment deformation structures as proxies for paleoseismic activity and shaking: A review. – 2021.

Строматолитовые постройки глубинных горизонтов недр – маркеры скопления углеводородов и фосфатов

Литвинова Т.В. (ГИН РАН, litvinova-geo5@ mail.ru)*

Аннотация

Углеводороды и фосфаты являются не только ценными полезными ископаемыми, но и активными участниками биогенных процессов и круговорота органогенного вещества в природе. Однако даже самый приблизительный подсчет их запасов и оценка распределения в земной коре представляют определенные трудности. Возрастающая необходимость прироста глубоко залегающих горючих полезных ископаемых вынуждает проводить дорогостоящие работы со сложным техническим оснащением. В такой ситуации любой доступный научный подход, который поможет конкретизировать пространственно-временное местонахождение этих биофильных полезных ископаемых, значительно облегчит задачу.

В работе продемонстрировано, что результаты изучения биогенной составляющей керна строматолитовых построек, широко распространенных в докембрии, можно использовать для постановки поисковых работ. Исследование проводилось с помощью СКАН-а.

Ключевые слова

Углерод, микроорганизмы, фосфорит, СКАН

Источники финансирования

Работа выполнены в рамках госбюджетной темы Геологического института РАН, г. Москва, “Периодизация протерозоя и роль глобальных изменений среды и климата в эволюции докембрийской биосферы” (FMMG-2023- 0004Б).

Теория

Биогенные ультрамикроструктуры черных строматолитов рифея (керн)

Строматолиты известны необычной формой построек и слоистым строением: минеральные компоненты в них чередуются с более тонкими органогенными слоями, определяющими особенности их структуры (волнистую, комковатую и т.д.). Они сложены фоссилизированными остатками организмов. Черная окраска столбиков, наблюдаемая в описанных ниже строматолитах, достаточно редка и обусловлена сложными биохимическими процессами. Цель исследования – установление причины ее возникновения, и выявление связи с микроорганизмами – создателями этих пород.

В статье продемонстрированы результаты изучения проб строматолитов из керна калтасинской (RF_1), скв. 7000 Арланская) и леузинской (RF_1, Красноусольская СКВ.) свит Волго-Уральской области, а также саткинской свиты (RF_1) Ю. Урала. Остатки организмов и их состав устанавливались на растровом электронном микроскопе TeScan MV-2300 с энергодисперсной приставкой Cambridge instruments INCA-200, диаметр анализируемого участка – 1мкм, чувствительность по легкой матрице составляет 0,001%.

В строматолитах калтасинской свиты (рис. 1а) установлены многочисленные остатки нитчатых микрофоссилий: несептированные трубчатые образования с открытыми с двух сторон окончаниями (рис. 1*б*), остатки раскрытых полых чехлов трихом (рис. 1*в*), обрывки скрученных бактериальных пленок (рис. 1г), часто включающих пучки нитей (Litvinova. Sergeeva, Dyakova, 2024).

Строматолиты леузинской свиты (рис. 1д) характеризуются широким распространением остатков крупных фоссилизированных нитчатых неветвящихся микрофоссилий длиной до 200–500 мкм. Большинство из них представлено

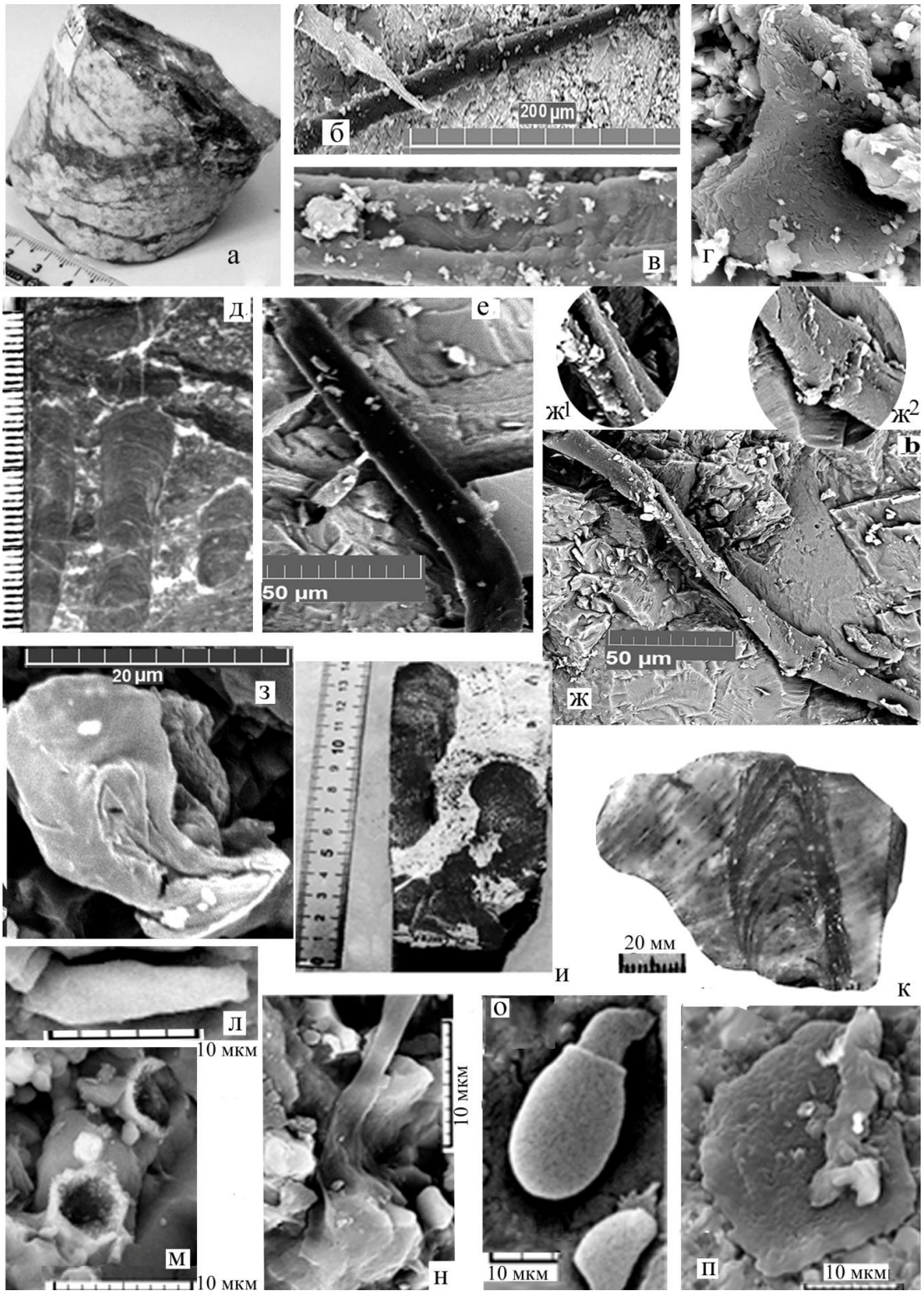


Рисунок 1. Строматолиты и биогенные ультрамикроструктуры

несептированными трубчатыми формами (рис. 1е), часто полностью раскрытыми. Реже встречаются вытянутые образования, разделенные поперечным сегментом на 2 – 3 неравные части (рис. 1ж), место стыковки заметно расширяется (рис. 1ж[2]), поперечный соединительный шов неровный и прерывистый. Они могут включать несколько тесно переплетенных нитей (рис. 1ж[1]). В пробе установлены также многочисленные обрывки плотных, скрученных в несколько раз, бактериальных пленок (рис. 1з).

Исследование показало, что строматолиты окрашены в черный цвет за счет крайне высокого содержания углерода (табл.1), причем, если в обычных постройках некоторое повышение его количества связано только с организмами, то в данном случае обогащение углеродом отмечается и во вмещающих микрофоссилии породах.

Таблица 1. Состав биогенных образований органогенного слоя строматолитов и вмещающих их пород, %

св.	эл	C	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Cl	Fe	∑
R_1kt	бп	88.33	0.7	0.72	2.18	5.63	0.79	0.87	0.08	0.43	99.73
	мф	87.28	1.05	0.98	2.75	4.96	0.94	1.21	0.14	0.46	99.75
	вп	44.81		20.76		8.0		33.29	1.2	0.8	100
R_3ls	бп	91.08	1.34	1.98	0.14	0.9	0.51	3.27		0.15	99.37
	мф	96.63		1.2	0.2	0.18		1.64	0.01	0.04	100
	вп.	55.97		17.2	5.04	0.34	0.15	26		0.48	100

Примечание: св. – свиты, эл – элементы, бп – бактериальные пленки, мф – микрофоссилии, вп – вмещающая порода

В пределах Змеиных гор Южного Урала, в основании саткинской свиты бурзянской серии (R_1), известны два фосфатных горизонта, приуроченных исключительно к строматолитовым столбикам, вмещающие постройки карбонатные породы не содержат фосфатного материала. Характеристика этих фосфоритов почти не освещена в литературе (Петров и др., 1995; Рифей…, 2001) и до сих пор. В черных строматолитах саткинской свиты (рис. 1и) на фоне пелитоморфного фосфорита различимы остатки организмов: полые трубчатые (рис. 1м) и нитчатые образования (рис.1н). На том же стратиграфическом уровне установлены строматолиты кремневого состава (рис. 1к), в которых выявлены хорошо сохранившиеся кувшинообразные (рис. 1о), нитчатые микрофоссилии и бактериальные пленки (рис. 1п). В кремневых строматолитах все биогенные остатки характеризуются обычным для них составом.

При поступлении фосфата в водоем углерод в замещенных организмах не сохраняется (Батурин, 1978). В ходе фосфатизации содержание Сорг падает в 4-6 раз, а затем, в соответствии со степенью литификации отложений и их возрастом, достаточно быстро происходит синхронное уменьшение общего количества органического вещества и других микроэлементов до их полного замещения фосфором.

Фосфатный материал затронул только строматолитовые столбики, но не вмещающую их породу. Это объясняется тем, что бактериально-водорослевое сообщество выделяет на поверхности минерального осадка слизь, включающую внеклеточное полимерное вещество (EPS). Его пористая структура способна впитывать и удерживать воду (Гусев, Минеева, 2003), препятствую, таким образом, высыханию организмов (Алкофильные микробные…., 2007) и, следовательно, органогенного слоя.

Выводы

Исследованные строматолиты калтасинской (R_1 kt) и леузинской (R_3ls) свит Волго-Уральской области включают остатки бактериальных пленок, нитчатых микрофоссилий и полых чехлов трихом длиной до 300 мкм, часть из которых представляют собой остатки осциллаториевых цианобактерий *Oscillatoriopsis sp*. Отсутствие коккоидных организмов указывает на относительно глубоководные условия их образования. Для построек саткинской свиты Ю. Урала (R_1) характерны мелкие нитчатые и кувшинообразные формы микрофоссилий. И те, и другие строматолиты сложены органогенными породами темного цвета в результате проникновения в слизистую массу сообщества биофильных элементов. В первом случае их окраска связана с высоким содержанием вторичного углерода, во втором – с обогащением фосфатом, и тот, и другой не затрагивают вмещающие строматолиты породы, литифицированные на более ранних стадиях диагенеза. Внеклеточное полимерное микробиальное вещество (слизь), впитывающее и удерживающее влагу, длительное время тормозило процесс литификации органогенных отложений, поэтому процесс обогащения углеродом затронул только биогенный материал, не имея возможности проникнуть во вмещающие строматолиты породы. Количество углерода, постоянного спутника микроорганизмов, существенно возросло, обогатив, в том числе, обычно более светлые минеральные слои строматолитовых столбиков. Таким же образом вел себя фосфор, не затронув уже литифицированную вмещающую столбики породу. Предположение о вторичности процесса обогащения строматолитов биофильными элементами доказывается идентичностью строения фосфатных и кремневых строматолитов саткинской свиты, находящихся на одном стратиграфическом уровне. Подобные строматолитовые месторождения фосфора отмечаются и в других докембрийских отложениях, для которых в целом нехарактерно фосфатонакопление, широко проявившееся только в начале кембрия.

Таким образом, в строматолитах с помощью СКАН-а возможно не только установить микрофоссилии и проанализировать с их помощью палеогеографическую обстановку, но и оценить степень обогащения некоторыми биофильными элементами. В глубоко залегающих отложениях с карбонатными коллекторами (Алексеев, 2012) они могут рассматриваться в качестве маркера при поиске, прежде всего, горючих полезных ископаемых, но также использоваться и для выявления пластовых строматолитовых фосфоритов.

Библиография

1. Алексеев А. Курс на карбонаты. Разработка карбонатных коллекторов в «Газпром нефти» // Сибирская нефть. 2017. № 1 С. 28–36.

2. Алкофильные микробные сообщества // Труды Института микробиологии. Вып. XIY. М.: Наука, 2007. 396 с.

4. Гусев М.В., Минеева Л.А. Микробиология: М.: Издательский центр «Академия», 2003. 447с.

5. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические памятники природы) Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. I. 351с.

6. Петров В.И., Шалагин А.Э., Пунегов Б.Н. Фосфориты в саткинской свите нижнего рифея Южного Урала // Общие проблемы стратиграфии и геологической истории рифея Северной Евразии. Екатеринбург: ИГГ Уро РАН, 1995. С. 78-79.

7. Litvinova T.V., N.D. Sergeeva, S.A. Dyakova Stromatolites as indicators of hydrocarbon enrichment (on the enrichment (on the example of the OF THE Rifean deposits of the Volga–Ural region platform). Paleontological Journal 2024.Vol. 58, No. 7, pp. 117–125

Тектонические движения четвертичного периода в центральной части Джумгальской впадины, Восточный Тянь-Шань

Стрельников А.А. (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, aas@ifz.ru)*

Аннотация

Гражданское строительство и строительство ответственных объектов всегда сопровождается комплексом подготовительных работ в том числе, по оценке сейсмической опасности региона. В большей степени это касается таких сейсмоактивных районов как Тянь-Шань. Здесь требуется определение фактических параметров землетрясений для подготовки защиты сооружений от сейсмических воздействий. Несмотря на наличие современной системы мониторинга и регистрации сейсмических событий остается открытым вопрос о периодизации высокомагнитудных землетрясений, их повторяемости и затиший. Это необходимо для возможности дальнейшего расчета возможного физического и экономического ущерба, а также готовности к ликвидации последствий сейсмического события. Для получения ответа на данную тему используются научные изыскания из раздела палеосейсмологии.

В 2023 году были проведены комплексные палеосейсмологические исследования в Джумгальской впадине (Восточный Тянь-Шань) с целью уточнения сейсмической опасности региона.

Ключевые слова

Восточный Тянь-Шань, Джумгальская впадина, палеосейсмология, оценка сейсмической опасности, древние землетрясения

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания лаборатории палеосейсмологии и палеогеодинамики Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН «Исследования режима сильных землетрясений и геодинамики Альпийско-Гималайского горного пояса и относительно стабильных территорий Восточно-Европейской платформы с Балтийским щитом на основе изучения палеосейсмичности и альпийской палеогеодинамики» (2022–2024 гг.).

Теория

В исследовании были использованы традиционные методы палео- и археосейсмологии [McCalpin, 2009]. Выполнены исследования обнажений в зонах разломных уступов. При этом выполнено послойное описание профилей с фиксацией фациальных характеристик отложений, взаимоотношений слоев; выявление сейсмогенного разрыва, определение типа и амплитуды смещения по нему. В пределах естественных обнажений исследованы неоген-четвертичные отложения, слагающие внутривпадинные поднятия. Оценка магнитуд и интенсивности палеоземлетрясений проводилась на основе эмпирических зависимостей между ними и параметрами сейсмогенных разрывов [Wells, Coppersmith, 1994]. Типы сейсмитов и гранулометрия вовлеченных в сейсмическое разжижение осадков позволила с учетом данных из [Rodríguez-Pascua et al., 2000; Bezerra et al, 2005; Papathanassiou et al., 2005; Deev et al., 2019] оценить параметры землетрясений, при которых сформировались эти вторичные деформации.

Характерное проявление тектонических движений четвертичного периода было обнаружено в центральной части Джумгальской впадины к северу от административного центра Джумгальского р-на, Нарынской обл., пос. Чаек. Впадина представляет собой

асимметричную синклиналь длиной приблизительно 70 км и шириной до 35 км с довольно пологим южным краем и сложной разломанной и складчатой северной границей.

Система платообразных холмов с шириной варьирующейся от 1 до 3.0 км тянется вдоль оси синклинали более чем на 25 км (рис. 1). Самый крупный участок, Чаекское поднятие, расположен в центральной части впадины к северу от пос. Чаек.

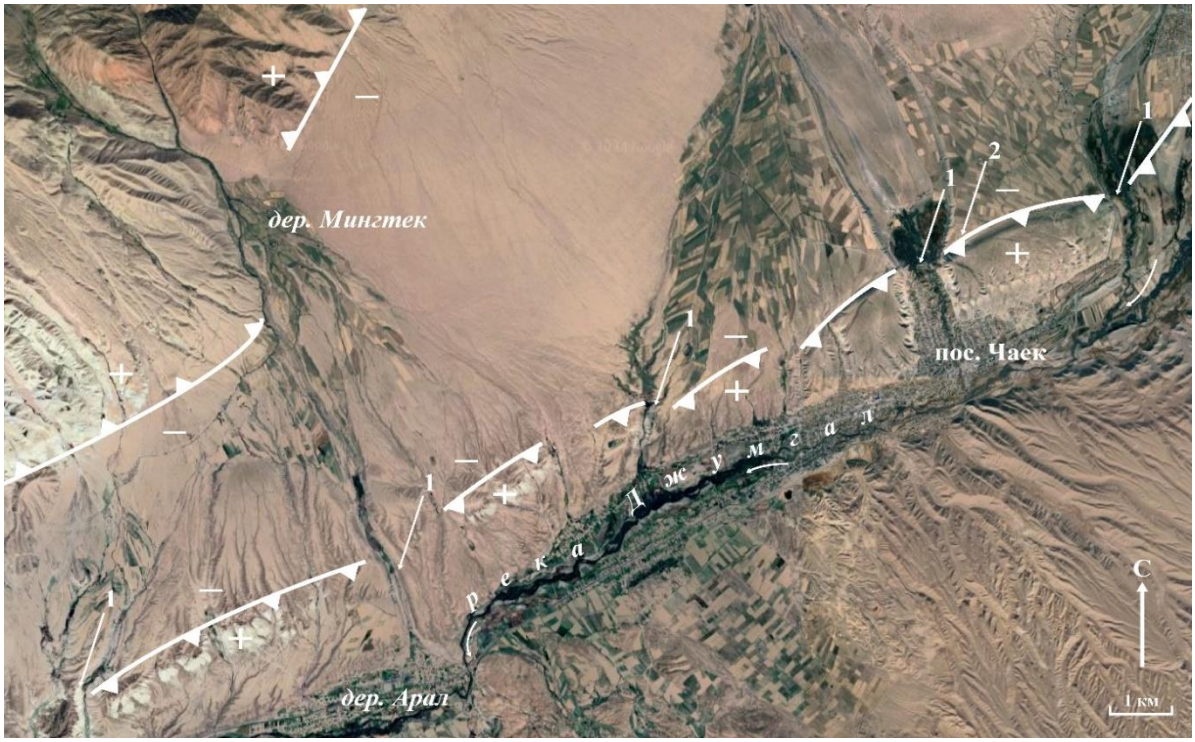


Рисунок 1. Космический снимок долины р. Джумгал. 1 – участки систематического тектонического подпруживания; 2 – местонахождение карьера с обнажением отраженным на рис. 2а, б

В среднем суммарные смещения по террасам составляют от 6 м до 40 м. Смещение в структуре одного из бортов карьера, разрабатываемого в северной части Чаекского поднятия, позволило детально изучить одну из таких зон разломов.

Видимое в карьере смещение, отмеченное крупнозернистым песком с галькой, составило около 2.5 метров, под очень пологим углом. Смещения происходили по нескольким плоскостям разрыва. (рис. 2а, б).

Для оценки возможных магнитуд разрывных землетрясений было выбрано несколько вариантов расчета с использованием формул [Wells, Coppersmith, 1994]. В первом случае использовалась общая длина поднятия, проходящего по центральной части Джумгальской впадины, представляющей собой систему платообразных холмов, расположенных вдоль оси синклинали на протяжении более 25 км. Разлом не выходит на поверхность, поэтому было принято решение использовать формулу длины подповерхностного разрыва для расчета магнитуды разлома:

$$M = 4.49 + 1.49 \log(25) = 6.6$$

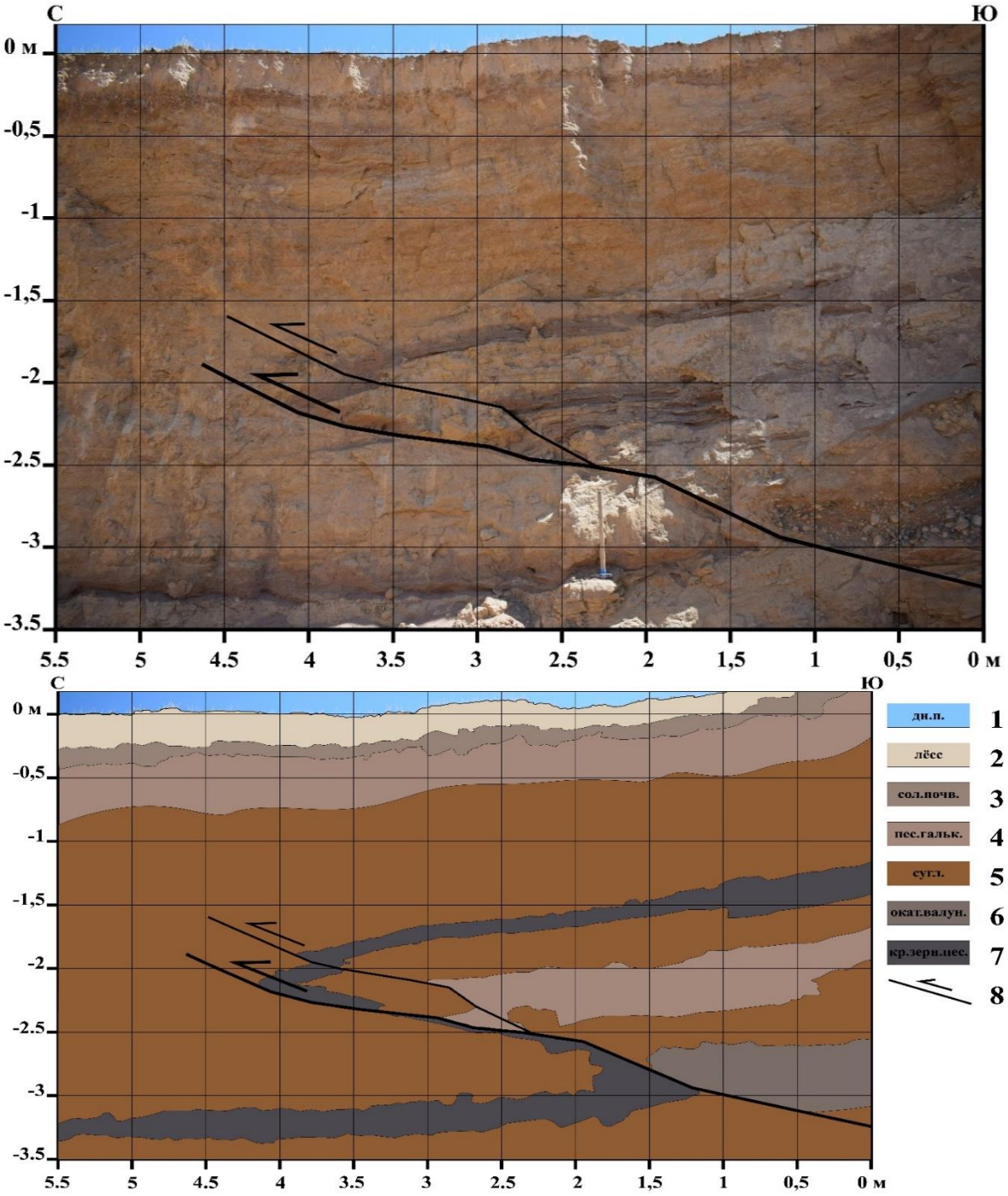


Рисунок 2. а – фотография профиля с выраженной плоскостью разрыва и смещением слоев крупнозернистого песка с галечником на 2,5 метра. б – дешифрированная фотография с перечнем слагающих профиль слоев 1 – дневная поверхность; 2 – лёсс; 3 – засоленные почвы; 4 – песок с галькой; 5 – суглинки; 6 – окатанные валуны; 7 – крупно-зернистый песок; 8 – линия смещения по разлому

Во втором случае оценивалось смещение по линии падения разлома в обнажении. Наблюдаемое смещение 2.5 м позволило с помощью корреляционных зависимостей оценить моментную магнитуду палеосейсмического события как:

$$M = 6.52 + 0.44 \log(2.5) = 6.7$$

Учитывая несколько вариантов расчета при M=6.6 и M=6.7, была получена возможная средняя магнитуда сейсмического события M~6.7.

Выводы

При помощи палеосейсмологических методов, морфометрического анализа рельефа и данных дистанционного зондирования удалось обнаружить и выполнить параметризацию нескольких объектов, маркирующих сильные землетрясения в территориально густонаселенной Джумгальской впадине. Выявлены вертикальные подвижки по разлому, проходящему вдоль р. Джумгал и отмечена рамповая структура Джумгальской впадины. Получена возможная средняя магнитуда сейсмического события на участке северной границы Чаекского поднятия M~6.7. Полученные данные свидетельствуют о необходимости детального изучения региона и уточнения сейсмической опасности населенных районов, часто расположенных вдоль сейсмогенерирующих структур.

Библиография

1. Bezerra F.H.R., Fonseca V.P., Vita-Finzi C., Lima-Filho F.P., Saadi A. Liquefaction-induced structures in Quaternary alluvial gravels and gravels sediments, NE Brazil // Engin. Geol. 2005. V. 76. P. 191–208.
2. Deev E., Turova I., Borodovskiy A., Zolnikov I., Pozdnyakova N., Molodkov A. Large earthquakes in the Katun Fault zone (Gorny Altai): Paleoseismological and archaeoseismological evidence // Quatern. Sci. Rev. 2019. V. 203. P. 68–89.
3. McCalpin J.P. Paleoseismology. 2nd ed. Amsterdam; London: Acad. Press, 2009. 615 p.
4. Papathanassiou G., Pavlides S., Christaras B., Pitilakis K. Liquefaction case histories and empirical relations of earthquake magnitude versus distance from the boarder Aegean region // J. Geodynam. 2005. V. 40. P. 257–278.
5. Rodriguez-Pascua M.A., Calvo J.P., De Vicente G., Gomez- Gras D. Soft sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquakes magnitudes during the Late Miocene // Sedimen. Geo. 2000. V. 135. P. 117–135.
6. Wells D.L., Coppersmith K.J. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1994. V. 84. P. 974–1002.

Некоторые аспекты в вопросе о формировании коры выветривания на Тургоякском месторождении каолиновых глин

Георгиевский А.А.* (РУДН им.П.Лумумбы, ge.geo2015@gmail.com),
Жегалло Е.А. (ПИН РАН, ezheg@paleo.ru),
Георгиевская К.А. (МГУ, geo.klasha@yandex.ru)

Аннотация

На месторождении каолиновых глин «Тургоякское», были проведены геолого-картировочные работы. По окончании работ получены представления о геологическом строении месторождения. Оно представляет собой кору выветривания, сформированную по кремнисто-глинистым сланцам среднедевонского возраста кондратьевской толщи [4]. Образцы, отобранные из нижней, средней и верхней частей разреза месторождения были тщательно изучены при помощи методов сканирующей электронной микроскопии и микрозондового анализа. Полученные данные смогут наиболее подробно охарактеризовать процессы формирования коры выветривания и установить факторы, способствующие этим процессам.

Ключевые слова

Кора выветривания, электронная микроскопия, бактериальные формы, микрозондовый анализ

Теория

Тургоякское месторождение каолиновых глин располагается в окрестностях города Миасс Челябинской области, в 3 км западнее центра. С тектонической точки зрения, оно расположено в пределах зоны Главного Уральского разлома и является частью гигантской пластины, заключенной в серпентинитовый меланж [2,3], а в локальном отношении представляет собой опущенный блок размерами 1000 на 300 м.

При проведении геологического картирования было установлено, что на месторождении сформирован неполный профиль коры выветривания по кремнисто-глинистым сланцам. В нижних частях бортов карьера, в выветрелых сланцах, прослеживаются структурные элементы материнских пород, а в некоторых местах сохранены в слабой степени преобразованные коренные сланцы. Выше по разрезу наблюдается переход от слабо измененных пород к сильно измененным, представленным глинами разных цветовых окрасок - от белых к малиновым и оранжевым. Сверху кора выветривания ограничена угловым несогласием с темными, черными озерными отложениями, предположительно четвертичного возраста.

В ходе работ отобраны образцы практически неизмененных, слабо измененных и сильно изменённых пород из разных точек разреза, с таким расчетом, чтобы охватить основные этапы формирования профиля коры выветривания. В лабораторных условиях проведена пробоподготовка – образцы, размерами не более чем 2 на 2 см, закреплялись на «столиках» (небольших металлических шайбах) и напылялись золотом для лучшей электропроводимости. Основная часть исследований выполнялась на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 с установленным микроанализатором INCA.

В процессе изучения удалось выявить закономерное изменение минерального состава в отобранных образцах в зависимости от степени их выветренности. Так, в образцах, представляющих практически неизмененные породы месторождения, отмечается почти полное отсутствие минералов группы глин, таких как монтмориллонит и каолинит. Такие породы сложены в основном слюдами, полевыми шпатами и кварцем. Однако, в образцах

слабо измененных глинистые минералы начинают проявляться более интенсивно – появляются беспорядочные расплывчатые массы монтмориллонита, активно развивающегося по основным породообразующим минералам (рис. 1а), фиксируются уплотненные шестиугольные пластинки каолинита (рис. 1б), развивающегося по полевым шпатам. В породах, претерпевших наиболее интенсивные изменения, глинистые минералы имеют наиболее широкое распространение. При этом,

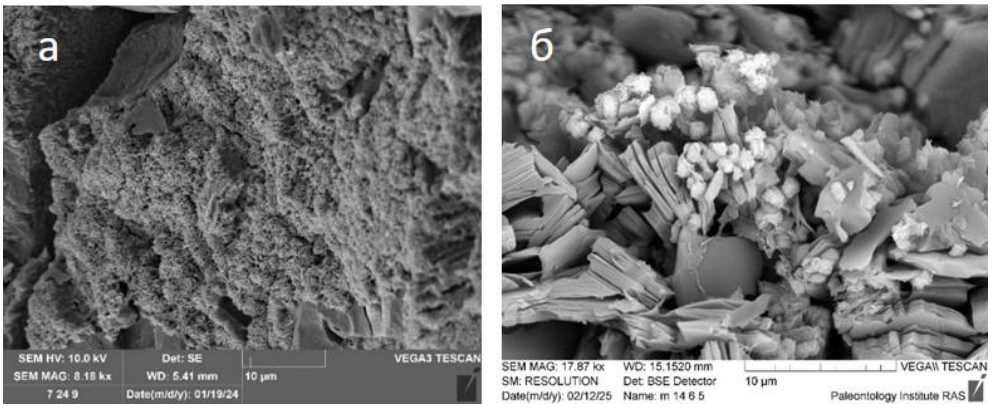


Рисунок 1. а - монтмориллонит, сформированный по породообразующим Минералам; б - кристаллы каолинита в виде спрессованных пластинок

монтмориллонит отмечается так же и в связи с каолинитом, формируя на его пластинчатых кристаллах свои агрегаты (рис. 2). В некоторых случаях, по данным

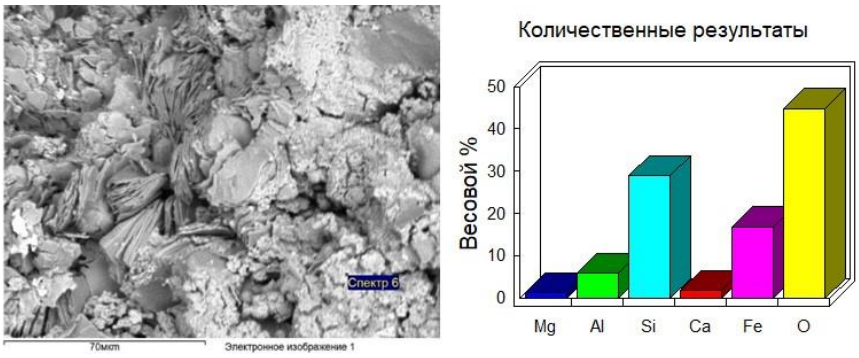


Рисунок 2. Монтмориллонит, образовавшийся по каолиниту и его химический состав

микрозонда, в кристаллах каолинита появлялись незначительные примеси калия, сохранившиеся, по всей видимости, при преобразовании полевых шпатов в каолинит, что может свидетельствовать о высокой скорости химического обмена в процессе преобразования материнских минералов в глинистые (рис. 3). Еще одним немаловажным аспектом является наличие во всех образцах минерализованных бактериальных остатков. Прослеживается закономерная тенденция увеличения их количества и разнообразия от образцов практически неизмененных к сильно измененным. Остатки представлены минерализованными бактериями и следами их жизнедеятельности: бактериальными пленками и биогенными постройками [1]. Последние встречаются в основном в образцах слабо измененных и представляют собой массу сфероподобных образований, состоящих из плотного ряда спрессованных изгибаемых пластинок (рис. 4а). В сильно измененных образцах такие постройки фрагментарно замещаются монтмориллонитом (рис. 4б).

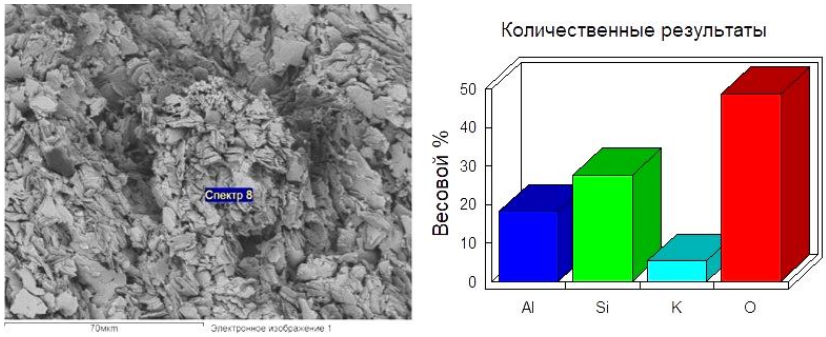


Рисунок 3. Агрегат каолинита, в химическом составе которого присутствуют остаточные содержания калия

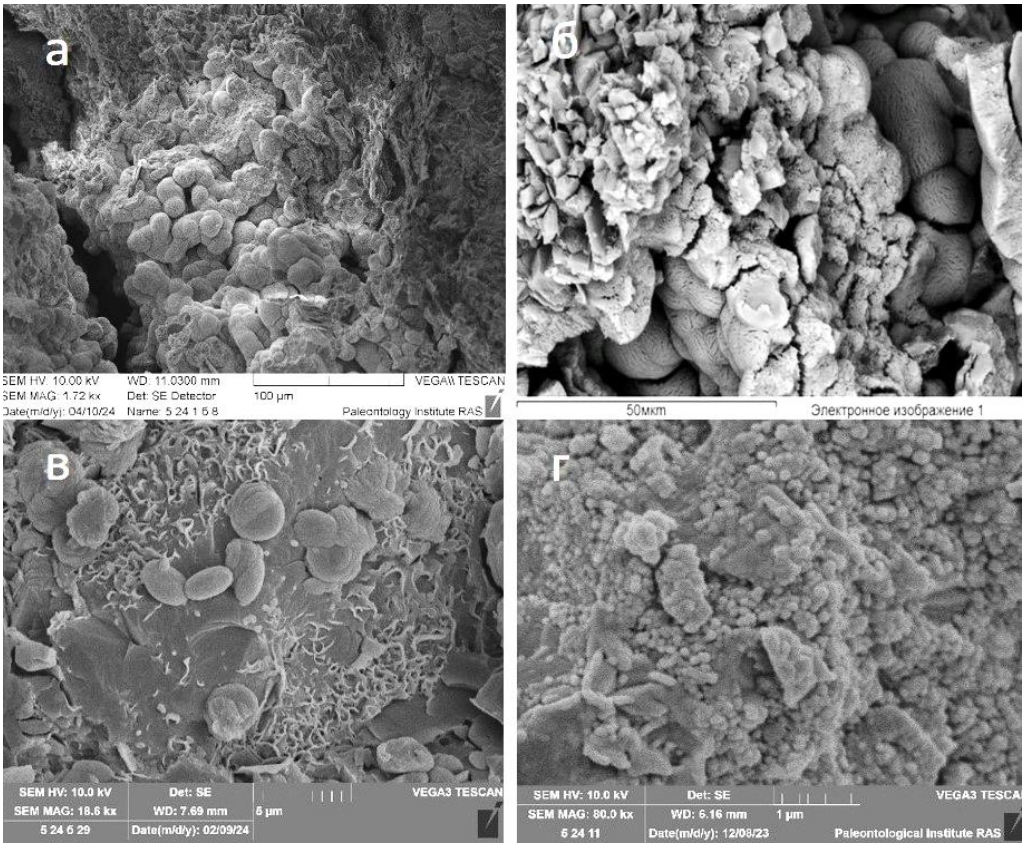


Рисунок 4. а - биогенные сфероподобные постройки; б - биогенные постройки и развивающийся по ним монтмориллонит; в - Ti-содержащие минерализованные дисковидные бактерии; г - Fe-содержащие минерализованные палочковидные и шароподобные бактерии

Минерализованные бактерии встречаются в виде колониальных скоплений во всех образцах, но в практически неизмененных – в меньшей степени. По химическому составу выделяются титаносодержащие и железосодержащие бактериальные псевдоморфозы. Первые были обнаружены в виде округлых дисковидных тел в слабоизмененных породах (рис. 4в). Вторые представлены различными палочковидными и шароподобными формами, и были зафиксированы почти во всех изучаемых объектах (рис. 4г).

Во многих случаях отмечается пространственная связь между появлением бактериальных остатков и новообразованными минералами. При этом, наиболее активно себя

проявляет минерал монтмориллонит, который зачастую начинает формироваться в неестественных для себя местах – например, на зернах кварца (рис 5).

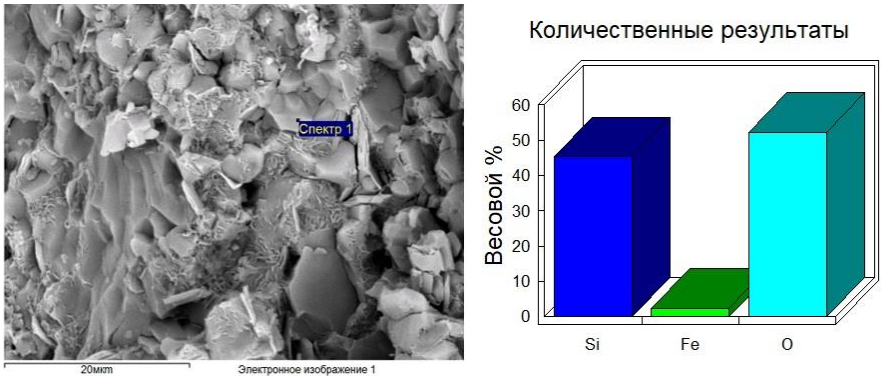


Рисунок 5. Развивающийся по кварцу монтмориллонит, представленный разрозненными чешуйками. Присутствие железа в кварцевом зерне, возможно, связано с появлением затравок монтмориллонита

Выводы

По итогам наблюдений можно утверждать, что биота в активной степени вносит свой вклад в формирование новых минералов на Тургоякском месторождении каолиновых глин, транспортируя и аккумулируя химические соединения. Она зафиксирована во всех частях коры выветривания, что может свидетельствовать о широком участии бактерий в ее формировании начиная с самых ранних этапов.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность сотруднику Палеонтологического института РАН – Ракитову Роману Анатольевичу за консультацию и предоставленную возможность воспользоваться оборудованием кабинета приборной аналитики.

Библиография

1. Астафьева М.М., Жегалло Е.А. Ривкина Е.М и др. Бактериальная палеонтология 2021г.
2. Аулов Б. Н., Владимирцева Ю. А., Гвоздик Н. И. и др. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации. Лист N-40-XII (Златоуст). Масштаб 1: 200 000. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 365 с.
3. Тихомиров П. Л., Федоров Т. О., Борисенок В. И., Дегтярев К. Е. Уральская полевая геологическая практика. Кн. 2. Описание учебных объектов. М.: Геологический факультет МГУ, 2001. 86 с.
4. Черноостровец А.Н. и др. Тургоякское месторождение флюсовых известняков на Южном Урале. Отчет о доразведке проведенной Миасской ГРП в 1984–87 гг, с подсчетом запасов по состоянию 01.01.1987 г.

Особенности диагностики двух желтых бриллиантов

Васильев Е.А.* (СПГГИ, vasilev_ea@pers.spmi.ru),
Грязнов П.В. (ООО «Алмазный НТК),
Ковков Р.В. (ООО «Алмазный НТК)

Аннотация

Проведено комплексное изучение двух желтых бриллиантов с огранкой «овал» и КР 57 для определения их природного или синтетического происхождения. Установлено, что желтая окраска алмаза обусловлена С дефектами с концентрацией до 7 ppm, концентрация азота в форме А центров – до 400 ppm, в спектрах ИК поглощения полоса B' b линия 3107 $см^{-1}$ не выделяется. В спектрах ФЛ при возбуждении 785 нм выявляется только слабая полоса H2. При возбуждении 488 нм регистрируется система H3, линии 524 и 546 нм. При возбуждении 360 помимо в спектрах регистрируется N3 и система линий с максимумами 523.7, 544.2, 561.4, 580.4 нм, которые ранее описаны в спектрах HPHT алмазов, выращенных в системе C-Co. Алмазы содержат субмикронные включения, равномерно распределенные в объеме. В катодолюминесценции поверхность бриллиантов однородна, за исключением квадратной области у края площадки и на павильоне с четкими полосами пластической деформации, типичными для природных алмазов. Эта область отмечается как на павильоне, так и на площадке, по – видимому она проходит по всему объему бриллианта.

Таким образом, исследованные бриллианты имеют признаки как природных, так и синтетических. По-видимому, эти алмазы выращены на объемной природной затравке в системе C-Co, однако особенности такой технологии в открытых источниках не приводятся.

Ключевые слова

Алмаз, бриллиант, азот, фотолюминесценция, катодолюминесценция

Теория

Природный алмаз отличается удивительным разнообразием морфологии кристаллов и дефектов кристаллической структуры. Известны природные кристаллы зеленого, розового, сиреневого, синего, голубого, черного цвета, однако большинство кристаллов фантазийных светов – желтые. Желтая окраска кристаллов в большинстве случаев обусловлена низкотемпературными азотными дефектами С (одиночные атомы азота) или азотно-вакансионными N3 [1]. Реже встречается желтая окраска за кристаллов с примесью никеля [4]. Синтетические кристаллы с азотом - желтого цвета, и эта окраска является одним из индикаторов возможной искусственной природы бриллианта. Регистрация дефектов N3 в спектрах фотолюминесценции (ФЛ) или оптического поглощения принимается геммологами в большинстве случаев как достаточный индикатор природного происхождения бриллианта. Однако, в некоторых случаях природные алмазы содержат одновременно и С и N3 дефекты, что указывает на сложную ростовую историю и неоднородность кристалла [2, 6]. В работе проведено комплексное изучение двух бриллиантов, которые при тестовом исследовании имели признаки как природного, так и синтетического происхождения.

Спектры поглощения ИК диапазона регистрировались на спектрометре VERTEX-70 с микроскопом Hyperion2000 при разрешении 1 $см^{-1}$. По ним определялись концентрация азота в форме дефектов А (N_A) с известным коэффициентом пропорциональности 16,5 ppm×cm с поглощением на 1280 $см^{-1}$ [7]. Регистрация спектров поглощения бриллиантов может проводиться несколькими способами: через площадку и колету по оси камня, через грани рундиста поперек оси, через грани павильона в режиме отражения. При изучении неоднородных алмазов результаты, полученные в разной геометрии могут отличаться.

Для выявления неоднородностей и цвета фотолюминесценции (ФЛ) регистрировались изображения при возбуждении 360, 250 и 220 нм на приборе AURORA VIEW PRO (**Рисунок 1**). Изображения панхроматической катодолюминесценции получены в ЦИИ Института Карпинского на электронном микроскопе CamScan MX2500S.

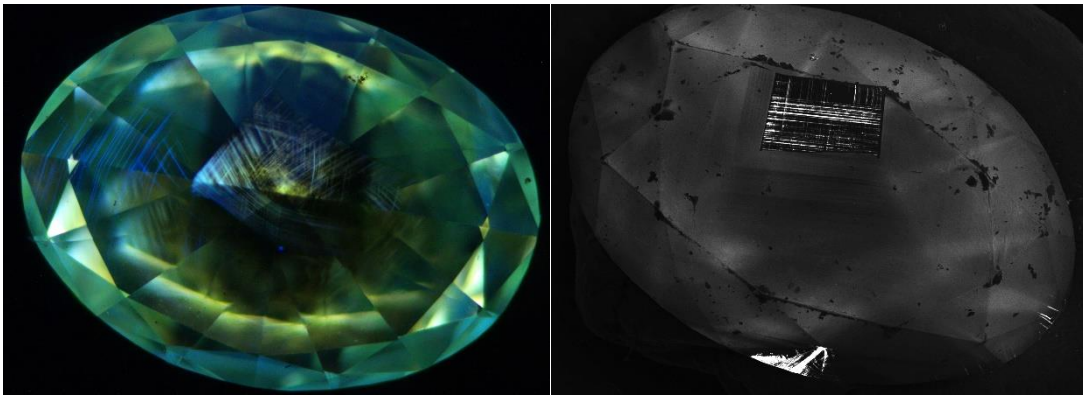


Рисунок 1. Изображение бриллианта «овал» при возбуждении 220 нм в приборе AURORA VIEW PRO со стороны рундиста и в панхроматической катодолюминесценции со стороны площадки

Спектры ФЛ с возбуждением источником 360 нм, лазерами 488 нм и 787 нм регистрировались на спектрометре InVia Renishaw при 77К. ФЛ в БИК диапазоне с возбуждением 787 нм редко используется для характеризации алмазов, несмотря на высокую информативность: в диапазоне 800-1050 нм выявляются дефекты структуры радиационной, деформационной природы, обширный перечень систем Ni-содержащих дефектов. Преимуществом ФЛ как аналитической техники изучения алмаза является высокая чувствительность, и широкий перечень анализируемых параметров. Методическая сложность ФЛ спектроскопии связана с качественным характером проводимых измерений, зонально-секториальными неоднородностями в большинстве кристаллов, наложении систем.

В бриллианте «овал» концентрация азота в форме А дефектов варьировалась от 85 до 220 ppm в разной геометрии регистрации. В круглом бриллианте концентрация азота в форме А дефектов достигает 410 ppm, амплитуда полосы 1344 $см^{-1}$ составила 0.2 $см^{-1}$ что соответствует концентрации С центров около 7 ppm. Типичные для природного алмаза полосы 3107 $см^{-1}$ и В2 в спектрах поглощения не выявлены.

В катодолюминесценции поверхность бриллиантов однородна, за исключением квадратной области у края площадки («овал») и на павильоне с четкими полосами пластической деформации, типичными для природных алмазов. Эта область отмечается как на павильоне, так и на площадке, по-видимому, она проходит через весь объем бриллианта. Границам этой области соответствует параллельная слабоконтрастная катодолюминесценция в прилежащем объеме кристалла. На «овале» у рундиста выявляется вторая четко ограниченная квадратная область со штриховкой пластической деформации. При изучении зональности с возбуждением 220 нм ближе к рундисту выявляется две пересекающихся системы параллельных голубых линий, которые можно считать продолжением линий пластической деформации в квадратной области.

В спектрах ФЛ при возбуждении 785 нм выявляется только полоса Н2 на уровне интенсивности комбинационного рассеяния второго порядка. В спектрах ФЛ не выявляется дублет 883/885 нм, типичный для кристаллов с примесью никеля, в том числе синтетических, выращенных в системе C-Fe-Ni. При возбуждении 360 нм при комнатной температуре спектре ФЛ выделяются система N3(415 нм), максимумы при 525 и 546 нм (**рисунок 2 а**). При

возбуждении 488 нм регистрируется система H3(503 нм), линии 523.7 и 544.2 нм, 637 нм (NV^-). В спектрах не выявляется система 740 нм (SiV), характерная для алмаза, выращенного по технологии CVD. При возбуждении 360 помимо N3 в спектрах регистрируется система линий с максимумами 523.7, 544.2, 561.4, 580.4 нм (рисунок 2 б). Ранее эти линии были выявлены в кристаллах, выращенных в системе C-Co [3,5], они не описаны в природных алмазах.

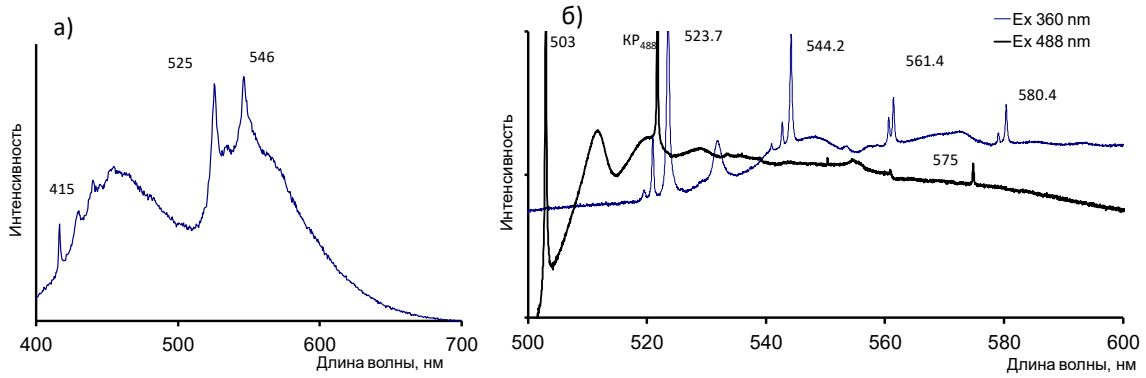


Рисунок 2. Спектры люминесценции бриллианта «овал»: а) при возбуждении 360 нм (300 K); б) при возбуждении 360 и 488 нм (79 K); KP_{488} – линия комбинационного рассеяния

Алмазы содержат множественные субмикронные включения, без четкой локализации, равномерно распределенные в объеме. В катодолюминесценции поверхность бриллиантов однородна, за исключением квадратной зоны в центре с четкими полосами пластической деформации, типичными для природных алмазов. Параллельно границам зоны отмечается слабоконтрастная зональность катодолюминесценции в прилежащем объеме кристалла. В «овале» ближе к рундисту выявляется вторая четко ограниченная область со штриховкой пластической деформации. При изучении зональности с возбуждением 220 нм ближе к рундисту выявляется система параллельных линий голубого цвета.

Отсутствие линии поглощения на 3107 $см^{-1}$ свидетельствует в пользу синтетической природы основного объема бриллианта. Изученные бриллианты содержат часть алмаза, который однозначно можно отнести к природному, так как он имеет штриховку пластической деформации по плоскостям {111}. Такие особенности не были воспроизведены в синтетических алмазах. Кроме того, в спектрах ФЛ выделяется системы N3, которая используется в геммологи как индикатор природного происхождения алмаза, хотя возникает и в синтетических после отжига.

Аналогичные по зональности и некоторым спектроскопическим особенностям природные алмазы описаны в литературе [2,4,6]. Такая сложная зональность может возникать при смене механизма роста с послойного на тангенциальный. Внутренние зоны таких кристаллов могут иметь яркую голубую люминесценцию с системой N3, полосы пластической деформации, а внешние зоны – очень однородны. Могут быть и обратные случаи при смене механизма роста с тангенциального на нормальный. Однако в случае природных кристаллов контрастные зоны не могут иметь в сечениях формы прямоугольника, а в объеме – параллелепипеда. По-видимому, изученные алмазы выращены на объемной природной затравке в системе C-Co. Механизм роста кристалла от объемной затравки отличается высокой скоростью, с чем связано отсутствие обычной для HPHT алмазов секториальности по {111}, {100}, {110}. Природа синих полос на рундисте может быть обусловлена наследованием структурных нарушений в природном алмазе затравки, и требует дальнейших исследований.

Выводы

Таким образом, исследованные бриллианты имеют признаки как природного адлмаза, обусловленные крупной затравкой, так и синтетических от основного объема. По-видимому, эти алмазы выращены на объемной природной затравке в системе C-Co, однако особенности такой технологии в открытых источниках не приводятся.

Благодарности

Авторы выражают благодарность А.В. Антонову (Институт Карпинского) за регистрацию изображений катодолюминесценции.

Библиография

1. Breeding C. M., Eaton-Magaña S., Shigley J. E.Naturally Colored Yellow and Orange Gem Diamonds: The Nitrogen Factor // Gems & Gemology, Summer. –2020. – V. 56. – N 2.
2. Hainschwang, T. Natural, untreated diamonds showing the A, B and C infrared absorptions (“ABC diamonds”), and the H2 absorption / T. Hainschwang, F. Notari, E. Fritsch, L. Massi // Diamond Relat. Mater. – 2006. – N 15. – P. 1555–1564.
3. Kupriyanov I.N., Gusev V.A., Pal'yanov Yu.N., Borzdov Yu.M., Sokol A.G., Photoluminescence excitation study of cobalt-related optical centers in high-pressure high-temperature diamond //Diamond Relat. Mater. – 2001. – V10. - N1. – P. 59-62.
4. Lai M. Y., Hardman M F., Eaton-Magaña S., Breeding C. M., Schwartz V. A., Collins A. T., Spectroscopic characterization of diamonds colored by the 480 nm absorption band. // Diamond and Related Materials. – 2024. – V. 142.
5. Lawson S. C., Kanda H., Watanabe K., Kiflawi I., Sato Y., Collins, A. T. Spectroscopic study of cobalt-related optical centers in synthetic diamond.// Journal of Applied Physics. – 1996. – V. 79. N 8. – 4348.
6. Vasilev E.A., Zedgenizov D.A., Klepikov I.V. The enigma of cuboid diamonds: the causes of inverse distribution of optical centers within the growth zones // Journal of Geosciences. – 2020 – V. 65. – N. 1. – P. 59 – 70.
7. Zaitsev, A.M. Optical Properties of Diamond: Data Handbook / A.M. Zaitsev. – Springer, 2001. – 502 p.

Использование in-situ SIMS метода измерения $\delta^{18}O$ для отбраковки натуральных корундов от синтетических аналогов

Сорокина Е.С. (ГЕОХИ РАН, esorokina@geokhi.ru)*

Аннотация

Природные разновидности корунда α-Al2O3 рубин и сапфир являются наиболее дорогими драгоценными камнями после алмаза. Редкость этих природных минералов послужила стимулом к разработке различных методов их синтеза и термо-облагораживания.

В работе представлены данные in situ SIMS анализов $\delta^{18}O$. Изученные сапфиры, облагороженные методом Be-диффузии, показали как положительный (до +12,82‰), так и отрицательный изотопный состав кислорода (от -0,85‰). Анализы всех изученных синтетических камней, выращенных гидротермальным методом, показали отрицательный изотопный состав кислорода, варьирующий от -5,19 ± 0,12‰ до -14,54 ± 0,13‰ $\delta^{18}O$. Эти значения нехарактерны для природных аналогов. Отрицательные значения $\delta^{18}O$ также были получены для некоторых сапфиров, выращенных методом плавления в пламени. Для рубинов, полученных данным способом, напротив, характерны сильно положительные значения δ18O > +28,5‰, которые также нетипичны для природного корунда.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изотопный анализ кислорода, полученный in situ методом SIMS, является перспективным для разработки методики разделения природного корундового материала от синтетических аналогов.

Ключевые слова

Рубин, сапфир, in-situ SIMS, $\delta^{18}O$

Источники финансирования

Данные исследования были профинансированы госзаданием ГЕОХИ РАН

Теория

Природные разновидности корунда α-Al_2O_3 рубин и сапфир являются наиболее дорогими драгоценными камнями после алмаза (Graham et al. 2008). Их высокая стоимость связана с редкостью нахождения экономически значимых месторождений, пригодных к эксплуатации. Так, только 15 месторождений в мире производят рубины и сапфиры, пригодные для огранки (Hughes 2017). Редкость этих природных минералов послужила стимулом к разработке различных методов их синтеза и термо-облагораживания.

Практически все физические характеристики (показатели преломления, плотность и т. д.) синтетического корунда похожи на его природные аналоги. Поэтому в последние десятилетия наиболее известным неразрушающим методом их разделения оставалась оптическая микроскопия. Наблюдение внутренних особенностей, таких как твердофазовые включения и др., может помочь охарактеризовать его природное или синтетическое происхождение. Относительным прорывом в изучении геохимии драгоценных корундов явилось активное внедрение современных аналитических методов. В настоящее время наблюдается экспоненциальный рост количества геохимических особенностей рубинов и сапфиров, которые позволили разработать методики для их отличия от синтетических аналогов. Так С. Мюлмейстер и соавторы впервые в 1998 г. применили энергодисперсионную рентгеновскую флуоресценцию (EDXRF) для исследования корунда. Данное исследование показано отсутствие Ga в синтетическом корунде, что было использовано в качестве характеристики для его отбраковки от природных аналогов (Muhlmeister et al. 1998). Однако, как показывали проведенные исследования, некоторые искусственные камни все же могут

содержать небольшое количество Ga до 63,2 мкг/г, если анализировать их другим геохимическим методом – масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией (LA-ICP-MS). LA-ICP-MS имеет более низкие пределы обнаружения, чем EDXRF, и производит плазму для анализа из небольшой части материала размером примерно до 100 мкм. Благодаря отсутствию специальной подготовки его можно применять даже для ограненных камней. Поэтому LA-ICP-MS широко используется в геммологии с начала 2000-х гг. Среди его применений – диагностика корунда, облагороженного Be-диффузионным методом, с помощью анализа содержания Be (что невозможно для EDXRF). Данный элемент отсутствует в природных корундах.



Рисунок 1. Вторичный ионный масс-спектрометр в Университете г. Гейдельберг, Германия

По сравнению с LA-ICP-MS, вторичная ионная масс-спектрометрия (SIMS) имеет гораздо более низкий предел обнаружения и позволяет измерять один изотоп с разными массами, что сложно из-за зависящих от массы помех при LA-ICP-MS измерениях. Впервые валовые анализы кислородной изотопии ($\delta^{18}O$) методом SIMS были применены к природному корунду для диагностики генетических особенностей его образования (Giuliani et al. 2005, Vysotskiy et al. 2015). В настоящее время данный метод не требует значительной пробоподготовки и может быть использован in situ.

В работе представлены данные in-situ SIMS анализов $\delta^{18}O$ корунда, проведенные для разработки методики отбраковки данного минерала от синтетических аналогов. Анализы выполнены в лаборатории Университета г. Гейдельберг (рис. 1) в рамках совместных исследований ГЕОХИ РАН и Университета г. Майнц (Германия). Изучены 5 образцов корунда, облагороженного с помощью Be-диффузии, и 16 синтетических корундов, выращенных методом плавления в пламени и гидротермальным методом. Облагороженные (Be-диффузионные) сапфиры показали как положительный, так и отрицательный изотопный состав кислорода: в 2 образцах были получены значения от до +12,82 ±0,10‰ $\delta^{18}O$, а в 3 образцах обнаруженные значения варьировали до -0,85 ± 0,12‰ $\delta^{18}O$. С другой стороны, анализы всех изученных синтетических камней показали отрицательный изотопный состав

кислорода, варьирующий от -5,19 ± 0,12‰ до -17,46 ± 0,13‰ $\delta^{18}O$ (исключение – рубины, полученные методом плавления в пламени со значениями δ18O > +28,5‰). Эти значения нехарактерны для природных аналогов, где $\delta^{18}O$ варьирует от -1,7 до +23,5‰. Только одно из известных месторождений рубинов в Карелии демонстрирует экзотический отрицательный изотопный состав кислорода ок. –29‰ $\delta^{18}O$ за счет взаимодействия с метеорными водами. Однако это значение ниже, чем у синтетических камней.

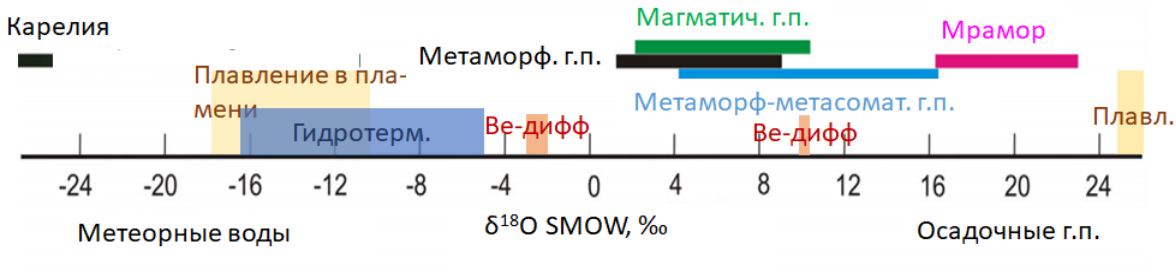


Рисунок 2. Значения δ18O в природных (по Vysotskiy et al. 2015) и синтетических корундах (разноцветные прямоугольники, данная работа)

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изотопный анализ кислорода SIMS является перспективным методом разделения природного корунда от синтетических аналогов.

Благодарности

Автор выражает признательность за помощь в выполнении аналитических исследований и подробные консультации по теме работы коллегам из Университетов г.Гейдельберг и г. Майнц – Др. Т.Хэгер, Т.Людвиг и проф. Р.Е. Ботчарникову.

Библиография

1. Giuliani G. et al. (2005) Oxygen isotope composition as a tracer for the origins of rubies and sapphires. Geology 33, 249–252
2. Graham I. et al. (2008) Advances in our understanding of the gem corundum deposits of the West Pacific continental margins intraplate basaltic fields. Ore Geology Reviews 34, 200–215
3. Hughes R.W. (2017) Ruby & sapphire: a gemologist's guide. RWH Publishing/Lotus Publishing, 816 p.
4. Muhlmeister S., Fritsch E., Shigley J.E., Devouard B., Laurs B.M. (1998) Separating Natural and Synthetic Rubies on the Basis of Trace-Element Chemistry. Gems & Gemology 34, 80 – 101
5. Visotskiy S.V., Nechaev V.P., Kissin A. Yu., Yakovenko V.V., Ignat'ev A.V., Velivetskaya T.A., Sutherland F.L., Agoshkov A.I. (2015) Oxygen isotopic composition as an indicator of ruby and sapphire origin: A review of Russian occurrences Ore Geology Reviews 68, 164 – 170

Новый природный сульфовисмутид палладия PdBiS, образующий твёрдый раствор с падмаитом PdBiSe в уран-благороднометальных рудах месторождения Средняя Падма (Карелия)

Стрельников М.В.* (МГУ им. М.В. Ломоносова, sva240319600@yandex.ru),
Япаскурт В.О. (МГУ им. М.В. Ломоносова, yvo72@geol.msu.ru),
Гекимянц В.М. (Минералогический Музей им. А.Е. Ферсмана РАН, x2128506@gmail.com),
Пеков И.В. (МГУ им. М.В. Ломоносова, igorpekov@mail.ru)

Аннотация

Сделана находка ранее неизвестного как в природе, так и среди синтетических соединений сульфовисмутида палладия с идеализированной формулой PdBiS – S-доминантного аналога падмаита PdBiSe. Эти минералы образуют агрегаты (до 80 мкм) зональных кристаллов субизометричной формы размером от 5 до 40 мкм в ассоциации с клаусталитом, галенитом, малышевитом, айкинитом?, фрудитом, соболевскитом, самородными золотом и висмутом. Химический состав минералов ряда падмаит-сульфопадмаит варьирует от чистого падмаита до «сульфопадмаита» с формулой $Pd_{1.07}Bi_{1.00}(S_{0.94}Se_{0.06})_{\Sigma 1}$. В природной системе PdBiSe-PdBiS реализуется протяженный ряд твердых растворов, который, по всей видимости является изоморфным и полным. Эти данные расширяют представления не только о минералогии палладия на месторождении Средняя Падма, но и о соединениях в системе Pd-Bi-(халькоген), использующихся при изготовлении сверхпроводников (PdBiSe) и катализаторов (PdBiTe).

Ключевые слова

Сульфовисмутид палладия, падмаит, твёрдый раствор PdBiS–PdBiSe, изоморфизм S-Se, минералогия палладия, месторождение Средняя Падма

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова, госбюджетная тема № 121061600049-4.

Теория

Изоморфизм в системе PdBiSe–PdBiS не изучен. Среди девяти природных объектов, из которых описан на сегодня падмаит PdBiSe, только в месторождении Бурако-ду-Ору (Бразилия) [7] он содержит небольшую примесь S: 0.11 мас.%. Согласно литературным данным, в остальных объектах, включая месторождение Средняя Падма, где этот минерал был открыт [2], он не содержит примеси S S в определяемом электронно-зондовым методом количестве.

Соединение PdBiSe, являющееся синтетическим аналогом падмаита (кубический, со структурой типа ульманнита NiSbS), было неоднократно синтезировано. За последнее десятилетие появилась целая серия работ, посвящённых изучению проводимости и сверхпроводимости в этом кубическом селениде палладия и висмута [5, 6 и др.], однако нам не удалось обнаружить ни одного исследования, посвящённого изучению изоморфизма в синтетической системе PdBiSe-PdBiS. Более того, не встречено ни единого упоминания о синтезе соединения PdBiS.

Комплексное благороднометально-уран-ванадиевое месторождение Средняя Падма расположено в Медвежьегорском районе Республики Карелия, в 25 км к востоку от села Великая Губа. Ванадиевое оруденение приурочено к ореолам щелочных Na-K метасоматитов, урановые и благороднометальные руды связаны со среднетемпературными слюдисто-

карбонатными жилами, заключёнными в таких метасоматитах [1, 2]. Минералы урана, золота, серебра, платины и палладия в этих жилах тесно ассоциируют с сульфидами и селенидами синца и меди: главным образом, это минералы ряда галенит-клаусталит и халькопирит. Изучением минералогии благороднометально-селенидных руд месторождения Средняя Падма в 1990-хх и 2000-хх годах активно занимались сотрудники СПбГУ и ВИМС [1, 2, 3]. В рамках этих исследований были открыты новые минералы судовиковит $PtSe_2$, малышевит $PdBiCuS_3$ и падмаит PdBiSe [2, 3]. Тем не менее, минералогия этих руд на месторождении и сегодня представляет значительный интерес для исследователей: например, сравнительно недавно там был открыт новый селенид меди, свинца и висмута – селеноджуноит $Cu_2Pb_3Bi_8Se_{16}$ [4].

Исследована серия образцов благороднометально-селенидных руд месторождения Средняя Падма из рабочей коллекции Ю.С. Полеховского, хранящейся в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН. В этих образцах обнаружен ранее неизвестный минерал: аналог падмаита с идеализированной формулой PdBiS (далее «сульфопадмаит»), который формирует здесь с падмаитом протяженный ряд твёрдых растворов.

«Сульфопадмаит» и высокосернистая разновидность падмаита образуют субизометричные зёрна размером от 5 до 40 мкм и их скопления размером до 80 мкм в зальбандах клаусталитовых прожилков (рис. 1 a). Как правило, такие зёрна зональны: отдельные зоны в одном кристалле могут отвечать падмаиту и «сульфопадмаиту». В отражённом свете он изотропен, имеет бледно-жёлтую окраску, иногда со слабым розоватым оттенком. Наиболее тесно он ассоциирует с падмаитом, минералами ряда галенит-клаусталит, малышевитом, айкинитом?, фрудитом, соболевскитом, минералом отвечающим формуле $PtBi_2$, металлическим висмутом, самородным золотом (рис. 1 b), а также с доломитом?, роскоэлитом, кварцем и хромселадонитом. С малышевитом и айкинитом? «сульфопадмаит» нередко образует тонкие (симплектитовые?; рис. 1 b, c) срастания; фрудит, соболевскит и самородное золото иногда выполняют отдельные включения в нём (рис. 1 d).

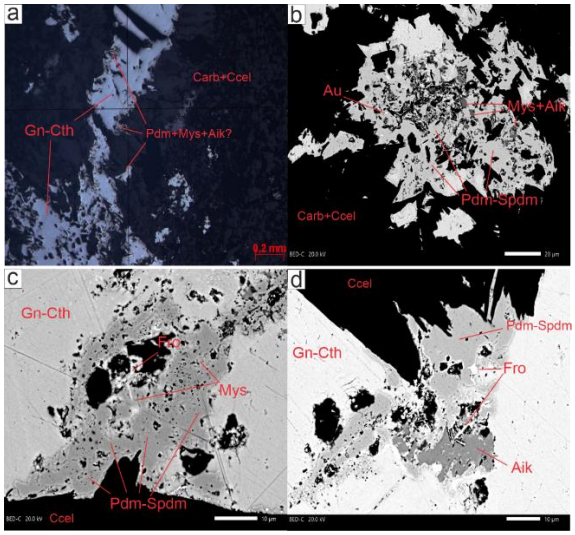


Рисунок 1. a) Агрегат падмаита-«сульфопадмаита», малышевита и айкинита? в зальбандах клаусталитового прожилка. Фото в отражённом свете; все следующие – в отраженных электронах. b) Агрегат падмаита-«сульфопадмаита» и малышевита с включением самородного золота. c) Сросток падмаита-«сульфопадмаита» с фрудитом и малышевитом в минерале ряда галенит-клаусталит. d) Минералы ряда падмаит-«сульфопадмаит» с фрудитом и айкинитом? на краю клаусталитового прожилка. Использованные символы минералов: Gn – галенит; Cth – клаусталит; Carb – карбонатный

минерал; Ccel – хромселадонит; Pdm – падмаит; Spdm – «сульфопадмаит»; Mys – малышевит; Aik – айкинит?; Au – самородное золото; Fro – фрудит

Изучение химического состава минералов ряда падмаит-"сульфопадмаит" проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-6480LV с энергодисперсионным спектрометром INCA X-Maxn. Содержание S в минералах этого ряда варьирует от 0.00% до 8.3 мас.% (рис. 2). Наиболее сернистая разновидность отвечает формуле $Pd_{1.07}Bi_{1.00}(S_{0.94}Se_{0.06})_{\Sigma 1}$, что соответствует S-доминантному аналогу падмаита – новому минералу с идеализированной формулой конечного члена PdBiS.

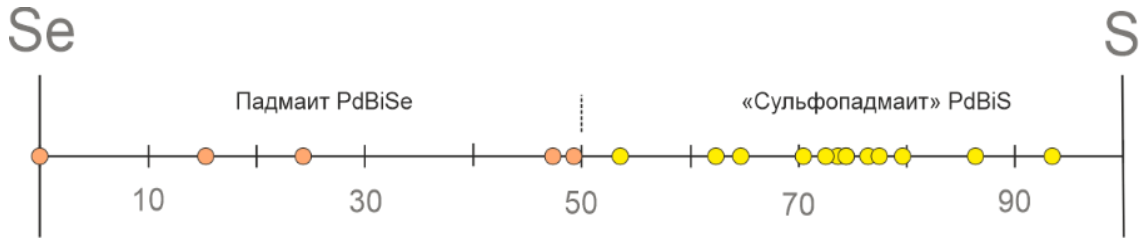


Рисунок 2. Химический состав (в атомных процентах) минералов ряда падмаит-«сульфопадмаит» из месторождения Средняя Падма

Выводы

Таким образом, на месторождении Средняя Падма обнаружена новая минеральная форма палладия: S-доминантный аналог падмаита. Это потенциально новый минеральный вид с идеализированной формулой конечного члена PdBiS. Установить его принадлежность к тому или иному структурному типу рентгенодифракционными методами ещё только предстоит.

«Сульфопадмаит» образует ряд твёрдых растворов с падмаитом: содержание серы в этих соединениях варьирует от 0.00 до 8.3 мас.%, что отвечает ряду, простирающемуся от PdBiSe до $Pd_{1.07}Bi_{1.00}(S_{0.94}Se_{0.06})_{\Sigma 1}$. Мы предполагаем, что этот ряд твёрдых растворов изоморфный (судя по оптической изотропности, "сульфопадмаит" скорее всего кубический) и скорее всего полный. Эта находка не только расширяет представления о благороднометальной минерализации в рудах месторождения Средняя Падма. Вкупе с литературными данными об условиях формирования таких руд [1], это позволяет оценить, хотя бы приблизительно термодинамические параметры для синтеза аналогичных соединений для изготовления материалов с полезными свойствами.

Библиография

1. Леденёва Н.В. Минералогия и условия локализации уран-благороднометалльно-ванадиевого оруденения (Онежский рудный район). Дисс. … канд. г.-м.н. – М.: ВИМС. – 2004. – 137 с. И ссылки в этой работе.

2. Полеховский Ю.С., Волошин А.В., Тарасова И.П., Никитин С.А., Пахомовский Я.А., Меньшиков Ю.П., Крецер Ю.Л., Колычева Т.И. Падмаит PdBiSe – новый селенид палладия и висмута из метасоматитов Южной Карелии // ЗВМО. – 1991. – №. 3. – С. 85-88. И ссылки в этой работе.

3. Полеховский Ю.С., Тарасова И.П., Нестеров А.П., Пахомовский Я.А., Бахчисарайцев А.Ю. Судовиковит – новый селенид платины из метасоматитов Южной Карелии // Доклады АН. – 1997. – Т. 354. – №1.

4. Черников А.А., Чистякова Н.И., Уваркина О.М., Дубинчук В.Т., Рассулов В.А., Полеховский Ю.С. Малышевит $PdBiCuS_3$ – новый минерал из месторождения Средняя Падма в Южной Карелии // Новые данные о минералах. – 2006. – 41.

5. Gekimyants, V.M., Zubkova, N.V., Pekov, I.V., Agakhanov, A.A., Ksenofontov, D.A., Lavrov, O.B., Yapaskurt, V.O., Pautov, L.A., Britvin, S.N., Platonova, N.V., Plechov, P.Y. and

Pushcharovsky, D.Y. (2023) Selenojunoite, IMA 2023-038. CNMNC Newsletter 75 // Mineralogical Magazine. – 2023. – Vol. 87. – C. 955-958.

6. Kakihana, M., Nakamura, A., Teruya, A., Harima, H., Haga, Y., Hedo, M. Split fermi surface properties based on the relativistic effect in superconductor PdBiSe with the cubic chiral crystal structure // Journal of the Physical Society of Japan. – 2015. – Vol. 84. – №. 3. – C. 033701. И ссылки в этой работе.

7. Lv B. Q., Feng Z. L., Zhao J. Z., Yuan N. F., Zong A., Luo K. F., Yu R., Huang Y.-B., Strocov V. N., Chikina A., Soluyanov A.A., Gedik N., Shi Y.-G., Qian T., Ding H. Observation of multiple types of topological fermions in PdBiSe //Physical Review B. – 2019. – Vol. 99. – №. 24. – C. 241104. И ссылки в этой работе.

8. Menez J., Botelho N. F. Ore characterization and textural relationships among gold, selenides, platinum-group minerals and uraninite at the granite-related Buraco do Ouro gold mine, Cavalcante, Central Brazil //Mineralogical Magazine. – 2017. – Vol. 81. – №. 3. – C. 463-475.

Подсекция 2.1. Геология месторождений полезных ископаемых

Геологическое особенности золотого оруденения Зармитанского рудного поля

Бектемиров М.С. (Университет геологических наук, г. Ташкент, Узбекистан, bektemirovmirzohid32@gmail.com),
Жураев М.Н. (Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, jorayev.mexroj@tdtu.uz)

Аннотация

Зармитанское рудное поле занимает юго-восточную экзо- и эндоконтактную часть многофазного Кошрабатского интрузивного массива южного крыла Северо-Нуратинского хребта. В геологическом строении рудного поля участвуют метаморфизованные палеозойские осадочные формации и породы верхнепалеозойского Кошрабатского гранитоидного интрузива. В формировании золотого оруденения региона важную роль играют постмагматические процессы позднего палеозоя, в частности гидротермальные растворы. Полезные ископаемые развиты в эндо- и экзоконтакте Кошрабатского интрузива. Терригенные отложения язбулакской свиты играют большую роль в накоплении руд в экзоконтакте.

Ключевые слова

Золота, Кошрабатский интрузив, Зармитанское рудное поле, Язбулакская свита, оруденение, граносиениты, Нуратинский хребет

Теория

Зармитанское рудное поле географически расположено в Кошрабатском районе Самаркандской области, в 120 км от города Самарканда. Занимает юго-восточную экзо-и эндоконтактную часть многофазного Кошрабатского интрузивного массива южного крыла Северного Нуратинского хребта. Первые сведения о наличии золота в юго-восточной части Кошрабатского интрузива относятся к 1953 году и приведены в работах И. Х. Хамрабаева. Он первым выделил золото-арсенопиритовую формацию в Нуратауских горах [6].

В геологическом строении центральной части Северного Нуратинского хребта присутствуют осадочные, вулканические и метаморфические горные породы, возраст которых варьируется от верхнего протерозоя до верхнего палеозоя. Кушработский интрузив прорвал песчаниково-сланцевые отложения, относящиеся к ландовер-вендлокскому ярусу ордовика и силура. Радиологический возраст, определённый методом K-Ar, составляет 266-271 млн лет, в среднем 269 млн лет, что соответствует позднему карбону – ранней перми. Часть интрузива, выходящая на поверхность земной коры, занимает площадь 190 км², большая часть его остается под слоем почвы [3].

Вмещающие породы рудного поля представлены вулканогенно-терригенными образованиями раннесилурийской язбулакской свиты, граносиенитами, составляющими основную часть гранитоидов Кушрабадского интрузива, а также рудоносными кварцевыми жилами, развитыми в контактных зонах этой свиты. Джазбулакская свита состоит из глинистых сланцев, алевролитов, песчаников, в составе которых присутствуют известняковые линзы, туфовые песчаники, туфоалевролиты и межпластовые силлообразные диабазовые порфириты, а также габбро-диабазы. Отложения свиты образовали изоклинальные складки в западно-северо-западном направлении и подверглись региональному метаморфизму (серицит-хлоритовая стадия зеленосланцевой фации), а также термальному воздействию, вызванному внедрением Кушрабатского интрузива [1, 4].

Кушрабатский интрузив является трехфазным. Его первая фаза состоит из сиенитов, габбро-сиенитов, габбро и эссекситов. Вторая фаза представлена биотитом, роговой обманкой и биотитовыми граносиенитами. Третья фаза включает в себя граносиениты, гранит-порфиры, пегматоидные граниты, аплиты и гранит-аплитовые дайки.

Породы, составляющие первую фазу интрузии, встречаются в центральной части массива в виде ксенолитов. Размеры этих ксенолитов, состоящих из габбро-сиенитов, габбро и эссекситов, варьируют от нескольких метров до 100-200 метров в поперечнике. Ксенолиты относительно крупных размеров немногочисленны и сосредоточены в основном в полосах массива шириной 2-3 км, простирающихся с юго-востока на северо-запад. Амфиболовые сиениты, составляющие основную часть этой фазы, разделены граносиенитами последующей фазы на блоки размером до 0,5 кв. км. Эти блоки контактируют либо с граносиенитами последующей второй фазы, либо ограничены тектоническими разломами, либо имеют четкие и извилистые магматические контакты. Структура сиенитов варьируется от мелкозернистой до крупнозернистой.

Горные породы, составляющие вторую фазу, занимают 80-85% от общего объема интрузии. Они представлены средне- и крупнозернистыми биотит-амфиболовыми граносиенитами, которые в большинстве случаев характеризуются порфировидными выделениями полевых шпатов. Минеральный состав граносиенитов: кварц - 20%, калиевый полевой шпат (микроклин) - 32%, плагиоклаз (олигоклаз) - 37%, роговая обманка - 2%, биотит - 7%. Из акцессорных минералов встречаются ильменит, титаномагнетит, циркон, апатит и другие. В эндоконтактовой зоне шириной 50-70 м наблюдается значительное увеличение содержания биотита и, наоборот, уменьшение содержания амфиболов. Усиливается порфировидность структуры. Вдоль восточного эндоконтакта интрузии встречаются гранатовые и турмалиновые разновидности мелко- и среднезернистых граносиенитов.

Породы, слагающие третью фазу интрузии, представлены небольшими штоками и дайками гранитов, переходящих в биотит-амфиболовые граносиениты, граносиениты, а также дайками аплитов, гранит-аплитов и пегматоидных гранитов. Наиболее распространены дайки граносиенитов, аплитов и пегматоидных гранитов. Их мощность варьирует от нескольких метров до 10-15 метров, а протяженность - от десятков до сотен метров. Самые крупные дайки простираются в широтном направлении через Гужумсай в южной части интрузии [5].

В пределах Чармитанского рудного поля основными геологическими факторами, определяющими локализацию оруденения, являются тектонический, магматический и литологический.

К тектоническим факторам, влияющим на размещение оруденения, относятся:

- зона Караулхана-Чармитанского субширотного долгоживущего разлома, выраженная серией субпараллельных разломов, сопровождающаяся интенсивным рассланцеванием, углефикацией, брекчированием и милонитизацией вмещающих пород и являющаяся главным магмовыводящим и рудоконтролирующим каналом в рудном поле; (Рис.1).

- сколовые разрывы запад-северо-западного простирания с крутым северным падением, являющиеся основными рудовмещающими структурами на месторождении.

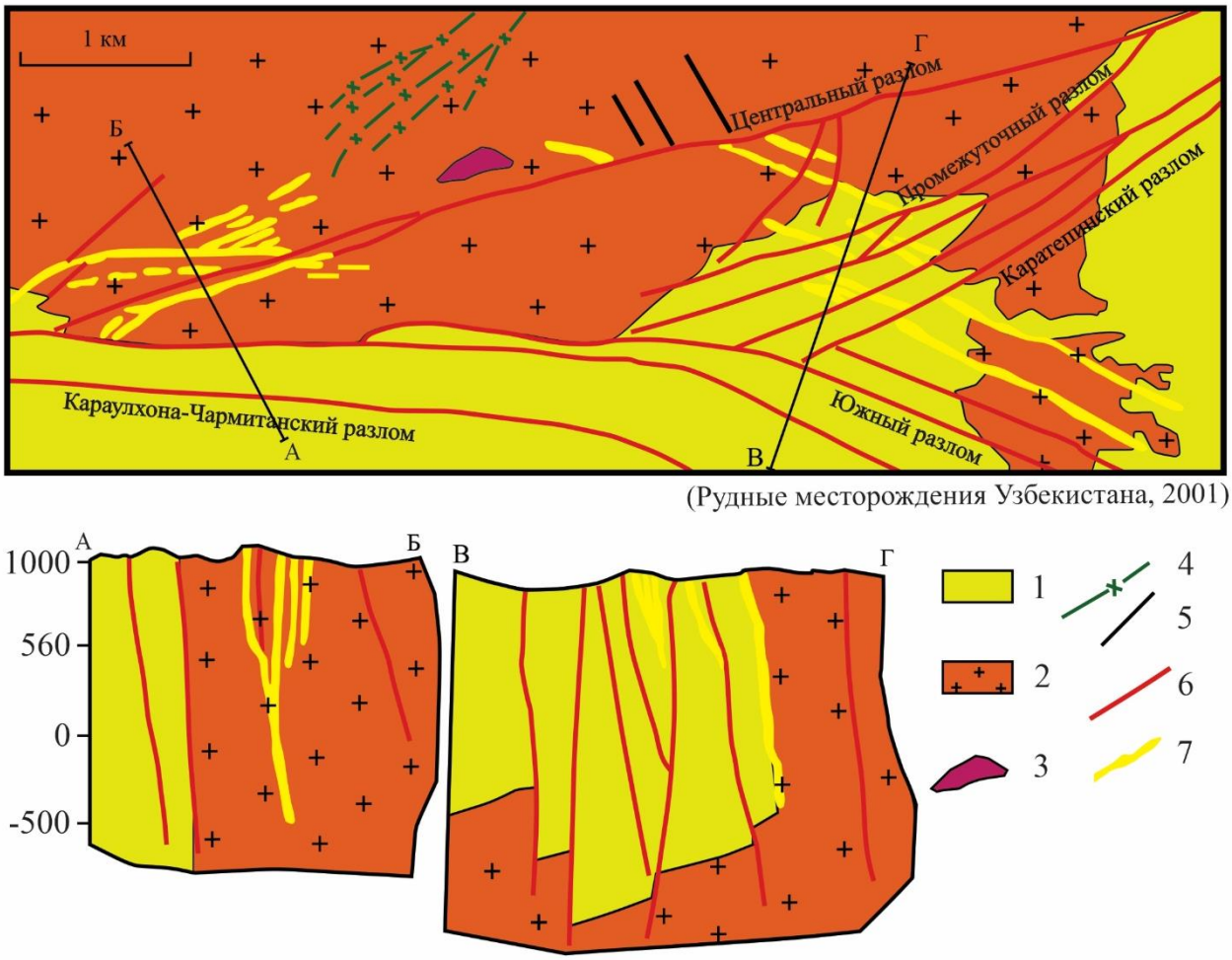


Рисунок 1. Схема размещения золотого оруденения Зармитанского рудного поля
1- песчано-сланцевые породы (S_1); 2 граносиениты и сиениты; 3-биотитовые граниты; 4-дорудные дайки сиенит-порфиров и сиенит-диоритовых порфиритов; 5-дорудные дайки монцонит-порфиров, вогезит и спессарит-порфиритов; 6-разломы; 7-зоны золоторудных тел [2]

Выводы

В зоне эндоконтакта основное золотое оруденение встречается в сиенитах. Золотое оруденение также наблюдается в граносиенитах, составляющих основную фазу интрузива, и в некоторых отдельно расположенных дайках гранитоидного состава. Золотое оруденение связано с кварцевыми жилами как в осадочных, так и в интрузивных породах. Этот факт свидетельствует о том, что золотое оруденение не имеет прямой генетической связи с Кошрабатским интрузивом, а сформировалось благодаря гидротермальным растворам, действовавшим после образования магматических пород.

Библиография

1. Ахмедов Н.А, Головонов И.М. Рудные месторождения Узбекистана. – Т.: ГИДРОИНГЕО, 2001. – 660 с.

2. Миркамалов Р.Х., Голованов И.М., Фадеичева Л.П., Миркамалова Г.Х., Турамуратов И.Б. Атлас моделей рудных месторождений Узбекистана / Госком РУз по геологии и минеральным ресурсам, Гос. предприятие "Научно исследовательский ин-т минеральных ресурсов". - Т.: ГП "НИИМР", 2010. - 100 с.

3. Даутов А.И., Асатуллаев Н.Р. Новые данные о строении Кошрабадского интрузива // Узб. геол.ж. - 1971. - №4. – С. 70-74.

4. Джуманиязов Д.И., Косбергенов К.М., Каримова Ф.Б. Связь габбро-диабазовых даек с золотым оруденением (на примере Чармитанского рудного поля) // Актуальные проблемы наук о Земле: Сборник материалов научной конференции, Ташкент, 2022. С. 264-268.

5. Отчет о результатах детальной разведки на золоторудном месторождения Чармитан за 1976-85гг // ГГП «Самаркандгеология», п. Зармитан 1985 г.

6. Зималина В.Я., Алиева У.Т. / О закономерностях размещения золота в рудных телах // Руды и металлы. – 2007. – № 6. – С. 27–36.

Месторождения сурьмы в регионе Крупань (Сербия) и перспективы добычи в будущем

Мартынов Д.В. (МГРИ, Doctor-cto@mail.ru),
Арсениевич Д.* (МГРИ, dimitrije65002020@gmail.com),
Зенкаева В.В. (ФГБУ «ВНИГНИ», a.zenkaeva@vnigni.ru)

Аннотация

В статье рассматривается история добычи сурьмы в регионе Крупань (Сербия) с конца XIX века до наших дней. Особое внимание уделено влиянию мировых войн на развитие отрасли, модернизации горнодобывающего сектора в социалистический период и постепенному снижению добычи к концу XX века. Анализируются современные рыночные тенденции, связанные с дефицитом сурьмы на глобальном уровне, и возможности возобновления добычи в Сербии с учетом экологических и экономических факторов.

Ключевые слова

Сербия, Крупань, рудник Столице, добыча, антимонит, сурьма

Теория

История добычи сурьмы в регионе Крупань

Добыча антимонита в регионе Крупань началась в конце XIX века, когда индустриализация и глобальный спрос на стратегически важные минералы стимулировали систематическое исследование и освоение этих ресурсов. Рудники, такие как Столице и Заяча, стали центрами добычи антимонита. В ранний период работы велись в основном вручную с использованием примитивных инструментов, а добыча осуществлялась через неглубокие шахты и галереи. К концу XIX века сербские горнодобывающие компании начали привлекать иностранные инвестиции и специалистов для повышения продуктивности. Сотрудничество с австрийскими и немецкими компаниями привело к внедрению механизированного оборудования и более эффективных методов добычи. В 1898 году рудники Столице производили около 15 000 тонн руды в год [1].

Во время Первой и Второй мировых войн добыча антимонита в регионе Крупань резко возросла из-за стратегической ценности сурьмы, которая использовалась в производстве боеприпасов и сплавов. Горнодобывающие операции находились под контролем государственных властей или иностранных оккупантов, которые ставили во главу угла производственные цели. Например, на руднике Столице добыча значительно увеличилась во время Второй мировой войны под немецким управлением. Оккупационные силы построили разветвленную инфраструктуру, включая железные дороги и перерабатывающие заводы, для повышения эффективности добычи. В 1943 году производство достигло своего пика – было добыто 120 000 тонн руды, что сделало этот рудник одним из крупнейших поставщиков сурьмы в Европе в военное время [4]. Однако этот период был отмечен принудительным трудом и серьезным ущербом для окружающей среды, последствия которого ощущались еще долго после войны.

После Второй мировой войны добыча антимонита в Крупане прошла через этап реконструкции и национализации в условиях социалистической системы. Югославское правительство инвестировало в модернизацию горнодобывающего сектора, внедрение современного оборудования и расширение перерабатывающих мощностей. В 1970-х годах рудник Столице достиг своего пика, производя около 85 000 тонн руды в год.

К концу XX века экологические проблемы и истощение высококачественной руды способствовали дальнейшему сокращению добычи антимонита в Столице и других

месторождениях. В настоящее время эти территории изучаются в основном с исторической точки зрения, а также для оценки перспектив экологического восстановления [8].

Открытие рудников сурьмы и добыча руды

Эксплуатация антимонита в регионе Крупань началась в конце XIX века. Открытая добыча богатых рудных тел в месторождениях Баре и Заяча проводилась с 1895 по 1937 год, но была прекращена из-за сильного притока воды. В 1884 году торговец из Белграда Никола Миланович получил привилегии на добычу антимонитовой руды в месторождении Брасина (Заяча). В конце XIX века началась разработка кварцевых жил с антимонитом в районе Буяноваца, деревня Трновац.

Перед Второй мировой войной Сербия производила 40% европейского антимонита, причем основная часть добычи приходилась на рудники Крупань, Заяча, Столице и Добри поток. В 1889 году администрация Подринских рудников предложила государству начать переплавку антимонитовых руд, так как цена на сурьму была значительно выше, чем на свинец. Подготовка рудников и плавильни была завершена быстро, и уже в январе 1890 года началось производство сурьмы.

Рудник Столице был открыт в 1916 году во время австрийской оккупации и обеспечивал более 90% сырья для плавильного завода в Крупане. В 1901 году ситуация изменилась с запуском плавильного завода, состоявшего из трех печей для окисления и двух печей для восстановления руды. Завод в Заяче работал с перебоями. После Первой мировой войны он не функционировал до 1936 года, когда немецкая компания Montanija AD приобрела предприятие и возобновила производство антимонита. В 1938 году в Заяче была запущена самая современная плавильня сурьмы в Европе.

При реконструкции в 1965 году генератор газа заменили более современным мазутным оборудованием, что сделало процесс более эффективным и экологически чистым. В этот период была добавлена еще одна печь для рафинирования,а также расширены бункерные хранилища.

Производство сурьмы было окончательно прекращено в 1990 году, но плавильный завод продолжил работу, используя вторичное сырье. В 2006 году предприятие в Заяче было приватизировано и стало частью компании «Фармаком М.Б.» из Шабаца. В настоящее время завод производит свинец из вторичного сырья, а также свинцово-сурьмяные и свинцово-сурьмяно-селеновые сплавы [9].

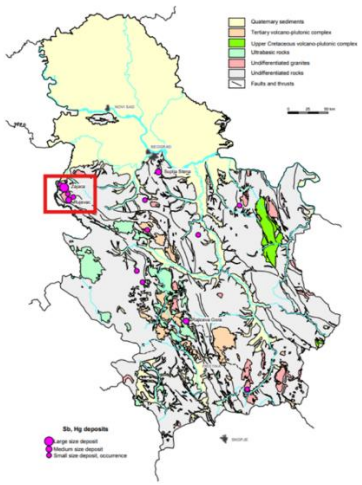


Рисунок 1. Месторождения сурьмы и ртути в Сербии

Рыночная динамика цен

По состоянию на начало 2025 года глобальный рынок сурьмы оценивается примерно в 2,17 млрд. долларов США, а прогнозируемый среднегодовой темп роста (CAGR) составляет 6,1% в период с 2024 по 2030 год [3]. Этот рост обусловлен увеличением спроса в таких отраслях, как антипирены, свинцово-кислотные аккумуляторы и полупроводники. Исторически Китай доминировал в производстве сурьмы, обеспечивая почти 50% мировых поставок. Цены на сурьму превысили 22 000 долларов за тонну к середине августа 2024 года, удвоившись с начала года [6]. Экспортный запрет нарушил глобальные цепочки поставок, побудив других производителей, таких как Таджикистан, Вьетнам и Турция, рассмотреть возможность увеличения объемов добычи [5]. Несмотря на эти усилия, рынок остается дефицитным, а аналитики прогнозируют, что цены на сурьму могут превысить 30 000 долларов за тонну к концу 2024 года [6].

Вызовы и возможности

Рынок сурьмы сталкивается с рядом проблем: экологические риски, связанные с добычей и переработкой, высокие производственные издержки, геополитическая нестабильность, влияющая на стабильность поставок, а также угрозы здоровью, связанные с воздействием сурьмы в промышленных секторах, подпадающих под строгие экологические нормы[2]. В то же время существуют перспективные возможности: переработка сурьмы, разработка альтернативных материалов, инвестиции в устойчивые технологии и практики для минимизации экологического воздействия и сокращения производственных затрат, а также диверсификация источников поставок и развитие внутреннего производства [5].

Выводы

Общая стоимость разведанных минеральных ресурсов страны составляет примерно 250 миллиардов евро. В этот перечень входят литий, медь, золото и сурьма, хотя конкретные данные о запасах сурьмы не были раскрыты [7].

Месторождения Столице, Крупань и Заяча на западе Сербии исторически были важными источниками сурьмы. Однако точные данные о текущих запасах в этих месторождениях отсутствуют в открытых источниках.

Рудники Столице, Заяча и Крупань на западе Сербии ранее играли значительную роль в добыче сурьмы. Рудник Столице, расположенный в Крупане, был крупнейшим месторождением сурьмы в Сербии, работая с начала XX века до 1990 года, когда добыча прекратилась из-за истощения экономически выгодных запасов и высокого содержания мышьяка в руде. За время эксплуатации на этом участке было отложено около 1 200 000 тонн отходов [2].

Регион Крупань, включающий рудники Столице и Заяча, пережил значительный спад добычи, и многие месторождения сейчас заброшены. В этом районе поднимаются серьезные экологические вопросы, особенно в связи с загрязнением окружающей среды в результате исторической добычи и переработки [1].

Библиография

1. Anderson, C., and Taylor, J. (2017) Critical Mineral Resources of the United States: Antimony. U.S. Geological Survey, Reston.
2. Đorđević, T., Stojanović, K., Mihajlović, I., & Radenković, M. (2023). Environmental impact of mining tailings in Serbia. Applied Sciences, 14(22), 10163.
3. Grand View Research. (2024). Antimony market size, share & trends analysis report. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/antimony-market
4. Meier, H., and Schmidt, F. (2010) Tectonic Forces and Mineralization in Alpine Regions. University Press, Zurich.

5. Mordor Intelligence. (2024). Antimony market - Growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2024-2030). https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/antimony-market
6. Reuters. (2024, August 15). Antimony prices surge as China imposes export restrictions. https://www.reuters.com/markets/commodities/antimony-prices-gear-up-new-records-china-export-curbs-2024-08-15
7. Serbia Business. (2021). Ore reserves in Serbia amount to 250 billion dollars. https://serbia-business.eu/ore-reserves-in-serbia-amount-to-250-billion-dollars
8. Stojanović, R., and Ilić, V. (1998) Mining Exploitation in Western Serbia. Ministry of Mining, Belgrade.
9. Vujić, S. (2014). Istorija srpskog rudarstva. In Srpsko rudarstvo i geologija u drugoj polovini XX veka (pp. 1-38). Akademija inženjerskih nauka Srbije, Matica srpska i Rudarski institut Beograd.

Изучение минерально-сырьевой базы бентонитовых глин Кынграк-Келесского месторождения Туркестанской области Казахстана для получения термопанелей теплоизоляционного назначения

Жакипбаев Б.Е.* (Университет дружбы народов имени академика А.Куатбекова, bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru),
Абеков К.О. (Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, specialist_udn@list.ru)

Аннотация

В статье представлены сведения о бентонитовых глинах Кынграк-Келесского месторождения, используемых в процессе получения термопанелей теплоизоляционного назначения. Приведены химический, гранулометрический, рентгенофазовый и электронно-микроскопический анализы исследуемых глин. Установлено, что по содержанию оксидов кремния, алюминия и железа кынграк-келесские бентонитовые глины вполне удовлетворяют требованиям ГОСТа 9759-83, предъявляемых к керамзитовому сырью.

Ключевые слова

Теплоизоляция, бентонитовые глины, вспучивание, терпопанели

Теория

Современные требования по энергосбережению ограждающих конструкций диктуют использование высокотехнологичных материалов и систем, позволяющих решить проблему эффективной теплозащиты зданий, где недостаточное внимание уделяется оценке надежности самих теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях, зачастую не увязанных с климатическими, материально-техническими и экономическими условиями отдельных регионов нашей страны.

Основными видами утеплителей применяемых в Казахстане являются минераловатные изделия, доля которых в общем объеме производства и потребления составляет более 60%, наряду с этим около 8% приходится на стекловатные материалы, 20% на пенополистирол и другие пенопласты, доля теплоизоляционных ячеистых бетонов в общем объеме производимых утеплителей не превышает 3%, вспученного перлита – менее 0,3% [1].

В настоящее время помимо вышеназванных утеплителей, наряду с пеностеклом, одним из эффективных теплоизоляционных материалов является керамзит, производство которого планирует запустить в ближайшее время ТОО «ЖайыкБетонИнвест» (Атырауская область, п.Макат) с производительностью 50 тыс.м^3 [2].

В Туркестанской области Казахстана керамзит не выпускается, однако ТОО «Нурлы Шапагат» готовится к запуску проекта производства керамзитового гравия из глинистого сырья (бентонитовые глины Кынграк-Келесского месторождения) производительностью 100 тыс.м^3, которое безусловно удовлетворит потребности и заполнит свободную нишу на местном внутреннем рынке строительных и теплоизоляционных материалов, с последующим продвижением на внешний рынок [2].

В связи с этим целью поставленного исследования является определение возможности получения энергоэффективного легкого керамзитового гравия для термопанелей теплоизоляционного назначения непосредственно из бентонитовых глин Кынграк-келесского месторождения.

Туркестанская область Казахстана одна из богатых на керамзитовое сырье с расположением крупных и весьма перспективных для разработки таких месторождений бентонитовых и бентонитоподобных глин, как Кынграк-Келесское (рисунок 1).

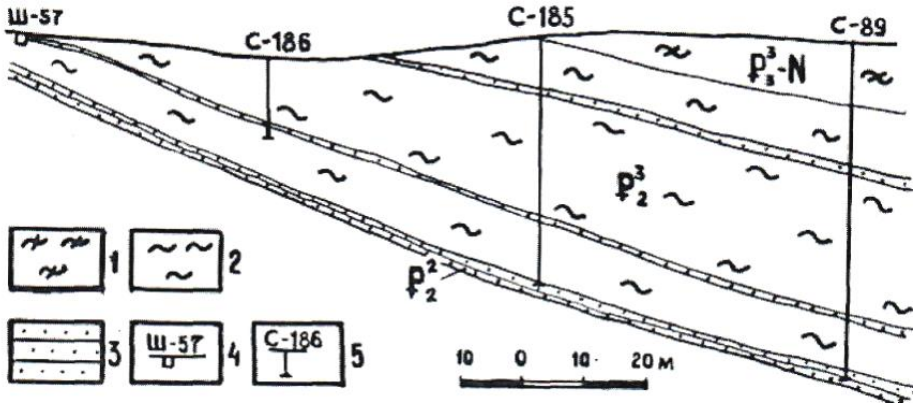


Рисунок 1. 1 – глины красноцветные; 2, 3 – песчано-глинистые отложения среднего-верхнего эоцена; 2 – глина бентонитовая, 3 – песчаник слабосцементированный; 4 – шурф; 5 – скважина
Рисунок 1. Месторождение керамзитовых глин Кынграк-Келесское

Продуктивная толща месторождения представлена темно-зелеными бентонитовыми глинами, в основании которой залегает одновозрастный слабосцементированный песчаник, перекрытая красноцветными верхнепалеоген-неогеновыми глинами на поверхности с мощностью 15,7 м [3].

Результаты химического анализа (таблица 1) показали, что по содержанию оксидов кремния, алюминия и железа кынграк-келесские бентонитовые глины вполне удовлетворяют требованиям ГОСТа 9759-83, предъявляемых к керамзитовому сырью.

Таблица 1. Химический состав бентонитовых глин Кынграк-Келесского месторождения

Оксиды	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
%	**52-63**	**10-15**	**4-6**	**0,4-2,3**	**2,7-3,5**	**0,28-1,6**

Одной из важных характеристик исследуемых бентонитовых глин при промышленном использовании является способность сохранять природные свойства кристаллической решетки при повышении температуры, после которого монтмориллонит теряет воду, процесс которого существенно зависит от минералогических особенностей бентонитовых глин, обусловленных особенностями его формирования.

Для более глубокого изучения вещественного состава исследуемых глин, минералогических и структурных особенностей составляющих минеральных фаз был применен электронно-микроскопический анализ, включающий в себя сканирующую электронную микроскопию с энергодисперсионным определением химического состава, выполненных в Центре физико-химических методов исследования «Лаборатория электронной микроскопии» Белорусского государственного технологического университета на сканирующем электронном микроскопе СЭМ JEOL JSM-5610LV при увеличении х200 нами были зафиксированы следующие элементы: Si; O; Fe; K; Mg; Ca (рисунок 2).

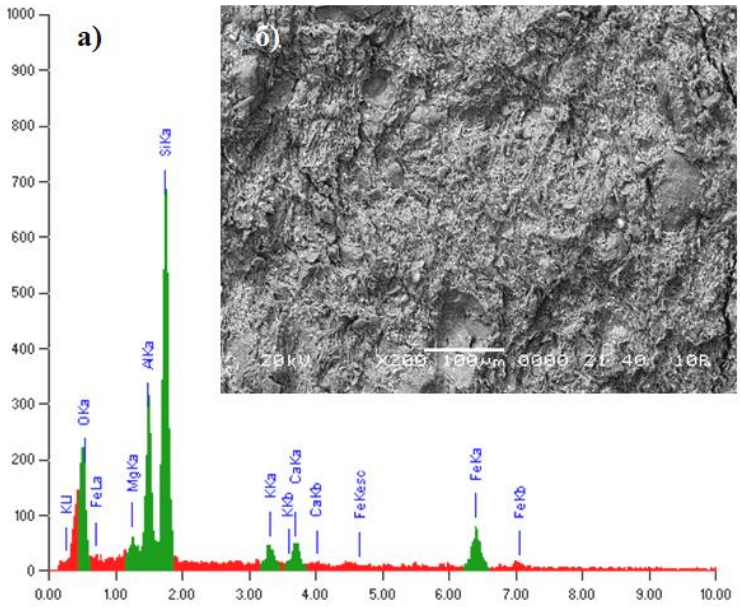


Рисунок 2. (а) энергодисперсионный спектр, (б) электронная микрофотография исследуемой глины

На СЭМ-фотоснимке образца зафиксированы как агрегаты (размером 10-15 мкм), так и отдельные частицы облакоподобной формы [3, 4].

Из таблицы 1 и рисунка 2 видно характерное присутствие оксида железа в исследуемых глинах, который переходя в результате восстановительных процессов в закисное состояние, активно реагирует с оксидами алюминия и кремния, образуя ряд эвтектик и растворов сложного состава оказывая при этом сильное флюсующее действие. Обладая также большей смачивающей способностью, FeO способствует образованию системы с оптимальными параметрами размягчения, при которых интенсивно и полно происходит вспучивание.

Интервал вспучивания сокращается за счет CaO, а при большом содержании вызывает быстротекучую деформацию и слипанием материала, резко снижая вязкость жидкой фазы в коротком интервале температур, что значительно затрудняет обжиг.

Источниками газообразования также являются глинистые минералы типа монтмориллонита (20%), слюды и гидрослюды, присутствующие в исследуемых бентонитовых глинах.

Выводы

1. На основании проведенного комплексного исследования бентонитовых глин Кынграк-Келесского месторождения нами установлено, что по вещественному (химическому и минералогическому) составу бентонитовые глины относятся к монтмориллонит-гидрослюдистой низкодисперсной группе глинистых материалов с тонкодисперсными фракциями менее 10 мкм.

2. Исследуемые бентонитовые глины Кынграк-Келесского месторождения могут быть использованы в производстве термопанелей теплоизоляционного назначения в виде легких керамзитобетонных изделий и конструкций в жилищном строительстве для малоэтажного, высотного, крупнопанельного и каркасно-панельного домостроения, использование которых может дать значительный технико-экономический эффект в виде снижения стоимости строительства 1 м^2 до 20%, расхода стальной арматуры до 20%, уменьшения массы зданий до 35% и повышения сейсмоустойчивости зданий.

Библиография

1. Смирнов П.В., Жакипбаев Б.Е., Староселец Д.А., Дерягина О.И., Баталин Г.А., Гареев Б.И., Вергунов А.В. Диатомиты и опоки месторождений Западного Казахстана: литология, структурно-текстурные параметры, потенциал использования // Журнал «Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов», Том 334 (№7), 2023. С.187-201

2. Б.Е. Жакипбаев и др. Изучение физико-химических процессов вспучивания и поризации широкодоступных южно-казахстанских легкоплавких бентонитовых глин с целью получения из них теплоизоляционного энергоэффективного легкого керамзитового гравия // Вестник КазНИТУ – Алматы, 2016. №4(116). – С.251-256

3. B. Zhakipbayev, et al. Energy-efficient and fire-resistant light expanded-clay granulates for heat insulation via heat treatment of bentonite clays with industrial wastes / ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2021, Vol.16, №24, pp.2709-2021

4. Zhakipbayev B.Ye., Ismailova A.B., Tukhtamisheva A.Z., Seitkazinov O.D., Moldamuratov Zh.N. Energy efficiency and decarbonization of cement and foamed glass production through the use of natural active mineral additives (opoka and diatomite) // Nanotechnologies in Construction. 2024. 16(6): 587–600

Геологические особенности Медведевской площади титан-магнетитовых руд (Южный Урал)

Закариаш А.Г. (Российский Университет Дружбы Народов, 1042245007@pfur.ru)*

Аннотация

Проведен краткий обзорный анализ библиографических источников отечественных исследователей по узучению геологического строения района Кусинско-Копанского массива. Дана краткая характеристика Кусинского-Копанского массива, а также описание Медведевского месторождения титан-магнетита, так как является объектом исследований.

Особое внимание уделено изучению Медведевского массива, во котором находится одноименное месторождение титан-магнетитовых руд. рудных залежей месторождения и взаимоотношения с вмещающими породами. Выявлены различных тип пород массивов. Также дается краткое описание стратиграфии района с выделением основных свит представленные в районе Кусинско-Копанской интрузии. Кроме габбро, в Кусинско-Копанском массиве присутствуют пироксениты, анортозиты, горнблендитовые сланцы, амфиболиты, которые в северной части интрузии часто секутся жилами гранит-аплитов, пегматитов и кварца.

Ключевые слова

Кусинско-Копанский массив, титаномагнетитовые руды, Медведевское месторождение, габбровый массив, габброиды

Теория

Медведевское месторождение локализуется в южной части Кусинско-Копанской габбровой интрузии, расположенной на западном склоне Южного Урала, в пределах территории, подчиненной городу Златоусту Челябинской области. С севера месторождение ограничено р. Ай, с юга разведочным профилем № 47. Площадь месторождения составляет 5 км^2. [2]

Кусинско-Копанский массив сложен основными горными породами и приурочен к крупному региональному разлому, который прослеживается по границе двух различных структурно-фациальных зон-западной и восточной; последние различаются как по составу слагающих пород, так и по степени их метаморфизма. [1]

Массив имеет Северо-восточное простирание, и прослеживается на протяжении 70 км и состоит из четырех самостоятельных массивов: Кусинский, Медведевский, Меткальский и Копанский, с севера на юг, как показано ниже в рис. 1.

Возраст габброидов определяется в 1100-1400 млн. лет (Рифей).На основании определения абсолютного возраста, некоторые исследователи (Гаррис,1964, Дунаев и др., 1966) предлагают многофазное формирование Кусинско-Копанского интрузива с более ранним образованием Кусинского массива по отношению к позднему – Копанскому.[1]

Породы массивов слагают тела линзовидной и пластообразной формы и имеют единое юго-восточное падение под углом 35-70° (Медведевское месторождение, 1978; Новиков, 1971).[2]

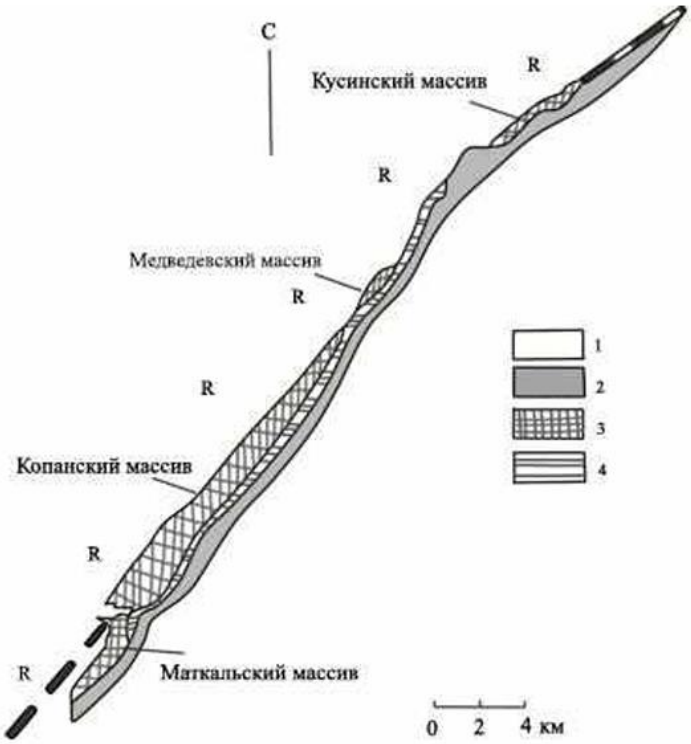


Рисунок 1. Схема размещения массивов и месторождений Кусинско-Копанского комплекса (Ферштатер, 2001). 1 – рифейские, преимущественно карбонатные породы саткинской и бакальской свит; 2 – машакские аповулканиты; 3 – габброиды; 4 – граниты Рябиновского и Губенского массивов. [2]

В пределах массива представлены породы разных генезисов, магматические, метаморфические и осадочные. Среди магматических породы в основном выделяются габброиды, граниты, диориты и кварцевые диориты. Граниты гнейсы, амфиболиты и сланцы, мраморы и мраморизованные доломиты представляют метаморфические горные породы. Среди осадочных пород встречаются доломиты, глинистые породы, песчаники и мергели.

Таблица 1. Геометрические параметры интрузивных массивов Кусинско-Копанского комплекса (Новиков, 1971)

Название интрузивного массива	Площадь, км^2	Длина,км	Ширина, км	
			максимальная	средняя
Кусинский	15	15	0,8	0,37
Медведевский	4,7	12	1,5	0,39
Копанский	31	28	2,2	1,16
Маткальский	-	7	2,1	1

В пределах Кусинско-Копанского комплекса выделены снизу вверх следующие свиты: Саткинская, Бакальская, Зигальская и Катавская.

Саткинская свита (мощность 1700-3500 м) залегает согласно на айской и сложена в основном доломитами и известняками. Отложения саткинской свиты прорваны гранитами рапакиви Бердяушского массива, средний возраст 1350 млн. лет.

Бакальская свита (1200-1600 м) представлена углеродисто-глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками, доломитами и известняками.

Зигальская свита (до 550 м) сложена преимущественно кварцевыми песчаниками и алевролитами с маломощными прослоями глинистых сланцев и, редко, конгломератов.

Катавская свита (200-300 м) слагается пестроцветными тонкополосчатыми глинистыми известняками и мергелями с редкими прослоями красноцветных глинистых сланцев и плоскообломочных брекчий.

Кусинско-Копанский комплекс с юга на север наблюдается ярко выраженная фациальная эволюция массивов и минерального состава оруденения, что определяется их формированием в тектонически подвижной рифтовой структуре (Холоднов, 2008). Глубина образования массивов возрастает с юга на север от 3-4 км до 20-30 км. Интенсивность изменения пород последовательно уменьшается с севера на юг. Так, северный Кусинский массив сложен амфиболитами, возникшими в результате метаморфизма габбро; Медведевский – измененным соссюритизированным габбро, и только в области восточного контакта – амфиболитами; Копанский и Маткальский массивы представлены преимущественно неизмененным габбро (Малышев, 1934, 1957; Мясников, 1959). [2]

Среди габброидов массива выделяются 3 разновидности (Жданова С.Н., 1993):

1) Нормально крупнозернистое габбро;
2) Уралитизированное габбро;
3) Соссюритизированное габбро.

Кроме габбро, в Кусинско-Копанском массиве присутствуют пироксениты, анортозиты, горнблендитовые сланцы, амфиболиты, которые в северной части интрузии часто секутся жилами гранит-аплитов, пегматитов и кварца.

Титан-магнетитовое орудинение медведевской площади связвно с габброидами. Медведевский массив сложен первичной ритмично-расслоенной серией пород.

В лежачем боку залегают пироксениты и оливиновые лабрадор-битовнитовые габбро-нориты, в центральной части массива они сменяются безоливиновыми мезократовыми лабрадоровыми габбро-норитами.

В висячем боку расположены лейкократовые андезиновые габбро-нориты. Все породы в той или иной степени претерпели изменения: амфиболизацию, соссюритизацию, участками альбитизацию, хлоритизацию, мартитизацию, иногда и карбонатизацию (Новиков, 1971).

Лежачий бок южной части массива габброидов, по данным геологоразведочных работ, непосредственно контактирует с кварцитами, кварцито-песчаниками, кварц-слюдистыми и карбонатными породами саткинской свиты нижнего рифея, висячий бок граничит с гранитами и гранито-гнейсами Губенской интрузии (Холоднов, 2012). Контакт имеет юго-восточное падение, угол 50-60.

Характерной особенностью Медведевского массива является ритмичная слоистость, образованная слоями габбро, содержащими разное количество нерудных (плагиоклаза, авгита, гиперстена, оливина) и рудных минералов. [2]

В южной части массива выявлены две зоны вкрапленных железо-титановых руд (Западной, или Главной и Восточной), характеризующихся отсутствием четких границ с вмещающими их породами. Главная зона прослежена на 2700 м по простиранию и на 600 м по падению. Мощность зоны колеблется от 75 до 250 м. В лежачем боку рудной зоны залегают преимущественно вкрапленные титаномагнетитовые руды, а в висячем – вкрапленные существенно ильменитовые с переходной полосой между ними вкрапленных ильменит-титаномагнетитовых руд. Восточная рудная зона прослеживается на 1500 м по простиранию и на 400 м по падению. Мощность от 10 до 150 м. Она расположена вблизи восточного контакта месторождения и массива, почти целиком сложена вкрапленными ильменитовыми рудами, и лишь в лежачем боку наблюдается выклинивающийся прослой титаномагнетитовых

руд. В зонах вкрапленных титаномагнетитовых руд и ниже часто отмечаются прослои массивных титаномагнетитовых руд.

Руды залегают в виде пластообразных и линзообразных тел, согласных с полосчатостью массива.

Выводы

Таким образом, задачи по выполнению краткого обзора литературных источников предшественников успешно было выполнена. Результаты изучения материала показали, что кусинско-копанский комплекс состоят из четырех массивов; породы комплекса датированный возрастом в 1100-1400 млн. лет (Рифей) и что копанский массив образовался позже кусинскому. В пределах Кусинско-Копанского комплекса выделены снизу вверх следующие свиты: Саткинская, Бакальская, Зигальская и Катавская.

Итак, Кусинско-Копанский комплекс с юга на север наблюдается ярко выраженная фациальная эволюция массивов и минерального состава оруденения, что определяется их формированием в тектонически подвижной рифтовой структуре Титан-магнетитовое орудинение медведевской площади связвно с габброидами. В будущем, для детального изучения района, планируется прохождения практики и отбора каменного материала для дальнейших исследовании

Библиография

1. Карпова О.В.Титаномагнетитовые руды Южного Урала. Москва: Наука. 1974 Получено из https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-rudy.pdf

2. Колкова, М.С. Минералого-технологические особенности железо-титановых руд Медведевского месторождения : диссертация. кандидата геолого-минералогических наук : 25.00.05 (2020) — Колкова М.С. — читать диссертацию (автореферат) онлайн | НЭБ [000199_000009_010251611]

3. Долгов В. С., Середа М. С., Козлов А. В. Минералы Златоустовского Урала. – Златоуст: ООО «ФотоМир», 2007. 208 с., с илл. https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-mineraly-zlatoustovskogo-urala.pdf

4. Маслов А.В., Крупенин М.Т. Геология рифея и рудные обЬекты северо-востока башкирского мегантклинория (Уралькие геологические маршруты. Выпуск 1). Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, УГГА, 1999. 105 с.

Геологическое строение и рудоносные характеристики нижнепалеозойских отложений Мальгузарских гор (Узбекистан)

Зиёдуллоев Г.Ш.* (Институт геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева, gziyodulloev@gmail.com),
Садикова Л.Р. (Институт геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева, rang.tosh@rambler.ru)

Аннотация

Исследуется геологическое строение и рудоносность нижнепалеозойских отложений Мальгузарских гор (Узбекистан). Описаны тектонические структуры, магматические образования и их влияние на локализацию рудных зон. Рассмотрены золоторудные, полиметаллические и ртутные минерализованные зоны, их пространственная приуроченность к разломам и геохимические особенности. Приведены данные по последовательности рудоотложения и минеральным ассоциациям. Полученные результаты важны для прогнозирования и поиска новых месторождений.

Ключевые слова

Мальгузарские горы, нижнепалеозойские отложения, геологическое строение, рудоносность, золоторудные зоны, тектоника, магматизм, минерализация

Теория

Введение

Мальгузарские горы являются важным рудоносным регионом Узбекистана, в пределах которого выявлены значительные проявления золота, ртути, полиметаллов и других полезных ископаемых. Основной рудоносный потенциал связан с нижнепалеозойскими отложениями, которые претерпели сложную тектоническую и магматическую историю. В данной работе рассматриваются стратиграфические, тектонические и рудоносные особенности региона, а также перспективные поисковые площади, выделенные на основе геохимических, геофизических и структурных данных.

Материалы и методы

Исследование основано на анализе геолого-структурных карт масштаба 1:100 000, геохимических и геофизических данных, фондовых материалов [1], а также современных методов дистанционного зондирования. Включены результаты геохимического анализа, магниторазведки, электроразведки, стратиграфического и структурного картирования.

Стратиграфия и литология нижнепалеозойских отложений

- Нижнепалеозойские породы региона включают осадочные, вулканогенно-осадочные и метаморфические комплексы, контролирующие размещение рудных проявлений:
- Кембрий-ордовикские отложения ($\in$-O_1) – представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками с прослоями известняков и кремнистых пород, местами встречаются эффузивные образования.
- Силурийско-девонские формации (S-D_1) – включают известняки, доломиты, вулканогенно-осадочные комплексы, связанные с рудоносными зонами.
- Средне-верхнедевонские карбонатные комплексы (D-C_2) – мощные известняковые и доломитовые толщи, претерпевшие интенсивную дислокацию и метаморфизм.

Эти породы представляют собой рудоносные горизонты, в которых происходило концентрирование полезных ископаемых [2].

Геологическое строение и тектоника

Регион характеризуется сложным покровно-чешуйчатым и блоковым строением. Основными тектоническими элементами являются:

- Гатча-Зааминский покров (D-C_2) – представлен карбонатными формациями, залегающими в виде надвиговых пластин.
- Нурату-Лятобандский покров (S_2-C_2) – включает чередование осадочных и вулканогенных пород, пересекаемых глубинными разломами.
- Главными тектоническими элементами региона являются глубинные разломы (Ардакшанский, Джалаирский, Курпинский), вдоль которых сформировались рудоносные зоны [3].

Магматические комплексы

Магматизм играл значительную роль в минералообразовании. Основные магматические образования региона:

- Силлообразные интрузии диабазов, габбро-диабазов (C_2?)
- Штоки гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров (C_3?)
- Дайки диоритов, лампрофиров, фельзитов

Магматические тела создавали благоприятные условия для циркуляции рудоносных растворов и формирования золоторудных залежей [4].

Рудоносные зоны и перспективные площади

Золоторудные минерализованные зоны контролируются тектоническими нарушениями, среди которых выделены:

- Каттасайская минерализованная зона – система разломов с углеродистыми метасоматитами, контролирующая основные золоторудные проявления (Юлсай).
- Ляйлягуинская минерализованная зона – зона с серебро-золоторудной минерализацией, включает месторождение Бахмал.
- Каранчибулакская, Центральная и Заргарская зоны – перспективные области для выявления новых месторождений золота.

Согласно рисунку 1, выделены перспективные поисковые площади на золото:

- Акчагалская
- Северо-Урюклинская
- Гальдраут-Четкисайская
- Зрыбулак-Юлсайская
- Етымтауская минерализованная зона (участок Етымтау)

Эти площади характеризуются наличием протяженных зон смятия, благоприятных для концентрации золота [5].

Геохимические аномалии

На основе анализа геохимических данных были выделены ареалы развития ассоциаций элементов-индикаторов, свидетельствующих о потенциальной рудоносности территории:

- Mo+V+Cu – проявления молибдена, ванадия и меди, указывающие на рудоносные флюиды в магматических системах.
- Au+As – сочетание золота и арсенопирита, характерное для золоторудных жил.
- Ag+Pb+Zn – свидетельствует о присутствии серебро-свинцово-цинковых руд.
- Hg – ореолы ртути, указывающие на области гидротермальной активности.

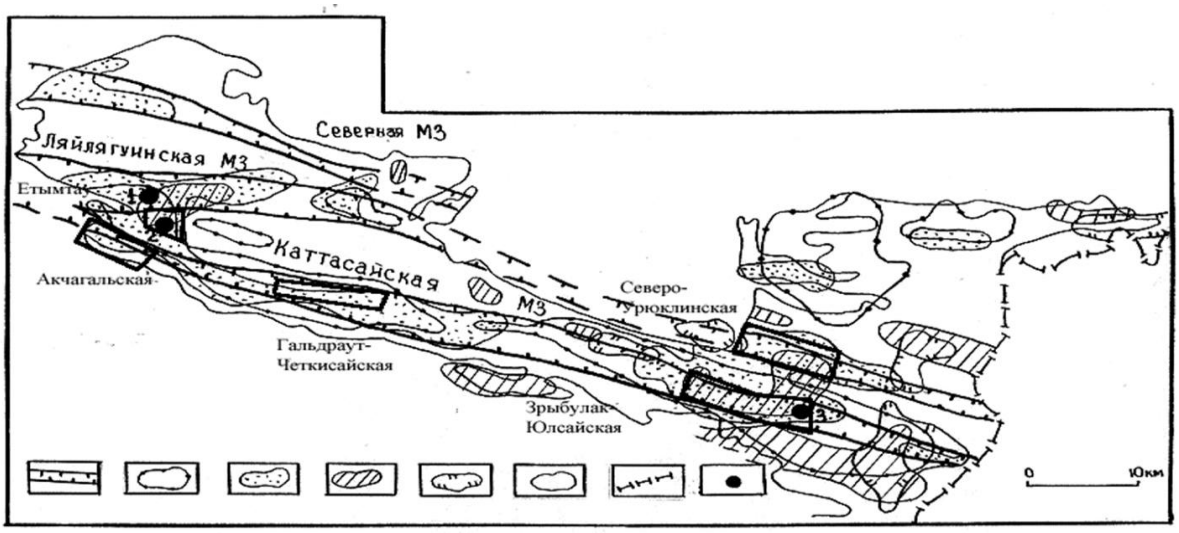


Рисунок 1. Перспективные поисковые площади на золото гор Мальгузар: 1 – золотоносные минерализованные зоны, контролируемые протяженными зонами смятия; 2-5 – ареалы развития геохимических ассоциаций: 2 – Mo+V+Cu, 3 – Au+As, 4 – Ag+Pb+Zn, 5 – ореолы Hg; 6 – крупные проявления золотой минерализации (1- Бахмал, 2- Етымтау, 3- Юлсай); 7 – контур выходов домезозойских образований; 8 – граница Республики Узбекистан. Перспективные поисковые площади: Акчагалская, Северо-Урюклинская, Гальдраут-Четкисайская, Зрыбулак-Юлсайская, участок Етымтау (Етымтауская минерализованная зона)

Крупные проявления золотой минерализации

На территории Мальгузарских гор выделены три крупных проявления золота:

- Бахмал
- Етымтау
- Юлсай

Эти объекты представляют особый интерес с точки зрения дальнейших геологоразведочных работ.

Типы полезных ископаемых

Помимо золота, в регионе встречаются:

- Ртутные месторождения (Hg) – киноварные залежи в углеродистых метасоматитах (Карасу, Мык).
- Полиметаллические месторождения (Pb, Zn, Cu, Ag) – жильные тела с высоким содержанием сульфидов.
- Вольфрамовые руды (W, Mo, Au) – скарноидные образования, ассоциированные с гранитоидными интрузиями.
- Титано-магнетитовые руды (Ti, Fe) – магнетитовые тела в диабазовых силлах.

Рудообразование и геохимические особенности

Формирование рудных объектов происходило в несколько стадий:

- Ранняя гидротермальная стадия – отложение пирита, арсенопирита, золота.
- Сульфидная стадия – образование халькопирита, галенита, сфалерита.
- Поздняя гидротермальная стадия – накопление серебряных и редкометальных минералов.

Выводы

Нижнепалеозойские отложения Мальгузарских гор являются ключевыми рудоносными структурами, в пределах которых выявлены значительные золоторудные, ртутные и

полиметаллические проявления. Тектонические зоны смятия, магматические процессы и геохимические особенности контролируют формирование минерализации.

Выделенные перспективные поисковые площади требуют дальнейшего изучения с использованием геофизических и дистанционных методов. Применение комплексного подхода позволит повысить эффективность поисковых работ и детализировать прогноз золоторудных месторождений в регионе.

Библиография

1. Мамуров А.М. и др. Отчет на проведение работ по групповой геологической съемке и целевому геологическому доизучению (ГДП-2) масштаба 1:50000 за 1985-1991 гг. КГПЭ. Пос. Калинина. 1991.

2. Геологический словарь. Том 1-2. – М.: Недра, 1973.

3. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Методика изучения рудоносных структур в терригенных толщах. – М.: Недра, 1988. – 254 с.

4. Федорчук В.П. Экспертная геолого-экономическая оценка рудных месторождений. – М.: Недра, 1991. – 318 с.

5. Сухинин Ю.А., Петросянц А.С. и др. Отчет по поисково-оценочным работам на четвертичные россыпи золота в долине р. Зааминсу и общим поискам по долинам составляющих р. Зааминсу – Урюклысаю и Етткичусаю за 1982-1985 гг. Химгеолнеруд. Ташкент. 1985.

Анализ геологических особенностей урановых месторождений нигера на основе обработки космических снимков

Имрана Х.И.* (МГРИ, hamzaibrahimimrana@gmail.com),
Егорова И.В. (МГРИ, irinaegorova31@gmail.com)

Аннотация

В данной работе рассматриваются геологические особенности урановых месторождений Нигера, относящихся к инфильтрационному, песчаниковому типу по классификации МАГАТЭ. Анализ проведен на основе обработки космических снимков, в частности изображений SRTM. Установлено, что рудные тела имеют ролловую форму и локализуются в депрессионных блоках платформенного чехла, выполненных осадочными породами. Основными минералами урана являются настуран и коффинит, ассоциирующие с пиритом и марказитом.

Определена связь урановой минерализации с разрывными нарушениями, выявленными с помощью дешифрирования космических снимков.

Выявлены новые структуры, контролирующие размещение урановых объектов, что позволяет предложить перспективные районы для дальнейших поисков месторождений.

Ключевые слова

Урановые месторождения, космические снимки, инфильтрационный тип, геологические структуры

Теория

Горное месторождение урана в Нигере, известное как песчаниковые месторождения, имеет свои геологические особенности. В этих месторождениях уран находится в виде минерала уранового окисла, который проникает в песчаник или аренитовый осадочный слой. Песчаниковые месторождения урана в Нигере формировались в результате процессов окисления и концентрации урана, который исходно был включен в рассыпные отложения или песчаники. Изучение геологических особенностей этих месторождений имеет важное значение для оптимизации процессов добычи урана, разработки эффективных технологий и управления ресурсами.

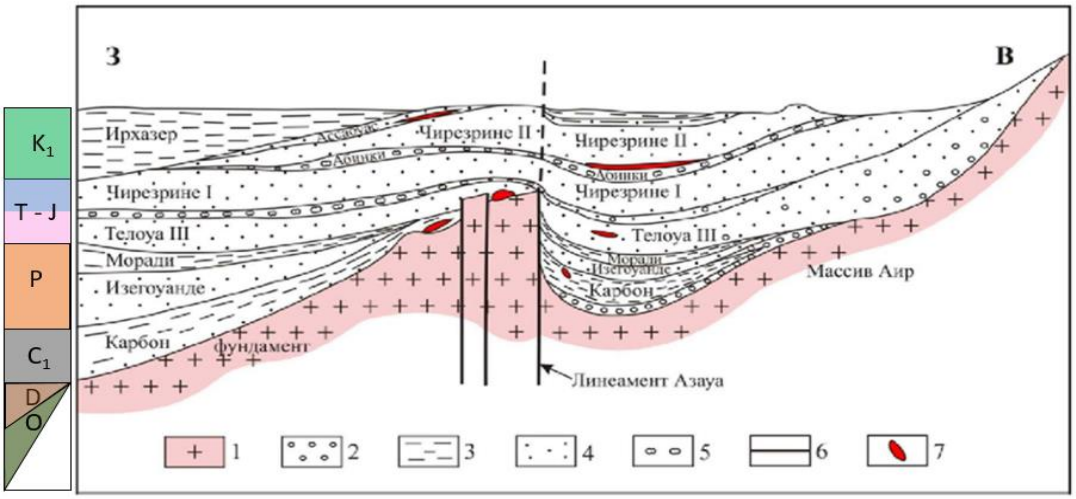
Данная работа посвящена изучению геологических особенностей урановых месторождений песчаникового типа в Нигере на основе обработки космических снимков.

Методология исследования включала в себя анализ доступных данных о месторасположении урановых месторождений, их геологических характеристик и потенциала. Также было проведено дешефрирование космоснимков с применением ГИС технологий для обработки пространственных данных и создания цифровых моделей месторождений.

Важнейшие урановые месторождения Нигера относятся к инфильтрационному, песчаниковому типу по классификации МАГАТЭ. По большинству параметров они отвечают характеристикам таких объектов [1], так как:

- Распространены в депрессионных блоках земной коры, выполненных осадочными породами платформенного чехла или наложенных впадин;
- Расположены в областях аридного климата;
- Локализуются в палеозойско-мезозойских платформенных терригенных континентальных и прибрежно-морских толщах, представленных чередованием водоупорных и водоносных горизонтов;
- Характеризуются ролловой формой рудных тел.

В Нигере разведано 12 месторождений урана, 11 из которых сосредоточены в прогибе Тим Мерсой. Месторождения урана, как правило, выполняют депрессии и троги, выполненные терригенными формациями каменноугольного и юрского возраста, которые представлены грубозернистыми песчаниками, переслаивающимися с алевролитами и глинистыми сланцами. Рудные залежи имеют многоярусное строение, мощность отдельных пластов в среднем 5-10 м, достигая в некоторых случаях 25 м (рисунок1).



1 - докембрийский фундамент; **2** - конгломераты; **3** - аргиллиты, глинистые сланцы; **4** - песчаники; **5** - окремнелые деревья и другие органические остатки; **6** - разломы; **7** - месторождения урана.

Рисунок 1: Схематический поперечный разрез бассейна Тим Мерсой и положение урановых месторождений

Урановая минерализация представлена настураном и коффинитом в равных соотношениях, ассоциирующих с пиритом, марказитом. Средние содержания урана в рудах в различных месторождениях колеблется от 0,1 до 0,5% [3].

В качестве источника урана рассматриваются продукты разрушения вулканитов каменноугольного возраста массива Аир (туфовой гальки, игнимбрита, риолита) а также юрские вулканические отложения, представленные пирокластическими продуктами [4]; [5].

Урановая минерализация Нигера, кроме того, отчетливо контролируется размещением разрывных нарушений, что устанавливается в том числе путем дешифрирования разломов на космоснимках SRTM (рисунок 2). По-видимому, роль разрывных нарушений заключается в том, что они являются каналами поступления и разгрузки вторичных восстановителей (углеводородов, абиогенного сероводорода и др.). На рисунке видно, что известные урановые месторождения бассейна Тим Мерсой приурочены к линеаментам второго порядка, либо к узлам их пересечений.

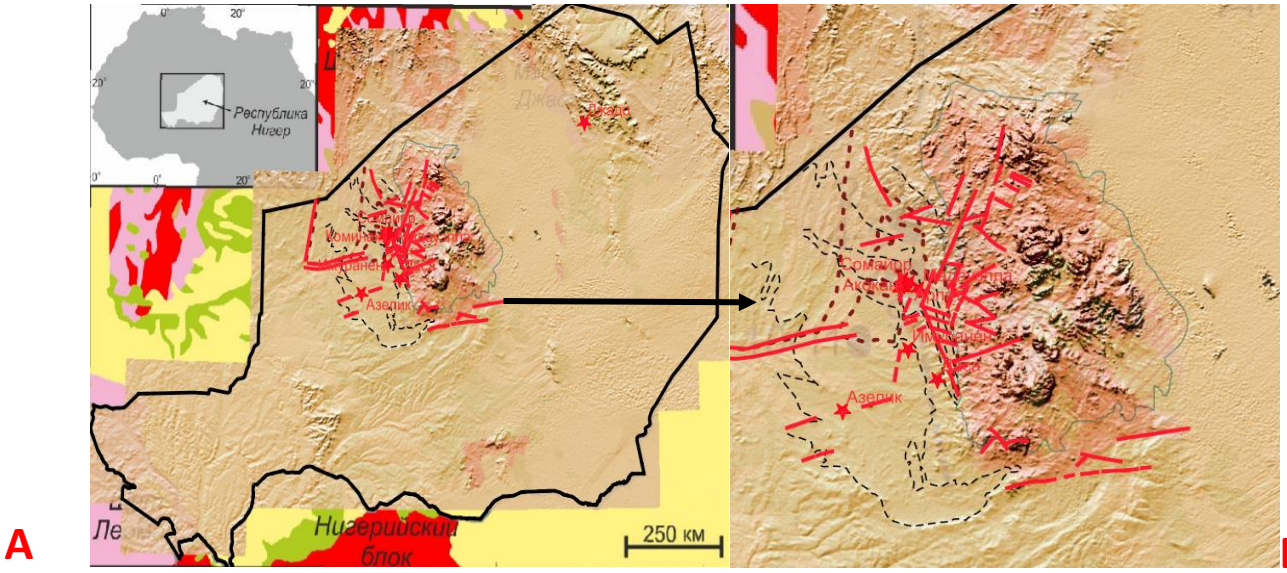


Рисунок 2: A: Территория Нигера в изображении SRTM, B: Положение урановых месторождений (показаны звездочками) и линеаментов (показаны красными линиями).
(Имрана Х.И., 2024)

Дешифрирование космических снимков проводилось в программе QGIS, которое включало привязку геологических карт и космических изображений SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Дешифрирование космоснимка площади массива Арлит позволило выделить систему линеаментов меридионального и широтного направлений, часть которых контролирует положение известных урановых объектов.

Выводы

Проведенные исследования позволили выявить некоторые новые структуры, которые, очевидно, контролируют размещение урановых месторождений Нигера. Помимо выявленных ранее критериев, к которым относится связь с древними кристаллическими массивами архея и протерозоя, отложение среди терригенных пород в осадочных бассейнах каменноугольного и юрского возраста, дополнительно аргументирована приуроченность урановых объектов к узлам пересечений разломов меридионального и широтного направлений.

По указанным критериям наиболее благоприятными для выявления новых урановых месторождений нам представляется, помимо южного окончания щита Туарег (массив Айр), северная часть Нигерийского блока на юге Нигера (западная часть плато Джос) (рисунок 3).

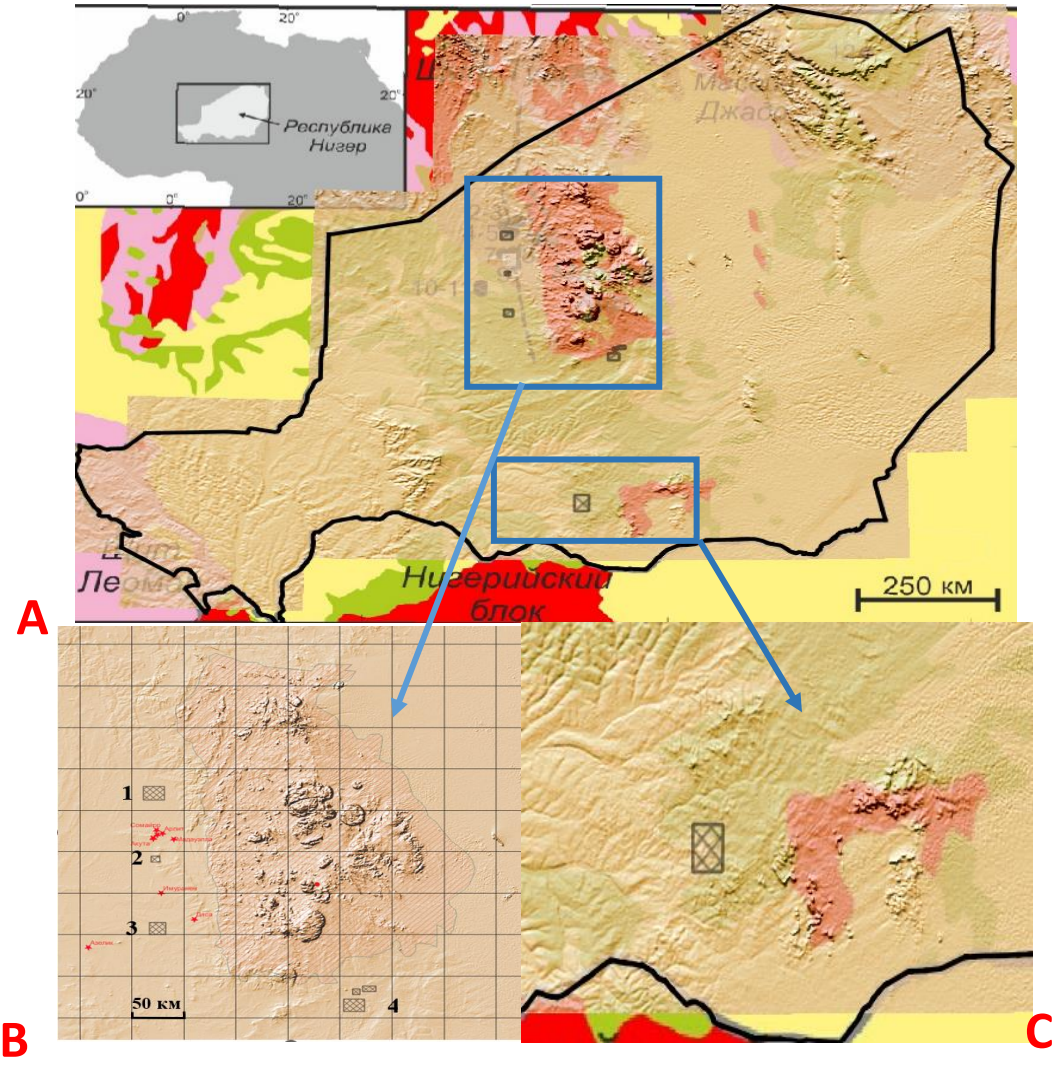


Рисунок 3: Перспективные площади (B: Массив Айр, C: западная часть плато Джос) (Имрана Х.И, 2024)

Библиография

1. Игнатов, 2011 Палеогидрогеология и рудообразование;
2. *Имрана Х.И, 2024;*
3. Тарханов А. В., Бугриева Е. П. Крупнейшие урановые месторождения мира. Минеральное сырье. № 27. М.: ВИМС, 2012. 118 с.;
4. Forbes 1989;
5. Wagani 2007.

Перспективы редкометалльно-полиметаллического оруденения месторождения Кошмансай (Восточный Узбекистан)

Тошметов У.Х.* (ГУ «ИМР» г.Ташкент, toshmetovubaydullo88@gmail.com),
Ежков Ю.Б. (ГУ «ИМР» г.Ташкент, ejkovyuriy@gmail.com)

Аннотация

Кошмансайское рудное поле образовано в эндоконтактовой зоне апикального выступа Чаткальского гранитного батолита, формирование которого сопровождалось процессами ороговикования и скарнирования.

Инфильтрационные и биметасоматические скарновые залежи месторождения Кошмансай несут вкрапленные и прожилково-вкрапленные медно-висмут-полиметаллические руды с вольфрамом и серебром.

Вертикальная геохимическая зональность ореолов рудообразующих элементов, определенная их концентрированием на нижних уровнях среза скарноворудных тел месторождения, позволяет предположить расширение его перспектив на глубину.

Ключевые слова

Кошмансай, скарны, свинец, цинк, висмут

Теория

Кошмансайское рудное поле обладает отчётливой рудно-геохимической зональностью, подразделяясь на собственно Кошмансайское редкометалльно-полиметаллическое месторождение на верхних уровнях рудного поля и Нижнекошмансайское редкометалльно-медное рудопроявление - на нижних [3]. Тем не менее формирование рудных тел протекало в сходной термодинамической обстановке, в условиях надёжной экранированности, при малых градиентах температур; это позволяет рассматривать рудное поле как единую геохимическую сверханомалию.

На месторождении Кошмансай, т.е. на более верхних уровнях рудного поля, основному этапу рудообразования предшествовали активные процессы скарнирования и гидротермального магнезиально-железо-марганцевого преобразования карбонатных пород в провесе кровли кислого гранитного интрузива [4]. Именно ему и обязано Кошмансайское рудное поле своим редкометалльным обликом, в основном за счёт насыщения исходных гидротерм вольфрамом и висмутом. Однако граниты представляют собой дегазированные дифференциаты гранитоидной магмы, в связи с чем в рудном поле отсутствуют продуктивные образования грейзеновой формации (главным образом её апокарбонатной разновидности) – флюоритово-слюдяные метасоматиты с фтор-бериллиевой редкометалльной нагрузкой [1, 2, 4].

Эндогенные ореолы рассеяния изучены главным образом по поверхности рудного поля, в связи с чем, несмотря на значительный эрозионный срез, в настоящем трудно получить объёмную картину рассеяния элементов. Однако имеющиеся данные позволяют установить, что элементная трансляция диффузионного характера от полиметаллического рудного тела в окружающее пространство будет несравненно более слабой, чем инфильтрационная трансляция (по типу «оторванного» факела). На это указывает главным образом резкий перепад концентраций и отсутствие зависимости мощности ореола и транслирующего его в пространство рудного тела.

Все это вместе утверждает главной причиной рудовысаждения локальные факторы-изменение давления и литологии вмещающих пород на пути рудообразующей колонны. Учитывая также практически обратную зависимость между степенью гидротермального

преобразования пород и интенсивностью их оруденения, нетрудно придти к выводу, что без изучения эталонных объёмных комбинаций распределения элементов (поверхность, наклонная и вертикальная скважина) трудно рассчитывать на успех поисков на месторождении Кошмансай (особенно в его центральном блоке). Насколько это важно, может свидетельствовать объёмная картина хотя и не чёткой геохимической зональности в районе рудного тела 2 (рис. 1)**,** где с высокой вероятностью можно утверждать, что скв. 8а была остановлена в 20-30м над минерализованной зоной.

Выявление медно-висмутовой минерализации в кварц-кальцит-гематитовой брекчии вблизи рудного тела № 2, в экзоконтакте интрузива, подтверждает предположение о пологом падении его контакта под склон, к хребту Ташкескен.

Трассирование в западном направлении от кварц-кальцит-гематитовой брекчии сильно ожелезнённой структуры повышенной висмутоносности приводит нас к утверждению о необходимости первоочередного вскрытия её горными выработками. Принимая же во внимание наличие близрасположенного шеелит-висмутового рудопроявления Кошмансай-II, вся эта площадь заслуживает быть опоискованной на висмут. Не менее важно и установление на левом борту р.Кошмансай наиболее интенсивных ореолов практически всех изученных рудных и редких элементов в зоне контакта кислых вулканитов и граносиенитов с карбонатными породами, а также в отложениях аксуйской свиты, образующих серповидную структуру.

Эта часть рудного поля в пределах изученной нами площади заслуживает внимания с целью постановки геологоразведочных работ также и потому, что здесь возможно совмещение рудных процессов, связанных с преобразованием карбонатного блока гидротермами вулканогенного и интрузивного характера. Завещает перечень благоприятных признаков широкое проявление складчатых и дизъюнктивных дислокаций в карбонатном блоке и наличие здесь экрана из карбонатно-кремнистых пород.

Изучение редкометалльно-медного рудопроявления Нижний Кошмансай показало, что появление здесь редких относительно мощных сульфидных тел в скарнах не сопровождается какими-либо интенсивными метасоматическими преобразованиями. Поведение элементов относительно скарново-рудного тела, характерно проявлением стандартной, но все же сильно «сжатой» геохимической зональности, возникшей также в условиях ограниченной трансляции. При этом подавляющее число элементов концентрируется в карбонатной раме интрузива и имеет очевидно эманационную природу.

Интересные данные О.П. Горьковым и др. полученные при изучении физических свойств карбонатных и интрузивных пород и особенностей влияния температурного поля интрузии на раму в пределах Кошмансайского рудного поля. Основной вывод из них подводит нас тому, что рудными ловушками могут быть породы в экстремальных физических состояниях. То есть в конечном счёте речь идёт о породах обладающих максимумами благоприятных признаков для рудовысаждения, приобретению которых способствовали магматические, тектонические, осадочно-диагенетические и др. процессы. Потому требуется дополнительное изучение, «просвечивание» экзоконтактовой зоны интрузива от рудопроявления Нижний Кошмансай до рудного тела 19. Не исключено, что будут установлены признаки слепого оруденения на глубине подобно зонам вблизи рудного тела № 2.

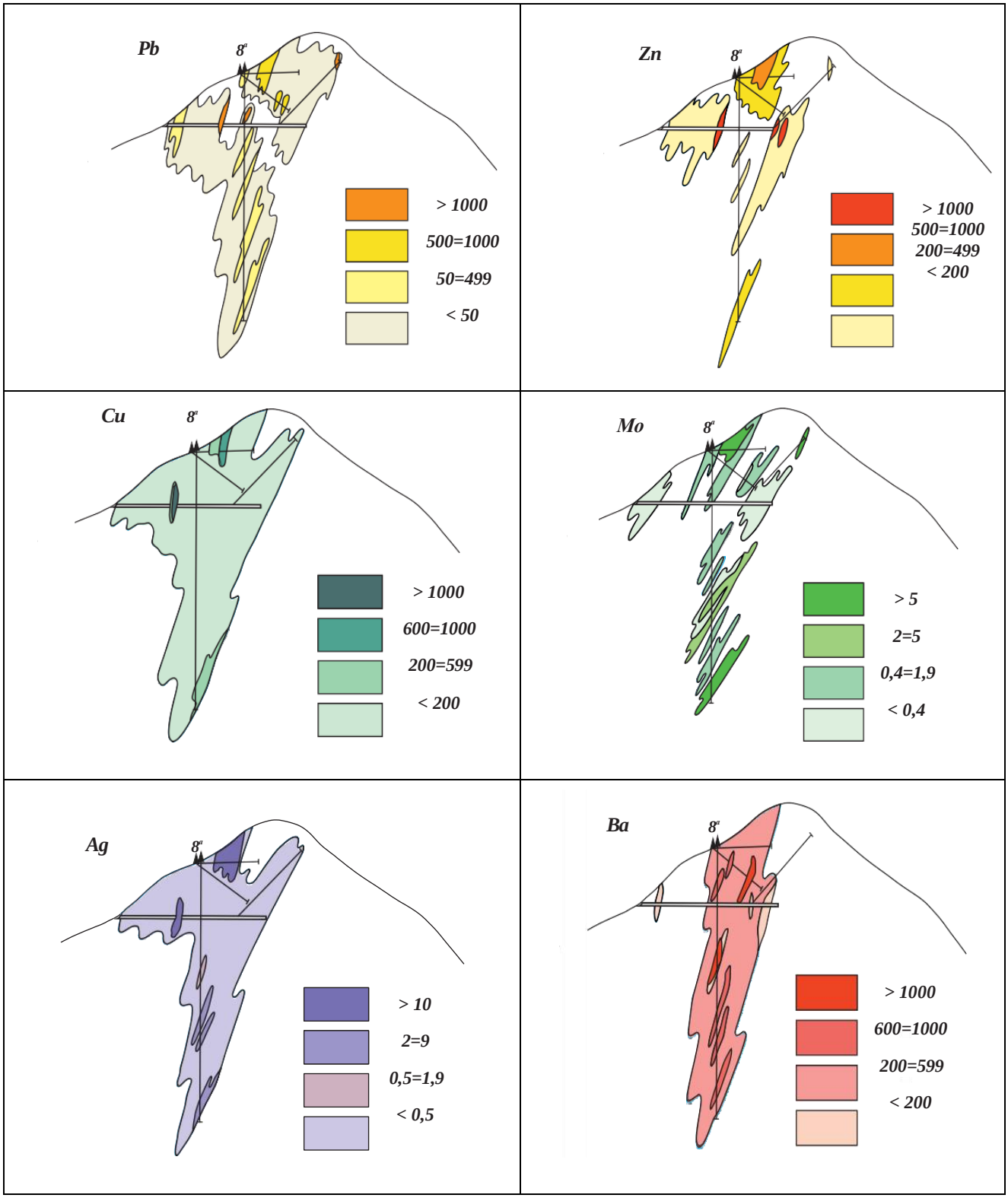


Рисунок 1. Ореолы концентраций Pb, Zn, Cu, Mo, Ag, Ba в вертикальном разрезе скарново-рудного тела № 2, г/т.

Выводы

Таким образом, нашей первоочерёдной рекомендацией по изучению Кошмансайского рудного поля являются: а) постановка геологоразведочных работ в центральном блоке и в

районе рудного тела № 2 для выявления эталонных геохимических признаков в над- и подрудных сечениях скарново-рудных тел; б) проведение на левом борту р.Кошмансай детальных поисковых геолого-геохимических работ с заложением профиля буровых скважин над выходом кварц-кальцит-гематит-медно-висмутовой брекчии с целью прослеживания её в западном направлении и дальнейшего выхода к зоне контакта вулканитов и карбонатных пород в приводораздельной части хребта Ташкескен.

Библиография

1. Айзенштат И.А. и др. Систематизация, обобщение и анализ материалов по геологическому строению, полезным ископаемым и металлогении Чаткало-Кураминского региона за 1973-1976гг. – Ташкент: Геолфонд, 1976.

2. Ежков Ю.Б., Рахимов Р.Р., Холиёров А.Т., Тошметов У.Х. Многокомплексный редкометалльный потенциал Узбекистана и особенности его современного освоения// Мат-лы Международной научно-практической конференции. – Т., ИГГ, **2021.-** С. 192-197.

3. Ежков Ю.Б., Рахимов Р.Р., Холиёров А.Т., Тошметов У.Х. Редкометалльно полиметаллическое оруденение Кошмансайского рудного поля (Восточный Узбекистан) // Руды и металлы. - 2021. - № 6. – С. 60-74.

4. Рехарский В.И. Геохимия молибдена в эндогенных процессах. - М.: Наука, 1973. – 268 с.

Условия локализации золотого оруденения на месторождении Умид

Маматкулов Н.А.* (УГН, mamatqulovnavrozbek9@gmail.com),
Kim Sahng Yup (УГН, sahngyup@naver.com),
Урунов Б.Н. (УГН, urunovbaxrom@mail.ru)

Аннотация

Восточно-Аристантауское рудное поле и входящие в его контур золоторудные месторождения Бешащи и Умид расположены в Центральных Кызылкумах на восточных склонах гор Аристантау. В тезисе описаны геологические особенности месторождения Умид, а именно этапы и условия формирования рудных тел в месторождении, а также их формы. Изучены периоды формирования рудных тел. По административному положению площади месторождений находятся в Кенимехском районе Навоийской области Республики Узбекистан, от месторождения Аристантау участки расположены восточнее в, ближайший населенный пункт, поселок Мурунтау, находится к северо-западу. Рельеф слабо всхолмленный, высотные отметки колеблются от 370 до 420 м, относительные превышения не более 50 м, углы склонов возвышенностей пологие и обычно не превышают 15-20°.

Ключевые слова

Минеральное сырье, руда, стратиграфия, магматизм, ярус, свита

Annotation

The East Aristantau ore field, which includes the Beshachi and Umid gold deposits, is located in the Central Kyzylkum on the eastern slopes of the Aristantau Mountains. This thesis describes the geological features of the Umid deposit, specifically the stages and conditions of ore body formation in the deposit, as well as their shapes. The periods of ore body formation have been studied. Administratively, the deposit areas are situated in the Kenimekh district of the Navoi region, Republic of Uzbekistan. The sites are located east of the Aristantau deposit, with the nearest settlement, the village of Muruntau, lying to the northwest. The terrain is gently undulating, with elevations ranging from 370 to 420 meters and relative height differences not exceeding 50 meters. The slopes of the hills are gentle, typically not exceeding 15-20 degrees.

Keywords

Mineral raw materials, ore, stratigraphy, magmatism, stage, epoch

Теория

Восточно-Аристантауское рудное поле и входящие в его контур золоторудные месторождения Бешащи и Умид расположены в Центральных Кызылкумах на восточных склонах гор Аристантау. По административному положению площади месторождений находятся в Кенимехском районе Навоийской области Республики Узбекистан, от месторождения Аристантау участки расположены восточнее в, ближайший населенный пункт, поселок Мурунтау, находится в к северо-западу. Рельеф слабо всхолмленный, высотные отметки колеблются от 370 до 420 м, относительные превышения не более 50 м, углы склонов возвышенностей пологие и обычно не превышают 15-20°.[1]

Месторождение Умид расположено на границе песчаниковой пачки и переслаивания алевролитов со сланцами Аристантовская свита третьей подсвита (D_2ef-zval), в структурном плане локализовано в северном осложненном крыле Едум- Бешащинской антиклинали и приурочено к узлу пересечения Едум-Бешашинской зоны смятия, обусловивших в нем тектонических зон.[2]

Преобладают ритмично чередующиеся песчаники, алевролиты и сланцы, сложено неравномерно переслаивающимся песчаниками, сланцами олигомиктового, реже полимиктового состава (хлорит-серицит-кварцевого, существенно кварцевого, кварц-полевошпатового, углисто-слюдисто-кварцевого и т.д.). Песчаники серые, зеленовато-серые с преобладанием обломков кварца и кремнистых пород. Размер зерен от 0,005 до 1,5 мм. Все песчаники имеют алевролитовую примесь. Структура пород алевролитовая, песчано-алевритовая, алевро-пилитовая. Редкие прослои зеленовато серых, серых сланцев сложены тонкочешуйчатым агрегатом серицита и хлорита. (Рис.1).

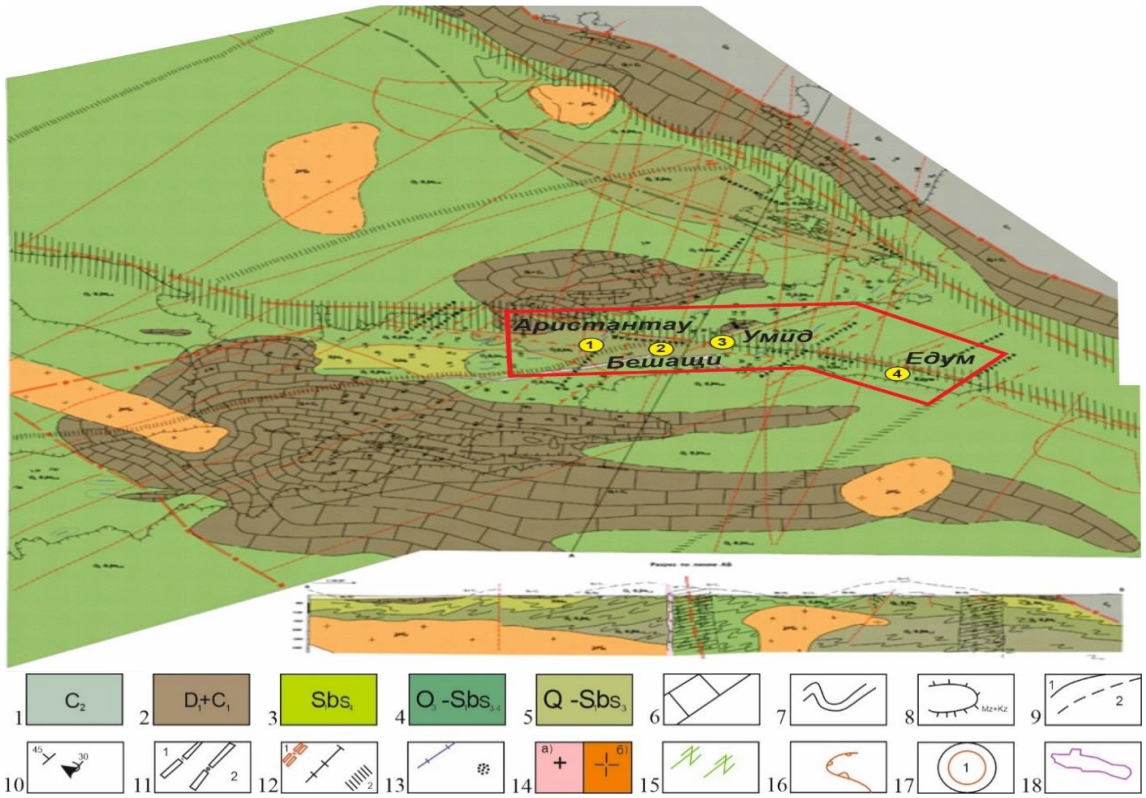


Рисунок 1. Геологическая карта района. Масштаб 1:50000

1.Средний карбон вулканногенно осадочные отложения. 2.Нижний девон нижний карбомерасчлененные доломиты, доломитизированные известняки битуминозные грамелиты, конгломераты. 3.Бесапанская свита четвертая подсвита (зеленый бесапан) песчаники, алевролиты, аргеллиты. 4.Бесапанская свита третья четвертая подсвиты нерасчленненые песчаники, алевролиты, аргелиты пестро окрашенные. 5.Третья подсвита (пестрый бесапан) Алевролиты полимиктовые, аргилиты пестроокрашенные песчаники гравийные, линзы кремней. 6.Карбонатные отложения девона-карбона. 7.Песчано-сланцевые отложения бесапанской свиты. 8.Контуры выходов палеозойских пород на дневную поверхность. 9.Геологические границы: 1-установленные 2-предполагаемые. 10.Элементы залегания: 1-нормальное, 2-опрокинутое. 11.Оси складчатых структур: 1-антиклинали, 2-синклинали. 12.Тектонические нарушения: 1) Выделенные по космо-высотным снимкам 2) По геофизическим данным. 13.Поля кварцевых жил, линз, прожилков и метасоматического окварцевания с золоторудной минерализацией. 14.Интрузивные образованияраниты, гранолорфириты а) выходящие на дневную поверхность б) скрытые чехлом. 15. 1) Дайки основного состава (лампрофиры) 2) Дайки кислого и среднего состава. 16.Область значений напряженности магнитного поля перспективные для локализации золотого оруденения. 17.Рудопроявления золота: 1-Аристантау: 2-Бешащи, 3-Умид, 4-Едум. 18.Граница работ Аристантауского перспективного площада

Магматические образования, представленные главным образом дайками лампрофиров вскрытых канавами и подземными горными выработками. Простирание даек субширотное.[3]

В северо-восточной части месторождения породы Аристантовская свита, перекрыты отложениями девон-карбонового возраста, представленными конгломератами и известняками.

Золоторудные образования локализуются в пределах зоны смятия, рассланцевания и дробления метасоматически и прожилково окварцованных, сульфидизированных пород. Строение рудоносной зоны сложное, ее формируют серии сближенных трещин милонитизации, кварцевые жилы, вкрапленная минерализация. (Рис.2).

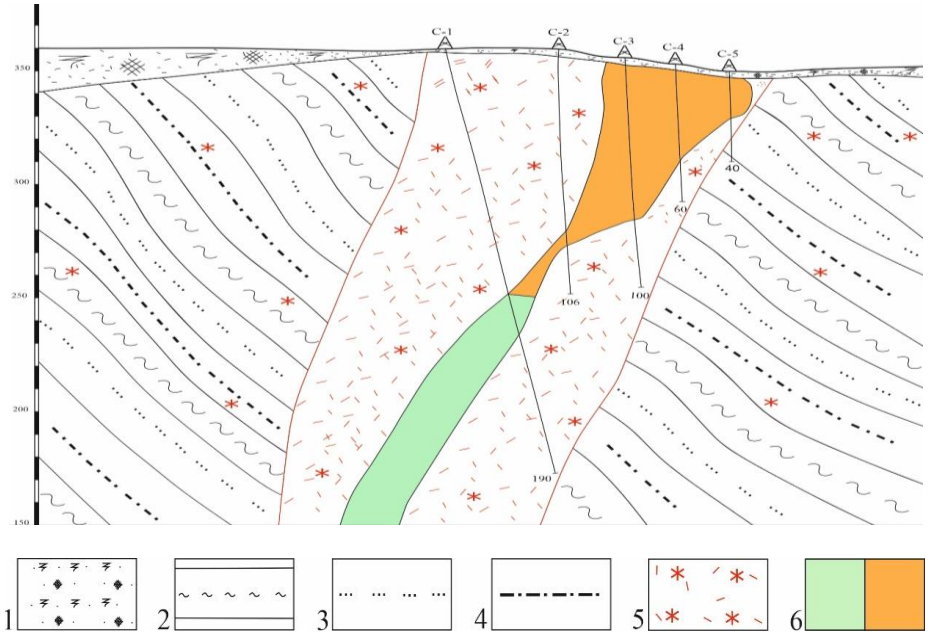


Рисунок 2. Геологические разрез по линии 13-13

1- песчаники 2-сланцы 3- алевролиты 4- конгломераты 5- хлорит-серицит-кварц 6- рудное тело

Падение залежи южное, углы падения варьируют от 78-85° и в результате тектонических подвижек смяты в микроскладки, в виде изоклиналей и синклиналей разных направлений.

По результатам работ на месторождение между р.л. VI-XXII оконтурена одна рудная залежь. Рудная залежь имеет субширотное простирание 170-190°, падение южное под углами 75-90°.

С поверхности рудная залежь изучена 4-мя траншеями, 8-мя канавами и 2-мя расчистками. Вскрытая мощность залежи 2,0-102,0м, при среднем содержании золота от 0,0n до 0,00n г/т. Контакты рудной залежи с вмещающими породами нечеткие и определяются по данным опробования и метасоматическими изменениями пород.

Залежь на глубину по падению имеет простую, слабоизвилистую морфологию. Приповерхностные горизонты рудной залежи подвергнуты гипергенным процессам окисления. По падению до уровня грунтовых вод залежь прослежена шарошечными скважинами в 13-ти разведочных линиях, с расстоянием между линиями 36-60м., между скважинам 14-22,0м.

С целью изучения и прослеживания залежи по падению ниже горизонта + 250м были пробурены наклонные колонковые скважины до максимальной глубины 370,0м. По данным

бурения колонковых скважин стволовая мощность зоны составляет от 4,0 до 56,0м, среднее содержание золота от 0,00n до 0,00n г/т. [4]

Таким образом, рудная залежь ниже водоносного горизонта увеличивается по мощности, а также по содержанию золота в руде. На р.л. №10 для изучения особенностей внутреннего строения, сплошности и морфологии рудной залежи пройден ствол малой шахты № 24 глубиной 40,0 м. (горизонт +324м), и горизонтальные горные выработки из него (штреки и рассечки). Рассечки пройдены вкрест простирания залежи. Пробы с богатыми содержаниями связаны с кварцевыми жилами и их зальбандами. В пределах зоны окисления основными минералами концентратов являются гётит, лимонит, скородит, ниже зоны окисления – пирит, арсенопирит, а участками – антимонит. В остальных продуктах содержания As, Mn, Ba, Co понижено, а содержания Cr, W, V – возрастает. Повышение содержаний As связано с микровключениями арсенопирита, скородита. Минеральная форма проявлений Mn – неясна. Породообразующими минералами являются кварц, полевой шпат, серицит, биотит, хлорит и др. Некоторые породообразующие минералы в процессе эволюции неоднократно переотлагались, что приводило к появлению разновременных генераций и лишь с некоторыми из них связано золото. Ведущими промышленно значимыми минералами являются самородное золото, которое устанавливается достаточно редко, пирит, арсенопирит; к второстепенным по распространенности относятся халькопирит, пирротин, магнетит. Отсутствие видимого золота при высоких содержаниях в сульфидных концентратах указывает на наличие тонкодисперсного золота в пирите, арсенопирите.

Библиография

1. Санакулов К.С., Фузайлов О.У., Кенбаева Ж.А. Исследование золотосодержащей руды месторождения Аристантау на упорность и поиск технологий по её переработке // Горный вестник Узбекистана. - 2020. - № 2 (81). - С. 88

2. Миркамалов Р.Х. «Атлас моделей рудных месторождений Узбекистана» // Ташкент, 2010 г., С.70.

3. Рудные месторождения Узбекистана // Под ред. И.М. Голованова – Т.: ГИДРОИНГЕО, 2001.

4. Рахмонова Н.Б., «Сопоставление подсчетных параметров рассчитанных по результатам детальной оценки и эксплуатационной разведки участка Умид месторождения аристантау» // Ташкент, 2024 г., С.4.

Золоторудные месторождения северной части Аравийско-Нубийского кратона

Мансур А.Х. (МГРИ, университет Асьют, geoahmedhassan2017@yahoo.com),*
Верчеба А.А. (МГРИ, verchebaaa@mgri.ru),
Шарафелдин Х.Э. (Ал-Азар университет, Каир, Египет, hanisharfeldin@gmail.com)

Аннотация

Порфировые золотосодержащие месторождения являются важным геолого-промышленным типом во многих странах мира. Они представляют интерес для горнодобывающей отрасли, так как в ореолах их локации присутствуют месторождения комплексных меднопорфировых руд.

Золоторудные порфировые месторождения в малых магматических телах определяют металлогению золота Аравийско-Нубийского щита. К данному типу мы относим одно из крупнейших месторождений золота Сукари на территории Египта.

Ключевые слова

Порфировые месторождения, золото, Аравийско-Нубийский щит

Теория

Относительно слабо изученным типом золоторудных месторождений в фундаменте древних кристаллических массивов являются порфировые месторождения.

В Северо-Восточной части территории Аравийско-Нубийского щита известно более 110 месторождений золота. Золотая минерализация распространена в породах кристаллического фундамента щита за исключением крайней северной части. Многие исследователи отмечают пространственную связь минерализации золота с гранитами и гранодиоритами, среди архейских и протерозойских мафитов и ультрамафитов. Возраст порфировых кальциево-щелочных гранитоидов определен 559±6 млн. лет.

Богатые золотом месторождения меднопорфировых руд определяются по содержанию золота, превышающему 1 г/т, и часто характеризуются дефицитом молибдена, в отличие от их повышенной концентрации элементов платиновой группы, особенно платины и палладия. Вмещающие гранитоиды различаются по составу, варьируя от щелочного кварцевого монцонита с высоким содержанием калия, щелочного монцонита и сиенита до диорита с низким содержанием калия и кварцевого диорита. Диориты и диорит монцониты интрудированы в зоны коллизионных внутриконтинентальных обстановок активизации древних кратонов.

Типоморфные признаки порфировых месторождений

Порфировые месторождения – относятся к числу главных источников Cu, Mo, а также Au, Ag и сопутствующих Re, и Se. Порфировые месторождения проявлены в различных масштабах и обычно содержат сотни млн. т. руды. От других месторождений гранитоидного ряда они отличаются своими размерами и структурной позицией (зоны дробления, брекчирования и мелкой трещиноватости) [1]. Медно-порфировые месторождения характеризуются штокверковой формой рудных тел, преимущественно крупными размерами, невысокими содержаниями и относительно равномерным пространственным распределением меди, наличием извлекаемых ценных попутных примесей.

Пространственная связь оруденения с порфировыми интрузиями преимущественно среднего состава: диоритовыми порфиритами; кислого: гранодиоритового состава, гранит-порфирами, кварцевыми порфирами и более щелочными: кварцевыми монцонит-порфирами.

Приуроченность минерализации или непосредственно к порфировым интрузивам, или к вмещающим породам близлежащих экзоконтактовых зон, прожилково-вкрапленный, штокверковый характер минерализации и проявление диатрем и эксплозивных брекчий [1].

Устойчивый состав главных рудных минералов (пирит, магнетит, халькопирит, в ряде месторождений - борнит, молибденит, энаргит, халь-козин) и сопутствующих им нерудных (кварц, серицит, калиевый полевой шпат, биотит, минералы группы каолина и др.) [1].

Развитие оруденения в зонах широко проявленных гидротермальных изменений (калиевых, филлитовых, аргиллизитовых и пропилитовых), характерных для широкого диапазона температур; зональность вторичных минералов (от центра системы к периферии): биотит, калиевый полевой шпат → серицит, кварц → монтмориллонит, каолинит → хлорит, кальцит, эпидот и др.

Золоторудные месторождения Аравийско-Нубийского щита

В Северо-Восточной части территории Аравийско-Нубийского щита известно более 110 месторождений золота. Золотая минерализация распространена в породах кристаллического фундамента на всей территории Египта, за исключением крайней северной части. Почти все авторы отмечают пространственную связь минерализации золота с гранитами и гранодиоритами, среди архейских и протерозойских мафитов и ультрамафитов. Возраст порфировых кальциево-щелочных гранитоидов определен 559±6 млн. лет [3].

К данному типу мы относим одно из крупнейших месторождений Аравийско-Нубийского массива на территории Египта Сукари [2].

Рудный район месторождения Сукари сложен вулканогенно-терригенными породами и гранитодными массивами.

С гранитизацией пород связана рудоносность гранитоидных массивов, что наблюдается на некоторых золоторудных месторождениях мира. Гранитоидные массивы размещается между двумя сочленяющимися разломами субмеридионального и северо-восточного направления, а также сопряжённых с ними контактовых разрывов, которые выполняют роль локальных рудоконтролирующих нарушений. Гранитоидный массив вытянут с север—северо-востока на юг—юго-запад на 2,3 км. В северной, наиболее широкой части его поперечник достигает 700—800 м, на юге он сокращается до 100—150 м. Золотое оруденение локализовано в массиве позднепротерозойских гранитов, возраст которых составляет 559+6 млн лет. Вместе с тем, возраст золотого оруденения, по данным рубидий-стронциевого анализа, датируется 522+12 млн. лет.

Гранитоиды пересечены дорудными, но слабо минерализованными разрывами субширотной серии. Они расположены менее чем в 30 - 50 м один от другого. Кроме того, проявлены трещинные нарушения субмеридионального направления. Кварцевые жилы с сульфидами также тяготеют к разрывным структурам внутри гранитоидных тел. Именно в такой структурной решетке, между сравнительно плотно расположенными дорудными нарушениями, сформировались рудоносные трещинные пучки и минерализованные зоны золото-кварцевых жил [2].

Золотое оруденение жильного типа проявлено в апикальной части гранитоидного тела, состоящего из гранодиорита–тоналита.

Рудное тело, известное как порфир Сукари, связано с сульфидами, содержащимися в кварцевых жилах и околожильных гидротермально измененных породах. В сульфидной руде Сукари преобладают пирит и арсенопирит, а также отмечены сфалерит, халькопирит и галенит.

Золото содержится в виде агрегатов зерен, расположенных между зонами арсенопирита, в виде тонкой вкрапленности вдоль трещин в пирите и арсенопирите и в виде

крупных золотых зерен, которые являются промежуточными к пылеобразному пириту и арсенопириту.

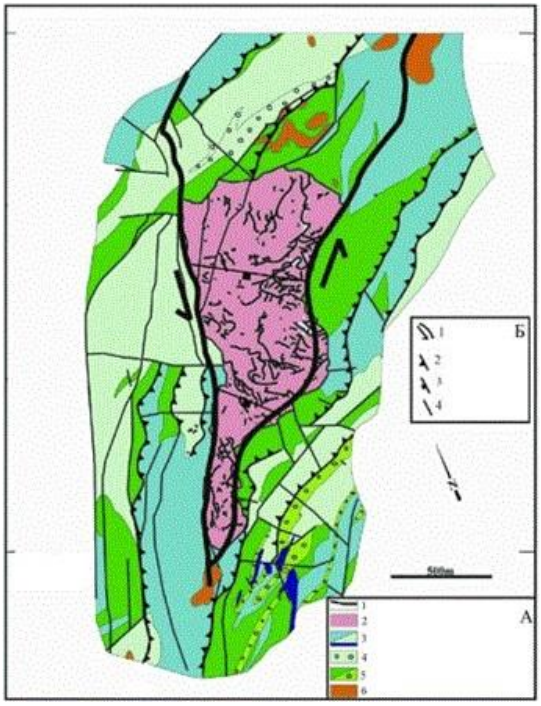


Рисунок 1. Геологическая схема месторождения Сукари [2]
А: 1 - Кварцевые жилы; 2 - Гранит- порфир; 3 - Андезиты и их туфы;4 - Конгломераты; 5 - Андезито-базальты и их подушечные лавы; 6 – Габбро. Б: 1 - Сдвиги; 2 - Надвиги; 3 - Сбросы; 4 - Трещины

Метасоматические изменения вмещающих пород

Типичные зональные метасоматические изменения наблюдаются во всех порфировых месторождениях мира. Калиевые, кварц-серицитовые, расширенная аргиллизация и пропилитизация являются наиболее яркими примерами этого процесса.

Аргиллизитовые изменения обычно появляются довольно поздно в процессе образования порфи ровой системы. По мнению некоторых исследователей, различия между различными типами метасоматитов не связаны с различиями в самих порфировых системах. Вероятно, это происходит просто потому, что в большинстве случаев некоторые области вторичных изменений были эродированы. Следовательно, классические модели зональности метасоматических изменений часто не включают расширенные аргиллизитовые изменения [4].

Детальные исследования порфировых месторождений показали, что ранние калиево-силикатные вторичные изменения (КПШ ± биотит ± магнетит с кварцевыми жилами) порфировых систем образовались в условиях высоких температур (400-600°C), при участии сильно минерализованных флюидов магматического происхождения. Поздние серицитовые жилы ассоциируют с более холодными и менее минерализованными водами.

Выводы

Медно-порфировые месторождения – важный геолого-промышленный тип. Несмотря на малые содержания полезных компонентов, они имеют большие запасы.

Медно-порфировые месторождения обладают собственной структурой, характерной зональностью и оруденением. Приуроченность их к значительным геологическим структурам также помогает геологическому изучению месторождения. Время образования ныне существующих месторождений ограничено мезо-кайнозойской эпохой, что объясняется уничтожением месторождений вследствие эрозии или тектонических движений со временем.

Разновидности медно-порфировых месторождений обуславливаются различиями состава, внедрения и размера материнских плутонов и вмещающих пород.

Гидротермально-метасоматическая зональность в данном типе месторождений важна для их разведки, картирования, изучения и оценки запасов, потому что может дать информацию о строении всей структуры.

Библиография

1. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М.: Недра, 1983. – 256 с.

2. Шарафелдин Х.Э. Верчеба А.А. Перспективные геолого-промышленные типы месторождений золота в восточной пустыне Египта. Естественные и технические науки. №1. 2019. – С. 56-59.

3. Шарафелдин Х.Э. Верчеба А.А. Ренессанс золотодобычи в Египте. Вестник Пермского университета 2019. Том 18, № 2. С. 165-171

4. Sillitoe R.H. Porphyry Copper Systems, Society of Economic Geologists, Inc. Eco-nomic Geology, v. 105, 2010, pp. 3–41.

Биологически активные кремни - перспективный вид нерудного минерального сырья

Мартынов Д.В.* (МГРИ, doctor-cto@mail.ru),
Вольфсон И.Ф. (ФГБУ "ИМГРЭ", rosgeo@yandex.ru),
Арсеньевич Д. (МГРИ, dimitrije65002020@gmail.com)

Аннотация

В статье рассматриваются кремни как важное нерудное полезное ископаемое, обладающее выраженной биологической активностью и литооздоровительными свойствами. Освещены основные аспекты взаимодействия структур полиморфов кремнезема, слагающих кремни, с микроорганизмами в природных условиях. Показана роль кремней в гипергенных процессах почвообразования и формирования земной коры. Особое внимание уделено исследованию биокосной системы “кремни - актиномицеты” и выявлению механизмов их взаимодействия.

Ключевые слова

Биоактивные кремни, литотерапия, нерудные полезные ископаемые

Теория

Введение

Кремни являются одними из самых древних видов полезных ископаемых, которые когда-либо добывались и использовались человеком. С развитием общества и науки, а также технического прогресса, области применения кремней претерпели изменения. Однако уникальные характеристики этих минералов долгое время воспринимались лишь с точки зрения их физико-механических свойств. В древности кремни использовались для изготовления различных орудий труда и охоты, таких как топоры, скребки, ножи, наконечники стрел и амулеты, а позже, как мельничные жернова и посуда для химических целей. В современном мире кремни находят применение в таких областях, как футеровка мельниц для керамической шихты (*Лапшин и Шкода,* 2016), добавки для производства тонкой керамики и абразивные материалы (*Фролова*, 2019). Ведутся исследования по использованию кремней в качестве модификаторов полиэтиленов при производстве металло-полимерных (композитных) материалов (*Михайлин*, 2006). Также, кремни могут быть использованы в медицине для биологической активации воды и в качестве фильтров очистки вод в инженерных системах (*Вольфсон и Зенова*, 2002).

Основными породообразующими минералами кремней являются халцедон, опал и кварц, в структуре которого отмечаются фрагменты кристобалита и тридимита. В составе примесей в кремнях, могут присутствовать карбонаты, различные глинистые минералы, сульфаты, фосфаты, водные алюмосиликаты, твердые углеводороды и другие, имеющие важное значение для изучения условий генезиса, а также потребительских свойств кремней.

Обычно кремни встречается в виде желваков или конкреций, значительно реже образуют линзовидные и пластовые залежи. Кремневые конкреции могут иметь округлые, пальцевидные, пластинчатые, ветвеобразные, кольцеобразные, цилиндрические и другие конфигурации. Многие конкреции имеют пережимы, наросты, отростки и сквозные дыры. Размер кремневых конкреций колеблется в широких предела, обычно от размера песчинок до 60 см и более в поперечнике, а в среднем размер конкреций составляет 5-30 см.

Особое внимание уделяется литотерапевтическим свойствам кремня, которые становятся важным аспектом в современном здравоохранении. Исследования показывают, что кремни могут обладать антимикробной активностью и способны влиять на микроорганизмы, что открывает новые перспективы для использования кремней в медицинских и экологических

целях. Несмотря на это, вопросы ассоциации кремней с бактериями, а также их воздействия на микробиологическую активность, остаются недостаточно изученными.

Литотерапия

Данная наука изучает лечение с использованием минералов и является одним из направлений альтернативной медицины, которое основывается на применении природных камней и минералов для профилактики и лечения различных заболеваний. В последние десятилетия наблюдается возрождение интереса к литотерапевтическим свойствам различных минералов, включая кремни, которые давно известны своим воздействием на организм человека. По данным В. В. Кривенко с соавторами около 70 химических элементов не усваиваются в организме человека, если в нем не хватает кремния. Нарушение кремниевого обмена у детей ведет к анемии, размягчению костей, выпадению волос, болезням суставов, туберкулезу, диабету, рожистым воспалениям кожи, камням в печени и почках. Кремний особенно активно ведет себя в местах переломов костей и разрыва связок, где его содержание возрастает до 50 раз (*Скрипникова и Гурьев* 2014).

Микробиологическая ассоциация

Многие микроорганизмы, в частности бактерии, развились таким образом, что могут взаимодействовать с минералами-полиморфами кремнезема или использовать вещество кремней в своем жизненном цикле. Это может включать как пассивное присутствие на поверхности минералов кремнезема, так и активное участие в биогеохимических циклах, таких как растворение или осаждение кремнистых соединений. Некоторыми из этих представителей являются почвенные бактерии – актиномицеты *Actinomyces* и *Streptomyces*, известные своей способностью образовывать нитевидные структуры, подобные грибным гифам. Эти микроорганизмы играют важную роль в разложении органического вещества в почвах и водных экосистемах. Они могут изменять pH в зоне контакта и растворять твердый геологический материал, образуя туннели микронного размера вследствие выделения органической кислоты, образующейся на кончиках мицелия, и, таким образом, извлекать питательные вещества, в первую очередь химические элементы, необходимые для поддержания активной жизнедеятельности микроорганизмов (*Staudigel* и др., 2008). Хотя эти процессы мало изучены.

Актиномицеты являются также источником получения таких антибиотиков, как стрептомицин, тетрациклин и многих других. Представляется перспективным создание и применение фармацевтических препаратов и БАДов на основе двуокиси кремния для улучшения обменных процессов и антиоксидантной защиты организма. Новые методы лечения таких заболеваний, как артрит и остеопороз, могут быть разработаны с использованием кремней.

Исследование влияния микроорганизмов на деградацию силикатных минералов в естественных условиях представляет собой ключевой вопрос для специалистов в области минералогии, геохимии и микробиологии при анализе поверхностных процессов формирования почв и земной коры. Анализ взаимодействия между бактериями и минералами-полиморфами кремнезема, слагающими кремни, демонстрирует перспективность применения биологически активных веществ, включая органические кислоты и ферменты, которые продуцируются актиномицетами либо формируются в ассоциациях водорослей и бактерий под воздействием актиномицетов (*Вольфсон и Зенова*, 2003). Это открывает новые возможности для оптимизации биотехнологических методов извлечения силикатных компонентов. Учитывая биологическую активность минералов кремнезема, их использование видится перспективным в различных сферах: медицинской практики, в первую очередь в фармацевтической промышленности и биотехнологическом производстве. Данный фактор

необходимо принимать во внимание при планировании рационального использования недр и проведении оценки месторождений карбонатных пород в регионах Российской Федерации (Рисунок 1) (*Вольфсон*, 2013).

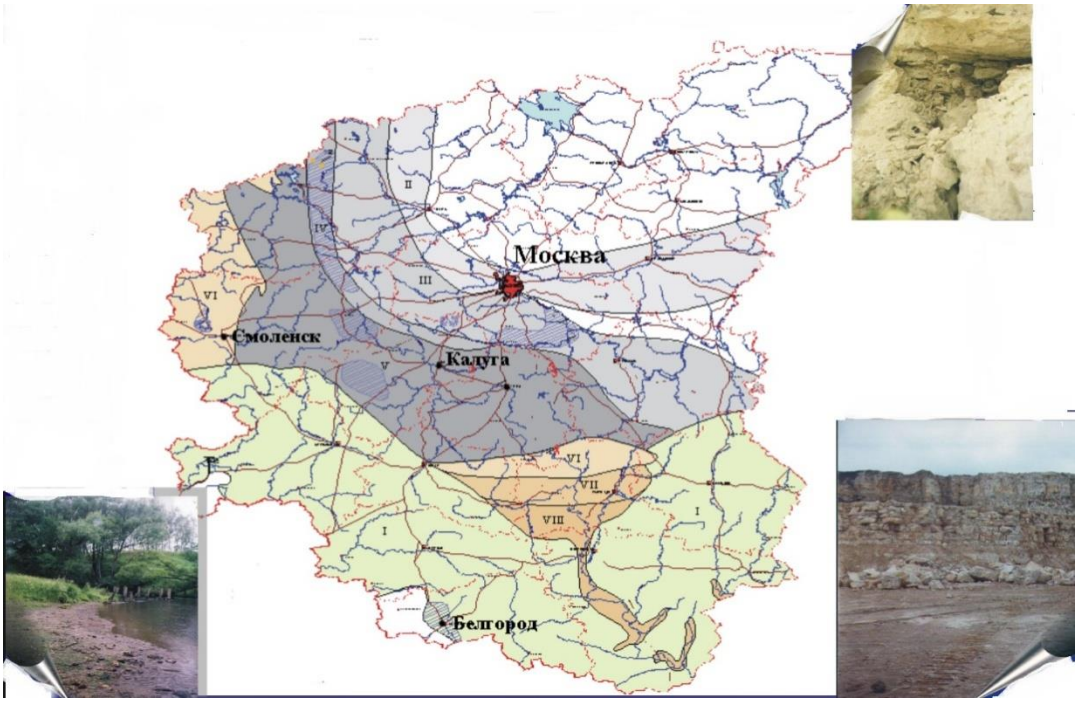


Рисунок 1. Карта размещения кремневмещающих пород Московской синеклизы. Кремни различной формы в разрезах карбонатных пород (Вольфсон, 2003)

Выводы

В заключение, кремни, благодаря своим уникальным физико-химическим, микробиологическим и минералого-геохимическим характеристикам, представляют собой перспективный объект для дальнейших исследований в области литотерапии и биотехнологии. Кремни как объекты геомедицинских исследований помогают выявить не только физико-химические свойства минералов кремнезема, но и биологическую активность почвенных бактерий, образующих с кремнями ранее не установленную геоэкологическую систему, продукты которой уже в обозримом будущем позволят разработать способы создания и применения в профилактике и лечении различных заболеваний. Однако важно отметить, что научные исследования в области литотерапии с использованием кремней остаются на стадии предварительных работ, и многие вопросы, касающиеся механизмов их воздействия на организм, требуют дополнительного изучения.

Данный подход требует переоценки имеющихся местонахождений кремня, с созданием карт, особенно в центральных районах России, где данное полезное ископаемое широко распространено в карбонатных породах фанерозоя. Кремни представляют собой перспективные объекты для дальнейших исследований, которые могут быть использованы не только в промышленности, но и в биотехнологических процессах, что делает его ценным сырьем для различных областей науки и практики.

Библиография

1. Вольфсон И.Ф. Разведка и охрана недр, №7, 2013 г. С.62-67. Нерудные полезные ископаемые в решении прикладных геоэкологических задач
2. Вольфсон И.Ф., Зенова Г. М. Бактериальный комплекс высококремнистых желваковых пород. Конференция "Роль минералогических исследований в решении экологических проблем". Материалы к Годичному собранию ВМО, 28 - 30 мая 2002 г., г. Москва/М.; Изд. ВИМС МПР, 2002, с. 40 - 42.
3. Вольфсон И.Ф., Зенова Г.М. Новый вид минерального сырья: биологически активные кремни. Международная конференция «Экологическая геология и рациональное недропользование». Санкт-Петербург, 6-1 0 октября 2003 г. Материалы конференции. Изд-во СПб ГУ, с.171 - 172.
4. Иванова Е. А. Модельные ассоциации цианобактерииAnabaenavariabilis и актиномицетов и их роль в изменении структуры глинистых минералов. 2013. — 26 с.
5. Лапшин О.В., Шкода О.А. Исследование динамики футерования энергонапряженной мельницы в условиях механической активации порошка кремния // Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия. 2016. No. 2. С. 4–8.
6. Михайлин Ю. А. «Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы».Изд. «Профессия» 2006 год
7. Скрипникова И. А., Гурьев А. В. Микроэлементы в профилактике остеопороза: фокус на кремний. Остеопороз и остеопатии, 2014, (2), с. 36-40.
8. Фролова М. Г. Композиционная керамика на основе карбида кремния, армированная волокнами карбида кремния. Дис. 2019
9. Staudigel H., Furnes H, etc. Microbial glass bioalteration: Inferring mechanisms of biocorrosion from trace fossil morphology. 2008.

Перспективы добычи оптически чистого кварца из глин Шулеповского месторождения (Рязанская область)

Сагалевич В.Д.* (МГУ им. М.В. Ломоносова, v.sags@yandex.ru),
Богуславский М.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова, mikhail@geol.msu.ru)

Аннотация

Каолиновые глины – дефицитное минеральное сырье, которое требует постоянного отслеживания минерально-сырьевой базы. Чтобы отрабатывать месторождения глинистого сырья эффективно, необходимо оценивать минеральный состав пород, проводить полную гранулометрию и анализ на содержания других полезных ископаемых.

Мировая практика показывает, что из месторождений каолинового сырья добывают особо чистый кварц – концентрат с содержанием SiO_2 выше 99,9%, полученный путем физико-химической очистки. Это стратегический минерал, который используется в различных отраслях промышленности высоких технологий.

Учитывая цены на высокочистое кварцевое сырье, добывать его на месторождениях каолина в России может быть экономически целесообразно.

Авторы провели оценку качества кварца на Шулеповском месторождении огнеупорных и тугоплавких глин в Рязанской области и изучили перспективы его обработки до высокочистого состояния.

Ключевые слова

Каолин, глинистое сырье, особо чистый кварц, комплексность

Теория

Каолин – высокоалюминиевая глинистая горная порода, состоящая из каолинита в смеси с зернами кварца, другими глинистыми минералами и минералами-примесями: щелочами, силикатами титана и Fe-окислов. Широкий диапазон физико-химических и физических свойств обуславливает применение каолина во многих сферах производства – от строительства и керамики до тонкой химической промышленности [1, 6].

Каолины внесены в список дефицитного минерального сырья и требуют постоянного отслеживания состояния минерально-сырьевой базы. Из-за особенностей текущего производственного подхода в России, подразумевающего обязательную проверку глин только на огнеупорность, часть каолинов по умолчанию внесены минерально-сырьевую базу как огнеупорные, хотя могут использоваться рациональнее и решать более сложные задачи [3, 5].

Баланс и изменения качества конечной продукции зависят от минерального состава смеси. При переработке глинистого сырья необходимо оценивать минеральный состав пород и проводить полную гранулометрию [2]. Баланс и изменения качества конечной продукции зависят от минерального состава смеси: обогащенные глины всегда ценятся выше благодаря более выдержанному качеству и понятным характеристикам [10], а цена каолина, прошедшего центрифугирование, может отличаться в несколько десятков раз от стоимости каолинита, продаваемого в виде сухого порошка [9].

Кроме того, важно проводить анализ каолинов на содержания других полезных ископаемых, которые можно продавать отдельно. Так в США из месторождений каолинового сырья добывают особо чистый кварц (ОЧК) – концентрат с содержанием SiO_2 выше 99,9%, полученный путем физико-химической очистки. Это стратегический минерал, который благодаря уникальным свойствам используется в различных отраслях высоких технологий – микроэлектронике, полупроводниках и солнечных батареях.

По качеству обработки особо чистый кварц делят на ультрачистый ($SiO_2 \geq 99{,}998\%$), высокочистый ($SiO_2 \geq 99{,}995\%$), среднечистый ($SiO_2 \geq 99{,}99\%$) и стандартный ($SiO_2 \geq 99{,}9\%$), а до 70% мировой добычи приходится на пегматиты месторождения Спрюс-Пайн в США [11]. В 60-х годах прошлого века основными промышленными минералами здесь были калиевый полевой шпат и слюда, но с повышением цены и спроса на ОЧК компании провели переоценку месторождений других минералов, встречающихся в пегматитах.

Так компания UNIMIN в конце 80-х получила особо чистый кварц стандартов IOTA 4, 5, 6, SV из остаточных каолинов, а в 1997-м компания Sibelco в районе Спрюс-Пайн провела переоценку территорий Gusher Knob и Brushy Creek, в результате которой обнаружила перспективную площадь в 32 гектара, содержавшую месторождения высоко- и ультрачистого кварца в остаточных каолинах [7, 11]. Общие запасы кварца при 10% извлечения составили 100 тысяч тонн, а материал разведочных скважин показал, что из месторождения можно получать кварц стандарта IOTA 8 чистотой 99,9992%.

Учитывая, что цена ультрачистого кварца достигает 85 тысяч долларов за тонну [8], попутное извлечение ОЧК из месторождений каолина может быть экономически целесообразно и на других мировых рудопроявлениях. В связи с этим при введении в эксплуатацию новых объектов каолиновых глин необходимо оценивать качество кварца и изучать возможность его обработки до высокочистого состояния, а на некоторых уже эксплуатируемых месторождениях может быть целесообразно провести его переоценку.

Шулеповское месторождение огнеупорных и тугоплавких глин, которое авторы выбрали в качестве объекта исследований, расположено в Милославском районе на юге Рязанской области в зоне сочленения северо-восточного борта Воронежской антеклизы и юго-восточного склона Московской синеклизы. Объект открыли в начале 1970-х после проведения поисковых работ на строительные материалы, суммарные запасы оцениваются в 1,4 млн тонн [4].

Цель настоящего исследования – провести оценку качества кварца на Шулеповском месторождении и изучить возможные пути его обработки до высокочистого состояния.

Месторождение представляет собой серию субгоризонтальных линз (мощность – от нескольких см до 6–8 м), залегающих в глинисто-песчаной толще мощностью 22 метра. Всего в сводном разрезе выделяются восемь слоев (Рисунок 1) среди которых присутствуют три линзы: верхняя (глубина – 0,3 м), линза-1 (7–10 м), линза-2 (14–18 м). Верхняя линза в настоящее время не отрабатывается, линза-1 уже полностью отработана, линза-2 только вводится в эксплуатацию. Одна из скважин также вскрыла нижнюю линзу на глубине 28 м, но ее морфология и мощность пока не известны [4].

Минеральный состав линз включает в себя каолинит (95%), смешаннослойный смектит-вермикулит (2–4%), галлуазит (1–3%) и тонкодисперсный кварц (2–4%); из акцессорных минералов встречаются анатаз, циркон, монацит и ксенотим. Вмещающая глинисто-песчаная толща сложена кварцем и слюдами, в кровле и подошве линз увеличивается содержание кварца и появляется примесь гетита [4]. Глинистый материал вмещающих отложений состоит из каолинита (40–60%), смектита (40–70%) и слюд. Песчаный материал мелко-среднезернистый, и представлен, в основном, хорошо окатанными зернами кварца (95%).

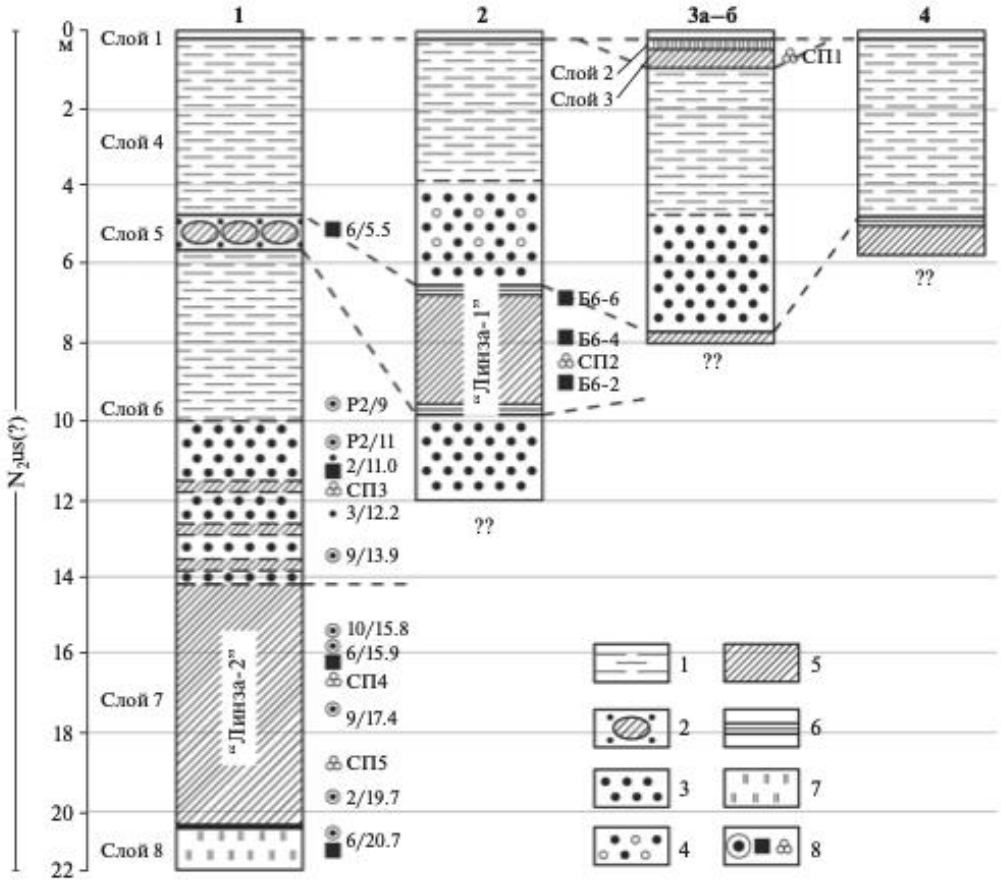


Рисунок 1. Разрезы, описанные в пределах Шулеповского месторождения: 1 – сводный разрез по разведочным скважинам, 2-4 – разрезы по бортам карьера. Условные обозначения: 1 – глинистые пески, 2 – мелкие каолинитовые линзы в песчаном прослое, 3 – пески, 4 – гальки ожелезненных песчаников, 5 – каолинитовые глины, 6 – переходные глины, 7 – тонкое переслаивание песков [4]

Для изучения потенциала Шулеповского месторождения с точки зрения добычи особо чистого кварца были исследованы пробы полезной толщи линзы-2, которая прошла детальную разведку, а также образцы на контактах полезной толщи с перекрывающими и подстилающими отложениями. Фракция кварца размерностью больше 0,1 мм была описана под микроскопом, а затем отправлена на химический анализ.

Результатом настоящего исследования стало описание фракций кварца в линзе-2, а также на ее контактах со вмещающими породами. Для всех проб характерно присутствие железа, однако кварцевая фракция, взятая из полезной толщи, характеризуются более выраженным ожелезнением в сравнении с кварцем на контактах со вмещающими породами. Кварц из линзы-2 средне-крупнозернистый (отдельные зерна – до 2 мм) в то время, как зерна на контактах преимущественно мелкозернистые (от 0,1 до 0,25 мм).

Глины Шулеповского месторождения не рекомендованы к добыче кварца без процедуры обогащения, включающей выщелачивания железа. Базой для получения особо чистого кварца может быть даже кварц пегматитов с содержанием SiO_2 около 80% – перспективы получения высокочистого концентрата зависят от подобранного алгоритма очистки [11].

Выводы

Для кварца Шулеповского месторождения характерно присутствие железа: кварцевая фракция полезной толщи характеризуются более выраженным ожелезнением в сравнении с кварцем на контактах со вмещающими породами. Глины Шулеповского месторождения не рекомендованы к добыче кварца без процедуры обогащения, включающей процедуру выщелачивания железа.

Библиография

1. Богуславский М.А., Коршунов Д.М., Вильданов Д.И. Каолин – критическое сырьё для РФ? // Смирновский сборник. 2021. С. 342–355.
2. Богуславский М.А., Коршунов Д.М. Методика разведки каолиновых глин и ГОСТы, с ними связанные, требуют серьезных изменений подходов // Недропользование XXI. 2022. № 6, с. 78-84
3. Богуславский М.А. Размышления на тему введения новых элементов в список стратегических видов минерального сырья и появление термина «дефицитные виды минерального сырья» // Недропользование XXI. 2022. № 6, с. 106-110
4. Коршунов Д.М., Богуславский М.А. Минералого-геохимические особенности, генезис и возраст огнеупорных глин Шулеповского месторождения (Рязанская область, Центральная часть Европейской России) // Литология и полезных ископаемые. 2022. №1, с. 1-19
5. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых «Глинистые породы». М.: ФГУ ГКЗ, 2007. 37 с.
6. Lorenz, V., Gwosdz, W., 1997. Bewertungskriterien für Industriemineral, Steine und Erden, part 1 Tone. Geol. Jahrb. H 2, 1–108.
7. Parker J.M. Residual kaolin deposits of the Spruce Pine district, North Carolina // North Carolina Dept. of Conservation and Development. 1946
8. Vatalis K.I., Charlampides G., Platias S., Benetis N.P. Market developments and industrial innovative applications of high purity quartz refines // Procedia Economics and Finance. 2014. V. 14. P. 624-633
9. Wilson I.R. Kaolin and halloysite deposits of China // Clay Minerals, 2004. V. 39. P. 1-15
10. Wilson I.R., De Souza Santos H., De Souza Santos P. Kaolin and halloysite deposits of Brazil // Clay Minerals. 2006. V. 41. P. 697-716
11. Zhang, R., Tang, C., Ni, W., Yuan, J., Zhou, Y., Liu, X. Research Status and Challenges of High-Purity Quartz Processing Technology from a Mineralogical Perspective in China // Minerals. 2023. Vol 13, 1505

Петрографо-геохимическая характеристика Танюрерско-Золотогорского плутонического комплекса. Корякско-Камчатская складчатая область

Павлов И.Д.* (ФГБУН Геологический институт Российской академии наук, ilyapavlov1147@gmail.com),
Межеловская С.В. (МГРИ, Mezhelsofya@gmail.com)

Аннотация

Проведено петрографическое и геохимическое изучение плутонических пород Танюрерско-Золотогорского комплекса вмещающего потенциальную рудную Cu-Mo минерализацию в пределах Базового и Моренного рудопроявлений. Установлена гомодромная последовательность трех фаз внедрения и единство генерации расплавов, кристаллизация которых происходила на небольшой глубине в неравновесных условиях. Особенности вторичных изменений пород указывают на латерально-концентрическое строение метасоматитов.

Ключевые слова

Удско-Мургальский островодужный вулкано-плутонический пояс, меловые гранитоиды, Танюрерский золото-меднорудный район, Базовый и Моренный рудные узлы, петрографо-геохимическая характеристика, рудная минерализация

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках темы № FMMG-2024-0001 госзадания ГИН РАН.

Теория

Рудопроявления Базовое (меднорудное) и Моренное (золото-меднорудное) Моренного рудного узла (РУ) находятся в пределах Удско-Мургальского островодужного вулкано-плутонического пояса (J_2 – K_1), прослеживающегося от Станового пояса через полуострова Кони-Пьягина, Тайгонос, в бассейн реки Пенжины. Крупный ареал развития Au-Ag-эпитермальных и Mo-Cu-порфировых месторождений совпадает с фронтальной зоной более молодого Охотско-Чукотского окраинно-континентального позднемелового вулканического пояса (ОЧВП), наложенного на интенсивно дислоцированный и местами шарьированный в сторону континента терригенно-вулканогенный комплекс окраинно-континентальной дуги. По направлению к континенту существенно Cu-оруденение сменяется Mo-Cu- и собственно Mo-, часто с W-, а далее Sn-оруденением, что хорошо коррелирует с увеличением мощности «гранитного» слоя и возрастанием в составе рудоносных магматических комплексов роли лейкократовых гранитов и гранит-порфиров [2].

В свою очередь, данные рудопроявления принадлежат Танюрерскому золото-меднорудному району, расположенному в северной части хребта Пекульней. Пекульнейский хребет входит в состав Корякско-Камчатской складчатой области и рассматривается исследователями с разных сторон: или как фрагмент одноименной палеодуги, или как трансформная зона, на южной границе Чукотского континента. Танюрерский золото-меднорудный район большей частью попадает на лист карты Q-60-VIII, меньшей частью – на Q-60-XIV. Его площадь – более 1000 км^2.

В геологическом строении Базового и Моренного рудных узлов участвуют вулканогенно-терригенные отложения титон-валанжинского возраста (грунтовская толща), прорванные интрузиями танюрер-золотогорского (мургальского) плутонического комплекса. Они нарушены протяженной сдвиговой зоной, состоящей из серии сопряженных прямолинейных, дугообразных и кулисообразных разрывных нарушений (Амгуэмская зона).

Верхнеюрско-нижнемеловые образования перекрыты вулканитами амгеньской толщи ОЧВП и прорываются телами-сателлитами позднемеловых экитыкинского и леурваамского комплексов [3].

В составе танюрер-золотогорского (мургальского) габбро-тоналит-плагиогранитового комплекса выделяются три фазы внедрения. Первую образуют в разной степени метаморфизованные габбро и габбродиориты, слагающие наименее эродированные части интрузивных массивов. Вторая фаза представлена диоритами, кварцевыми диоритами, гранодиоритами и тоналитами, образующими основной объём интрузивных образований. На позднем этапе становления комплекса внедрялись плагиограниты и биотит-амфиболовые граниты. В пределах Моренной площади были закартированы монцогаббро, монцодиориты и кварцевые монцодиориты [3].

Вмещающие отложения грунтовской толщи на контактах с гранитоидами приобретают гнейсовую текстуру (мощность зоны около 10 м). Перекрывающие андезиты мигматизированы (мощность до 1 м), осадочные и вулканогенно-осадочные отложения преобразованы в кварц-биотитовые роговики. Мощность зоны контактового метаморфизма изменяется от 15 метров при крутых падениях контактов и до сотни метров в останцах кровли массива. В гранитоидах второй и третьей фаз часто содержатся мелкие ксенолиты габброидов первой фазы и амфиболизированных вулканитов грунтовской толщи [3].

Рудные тела с промышленными и близкими к ним содержаниями меди локализованы в пределах порфировых даек северо-западного простирания и в фанеритовых гранитоидах их экзоконтактов. Частично рудные тела приурочены к эруптивным брекчиям в апикальных частях порфировых даек, что является признаком верхних уровней медно-порфировых систем (рис. 1).

На проявлениях Моренного РУ проявлена в основном латеральная линейно-концентрическая зональность. От внутренних частей, фиксируемых рудоносными интрузивами, к периферии последовательно сменяются зоны: кремнещелочная (кварц-калишпат-биотитовая), филлизитовая (карбонат-кварц-серицитовая), внутренняя пропилитовая (кварц-альбит-серицит-хлоритовая) и внешняя пропилитовая (кварц-альбит-эпидот-хлоритовая). В том же направлении сменяются типы руд: халькопиритовый (с борнитом, теннантитом, люцонитом, халькозином, дигенитом) – (молибденит)-пирит-халькопиритовый – халькопирит-пиритовый – пиритовый – магнетитовый – полиметаллический. Рудные тела приурочены к области сопряжения филлизитовой и внутренней пропилитовой зон. В них развита (молибденит)-пирит-халькопиритовая минерализация с локально проявленными борнит-халькопиритовой, энаргит-блеклорудной и полиметаллической [1].

Особенности петрографического состава пород Моренного и Базового рудопроявлений можно дать пофазно. Первая фаза внедрения танюрер-золотогорского (мургальского) плутонического комплекса по составу отвечает габбро, габбродиоритам с полнокристаллической типично габбровой структурой. Преобладает основной плагиоклаз таблитчатого габитуса, часто с тонким двойникованием, размером до 2 мм; встречаются минералы группы амфиболов, размером 0.2 – 0.5 мм; в подчинённом

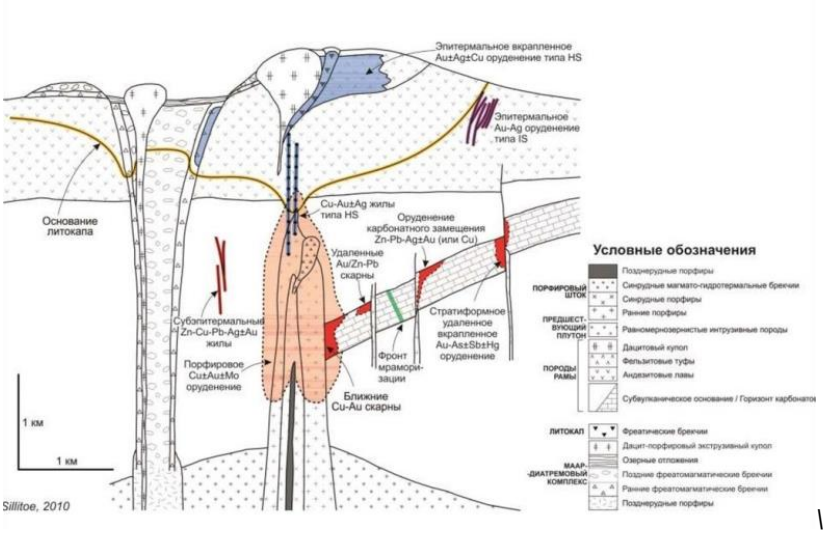


Рисунок 1. Модель порфирово-эпитермальной системы (ПЭС)[1][4]

количестве развит биотит; хлорит второй «генерации»[2], Из акцессорных минералов можно отметить кварц и эпидот (выделения до 0.2 мм). Породы претерпели слабопроявленные вторичные метасоматические преобразования, выраженные новообразованным карбонатом, калиевым полеввм шпатом, гидрослюдами и мусковитом. Вторая (рудоносная) фаза представлена диоритами, диоритовыми порфиритами, гранодиоритами. Структуры пород полнокристаллические, порфировидные. Во вкрапленниках порфиритов развит плагиоклаз и калиевый полевой шпат. Плагиоклаз обычно основной, размером до 3.5 мм, часто зональный, что указывает на неравновесные условия кристаллизации и быстрое охлаждение расплавов. В породах проявлена система трещиноватости, залеченная кварцем и хлоритом. По полевым шпатам развиваются типичные вторичные изменения: по плагиоклазу – серицитизация, соссюритизация, калиевый полевой шпат пелитизирован. Иногда встречаются карлсбадские двойники. Основная масса состоит из мелкого кварца, плагиоклаза и новообразованных минералов группы карбонатов, гидрослюд. Метасоматические изменения проявлены в образовании хлорита первой и второй «генераций», который образует псевдоморфозы по биотиту и амфиболам. Более поздние преобразования привели к формированию систем тонкого прожилкования, заполненные карбонатом, гипс-ангидритовым веществом. Имеются вторичные изменения: по плагиоклазу – серицитизация, соссюритизация, пелитизация по калиевому полевому шпату, местами эпидотизация. Третья фаза представлена тоналитами и гранитами. Основная масса кварц-полевошпатовая. Плагиоклаз зональный – ядро более основное, чем периферия, что также указывает на небольшую глубину кристаллизации расплавов и неравновестность условий. Содержания калиевого полевого шпата не превышают 5%, присутствуют карбонаты и хлорит.

Последний образует псевдоморфозы по биотиту. По плагиоклазу проявлена серицитизация, соссюритизация.

[1]Порфирово-эпитермальная система (ПЭС) – полихронная рудно-магматическая система с прожилково-вкрапленной минерализацией медно-порфирового типа и парагенетически связанной с ней эпитермальной золото-серебряной минерализацией.

[2]Хлорит двух «генераций»: первая, более железистая (коричневатый оттенок, яркая многопорядковая интерференционная окраска при скрещенных николях, часто чешуйчатый) и вторая, более магнезиальная (имеет зеленоватый оттенок, сферолитоподобный).

В интенсивно метасоматически преобразованных породах второй фазы встречаются рудные минералы, которые представлены пиритом, халькопиритом, молибденитом и блёклыми рудами (?), являясь типичными представителями медно-порфировых систем [4].

Геохимический состав пород Моренного и Базового рудопроявлений характеризуется средними содержаниями SiO_2 49 – 77%. Гранитоиды всех трех фаз относятся к магнезиальным Mg# – 0.08-0.47, вторая фаза является наиболее магнезиальной (средний коэффициент магнезиальности пород 0.28), единичные образцы второй и третей фаз относятся к железистым. Индекс насыщения глинозёмом (ASI) составляет 0.75 – 1.4 и указывает на принадлежность гранитоидов как перглиноземистым, так и метаглиноземистым разностям. Коэффициент агпаитности (K_a) находится в пределах 0.17 – 0.70. Породы обогащены натрием (Na_2O: 2.87 – 6.21 мас.%), относятся к умерено и высоко калиевой сериям (K_2O: 0.57 – 5.15 мас. %), отношение Na_2O/K_2O составляет 1.13–5.04. Модифицированный щёлочно-известковистый индекс М. Пикока (MALI) указывает на то, что почти все гранитоиды относятся к известково-щелочной и щёлочно-известковой сериям. Приведенная геохимическая характеристика указывает на принадлежность гранитоидов к I- и S-типам. На диаграммах Харкера наблюдается отчетливая линейная зависимость содержаний основных оксидов от SiO_2, что свидетельствует о едином источнике расплавов для всех фаз внедрения.

Выводы

Проведенное петрографическое изучение плутонических пород Танюрерско-Золотогорского комплекса позволило выявить латерально-концентрическую зональность метасоматических преобразований, с которыми связана потенциальная Cu-Mo порфировая минерализация на рудопроявлениях Базовое и Моренное. Геохимические особенности рассматриваемых пород указывают на единство источников расплавов для всей гомодромной последовательности.

Библиография

1. Авилова О. В. Рудно-метасоматическая зональность как критерий прогноза медно-порфирового оруденения центральной Чукотки // Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2024. С. 6-8.
2. Горячев Н.А., Волков А.В., Сидоров А.А., Гамянин Г.Н., Савва Н.Е., Округин В.М. Au-Ag-оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Литосфера. 2010. №3. С. 36-50.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Серия Анадырская. Листы Q-60-VII, VIII (оз. Баранье), Q-60-IX, X (озера Длинные). Объяснительная записка. М.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1988. 155 с.
4. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems; Economic Geology // v. 105, no. 1, 2010. P. 3–41.

Факторы прогнозирования погребенных и древних россыпей золота в Зимбабве

Попов Е.М.* (МГРИ, Egor_popov02@mail.ru),
Игнатов П.А. (МГРИ, petrignatov@gmail.com),
Минеев А.Л. (ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, Mineew.al@gmail.com),
Малютин С.А. (МГРИ, geopoisk2013@yandex.ru)

Аннотация

Установлены факторы образования погребенных и древних россыпей и предположены перспективы их обнаружения. Был выполнен анализ геологического строения и пространственного расположения коренных источников золота металлогенической области Мидлендс. Так же определены геоморфологические характеристики рельефа и параметры речной сети рассматриваемой территории. В Мидлендс находятся более 200 золоторудных месторождений, которые локализованы в архейских зеленокаменных поясах, материал из которых выносился в реки. Обоснованы гидродинамические ловушки, примером которых является серия сближенных протерозойских даек долеритов на западе Мидлендс. Выполнен анализ перспектив выявления древних россыпей, перекрытых угленосными пермскими отложениями супергруппы Кару. Для этого определено направление уклона поверхности напластования этих отложений и выполнен анализ магнитного поля. Выявленные предпосылки позволяют предполагать образование погребенных и древних золотоносных россыпей.

Ключевые слова

Погребенные россыпи, прогноз россыпей, россыпное золото, Зимбабве

Теория

В Зимбабве находится много золоторудных месторождений. При этом архейский кратон Зимбабве занимает первое место в мире по количеству месторождений золота, приходящихся на км^2 площади, что является благоприятным фактором образования богатых россыпей.

Речная сеть Зимбабве представлена прямолинейными в верховьях руслами с V-образными долинами и меандрирующими в низовьях руслами с корытообразными долинами. Последние обуславливают активную боковую эрозию и вынос золота из коренных источников.

Известно множество аллювиальных россыпей золота, большинство из которых уже отработано или их запасы истощены (Степанов, 2021, Volkov, 2005). Исследование геологического строения металлогенической области Мидлендс, являющейся самой продуктивной на золото, позволило установить факторы образования погребенных россыпей, которые ранее не изучались. Актуальность этого вопроса ставит задачу их прогнозирования в Зимбабве.

Погребенными называются россыпи, которые после своего образования были перекрыты более молодыми породами. В нашем случае, эти россыпи перекрыты аллювиальными отложениями. Это происходит в результате повышения базиса эрозии. Причиной погребения россыпей служит подпирание течения препятствием, которое подпружинивает реку. Лишенная стока, она заполняет свою долину выше препятствия, образуя озеро, в которое происходит нанос аллювиальных отложений. В течение длительного времени, накопленный материал может быть перекрыт мощной толщей, постепенно уменьшающейся в мощности вверх по долине (Билибин, 1955, Шило, 1985). В качестве

препятствий в области Мидлендс можно выделить архейские структуры зеленокаменных поясов, неоархейскую Великую Дайку и её саттелитов и протерозойские дайки долеритов.

Один из факторов образования погребенных предопределен историей развития современного рельефа Зимбабве, который сформировался в неоген-четвертичное время. Он характеризуется перепадами высот от 1000 до 1500 м и имеет сильно расчлененный вид. Область Мидлендс представляет собой плато, расположенное к северо-западу от главного водораздела с уклоном, не превышающим 10°, что благоприятно для образования аллювиальных россыпей. Речная сеть дренирует территорию золоторудных полей, в которых находятся 40 рудных месторождений золота. Большинство рудных тел выходило на дневную поверхность на разных гипсометрических уровнях, их материал при эрозии, очевидно, выносился в речную сеть (Попов и др., 2024).

В истории развития рельефа Зимбабве установлены Африканский цикл эрозии, который произошел после распада Гондваны и Постафриканский цикл эрозии, начавшийся в позднепалеогеновое время (Moore, 2009). В результате последнего крупного тектонического поднятия начал формироваться современный рельеф Зимбабве, что совместно с геологическим строением предопределило возникновение ловушек золотых россыпей. Это могут быть серии сближенных крутопадающих протерозойских даек долеритов, перегораживающих речные долины. Выделена площадь, на которой эродируя дайки, реки резко меняют свое направление (Рис. 1). Это может указывать на долгий цикл врезания, а следственно накопление и отложение россыпного золота в пределах этой территории.

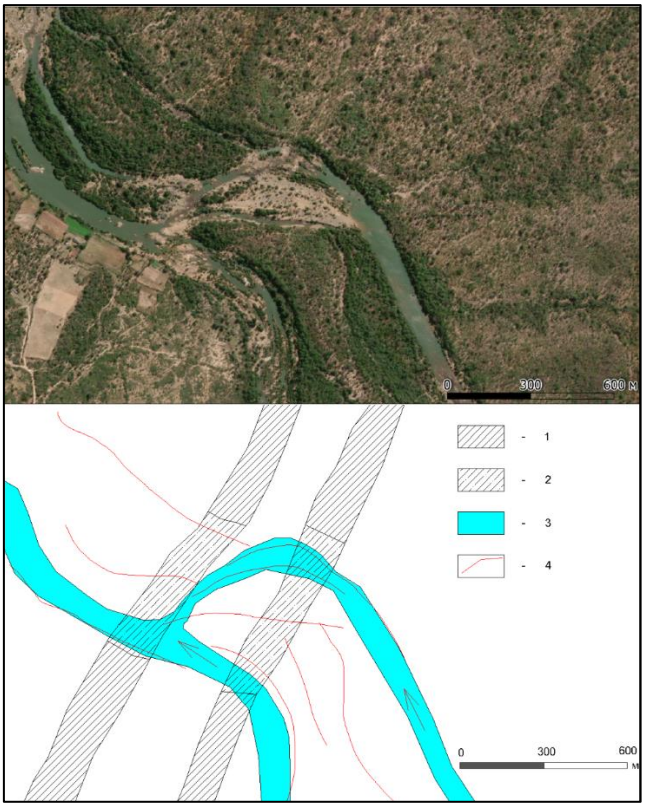


Рисунок 1. Космический снимок прогнозируемого участка на погребенную россыпь со схемой дешифрирования
1 – протерозойские дайки долеритов, выходящих на дневную поверхность, 2 – дайки долеритов, перекрытые аллювиальными отложениями, 3 – речная долина, 4 – направления струй течения рек, дешифрируемые в рельефе аллювиальных отложений

Так же обнаружены факторы образования древних золотых россыпей. На северо-востоке области Мидлендс есть район, в пределах которого распространены пермские угленосные отложения супергруппы Кару. Были установлены стратоизогипсы их подошвы. Её поверхность наклонена на северо-запад с изменяющимся уклоном от 0,3° до 0,15°, образуя своеобразную флексуру. Анализ магнитного поля позволил определить дайки долеритов, которые перекрывают отложения Кару. Они нарушены субширотными правосторонними сдвигами, что может являться благоприятным фактором для формирования ослабленных зон и, соответственно, течения древних рек и образования их долин.

Выводы

На такой площади, аналогично описанной выше, во время африканского цикла эрозии могли образовываться россыпи, которые позднее были перекрыты угленосными и вулканогенно-осадочными образованиями Кару.

Библиография

1. Билибин Ю.А., Основы геологии россыпей. Академия наук СССР. 1955. С. 177-207
2. Игнатов П.А., Малютин С.А., Ланчак М.М. Основные черты исторической и региональной металлогении кратона Зимбабве. //Горный журнал. 2024. № 5. С. 28-37.
3. Попов Е.М., Игнатов П.А., Малютин С.А., Минеев А.Л. Предпосылки образования погребенных россыпей золота в металлогенической области Мидлендс Республики Зимбабве. Тринадцатая Российская молодежная научно-практическая школа «Новое в познании процессов рудообразования, ИГЕМ РАН. 2024. С. 192-195.
4. Шило Н.А. Основы учения о россыпях. Наука. 1985.
5. Степанов В. А. Золоторудные месторождения провинции Зимбабве. Региональная геология и металлогения. № 85. 2021. С. 58-66.
6. Foster R. P. Tectonic, thermal and chemical evolution of a late Archaean auriferous shear zone, Dalny mine, Zimbabwe. GAC-MAC Annua, Meeting, Program with Abstracts. 1990. A 22.
7. Herrington R. J. The relationship between fluids and structure at the Patchway gold mine, Zimbabwe. 1991. PhD Thesis, Univ. London.
8. Herrington J Late Archaean structure and gold mineralization in the Kadoma region of the Midlands greenstone belt, Zimbabwe June 20, 2015, P. 173 -191
9. Mineral Resources of Zimbabwe. Gold deposites. Scale 1:1 000 000. Compiled by D. S. Bartholomew 1984—1988. Drawn in the Geological Survey Office.Harare. Zimbabwe
10. Moore A.E., Cotterill F.P.D., Landscape evolution in Zimbabwe from the Permian to present: with implications for kimberlite prospecting. South Africa journal of Geology. 2009.
11. Volkov A.V. Gold plasers in archaean greenstone belt Mutare (Zimbabwe). https://www.researchgate.net/publication/303939148_GOLD_PLACERS_IN_ARCHAEAN_GREENSTONE_BELT_MUTARE_ZIMBABWE

Опыт использования минералов-индикаторов Cu-Mo-Au-порфирового оруденения (циркон, апатит, титанит) при изучении гранитоидов северо-восточной части п-ва Таймыр

Берзин С.В.* (ИГГ УрО РАН, berzin@igg.uran.ru),
Конопелько Д.Л. (СПбГУ, konopelko@inbox.ru),
Петров С.В. (СПбГУ),
Проскурнин В.Ф. (Институт Карпинского)

Аннотация

Были изучены методами EPMA и LA-ICP-MS циркон, апатит и титанит из гранитоидов Кристифенсенского, Пекинского, Дорожинского, Тессемского, Симсовского, Ширококинского и Южно-Лодочниковского массивов в северо-восточной части п-ова Таймыр. Сделаны выводы об окислитель-восстановительных условиях и флюидонасыщенности расплавов и перспективах обнаружения связанного Au-Cu-Mo-порфирового оруденения.

Ключевые слова

Порфировое оруденение, циркон, апатит, титанит

Теория

Одним из наиболее интенсивно развивающихся в последние годы методов поисковых работ на Au-Cu-Mo-порфировые месторождения, являются методы оценки и дискриминации гранитоидов с точки зрения перспективности развития в них порфировых рудно-магматических систем, основанные на использовании акцессорных минералов-индикаторов. Широко развитые на п-ве Таймыр позднепалеозойские-раннемезозойские гранитоиды [Kurapov et al., 2024] считаются одними из наиболее перспективных объектов для обнаружения новых рудных месторождений [Проскурнин и др., 2021]. Задачей работы является изучение состава акцессорных минералов (циркон, апатит, титанит) из гранитоидов полуострова Таймыр с целью определить условия кристаллизации расплавов и определения перспектив существования связанного Cu-Au-Mo-порфирового оруденения.

В ходе работы были изучены циркон, апатит и титанит из гранитоидов Пекинского, Дорожнинского, Тесемского, Кристифенсенского, Симсовского и Широкинского массивов северо-восточной части п-ова Таймыр. Содержания элементов в минералах определено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) на NexION 300S с приставкой NWR 213 в ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН по методике [Chervyakovskaya et al., 2020] (диаметр кратера 25 мкм).

Обогащение Eu и дефицит Y в расплаве и в цирконах обычно объясняется фракционирования амфибола и граната и замедлением фракционирования плагиоклаза в глубинных очагах за счет повышенного содержания воды [Müntener et al., 2001]. Однако по данным [Loader et al., 2017] совместная кристаллизация с титанитом приводит к изменению Eu/Eu* в цирконе, и отчасти изменению Ce/Ce*, поэтому были использованы цирконы с содержанием Ta>0.2 г/т. Апатит является распространенным акцессорным минералом-индикатором для оценки петрогенезиса магматических горных пород и оруденения [Cao et al., 2012, Lu et al., 2016]. В гранитоидах апатит является минералом концентратором летучих компонентов (F^-,Cl^-, SO_3^{2-}). Титанит играет важную индикаторную роль для реконструкции состава расплавов, поскольку является минералом-концентратором целого ряда редкоземельных (РЗЭ) и высокозарядных (HSFE) элементов.

Выводы

На диаграмме $(Ce/Nd)_n/Y$ vs. 10000*(Eu/Eu*)Y для циркона с полями составов по [Lu et al., 2016; Pizarro et al., 2020] большая часть анализов из изученных массивов (кроме Симсовского м-ва) располагается в поле составов фертильных интрузивов. Температура кристаллизации циркона по содержанию Ti в цирконе по [Watson et al., 2006] соответствует для большей части анализов температуре <738°C, что является благоприятным признаком для выявления порфирового оруденения по [Pizarro et al., 2020].

Апатиты из изученных массивов соответствует апатиту из адакитов, связанных с медно-порфировой минерализацией по [Cao et al., 2012, Pan et al., 2020, Zafar et al., 2020] (рисунок 1). Вариации содержания Sr в апатите могут свидетельствовать о кристаллизации различных зерен апатита на разных этапах эволюции магматического расплава. Низкие содержания в апатитах Mg по [Nathwani et al., 2020] могут свидетельствовать о кристаллизации апатита из существенно фракционированных магм в условиях верхней земной коры.

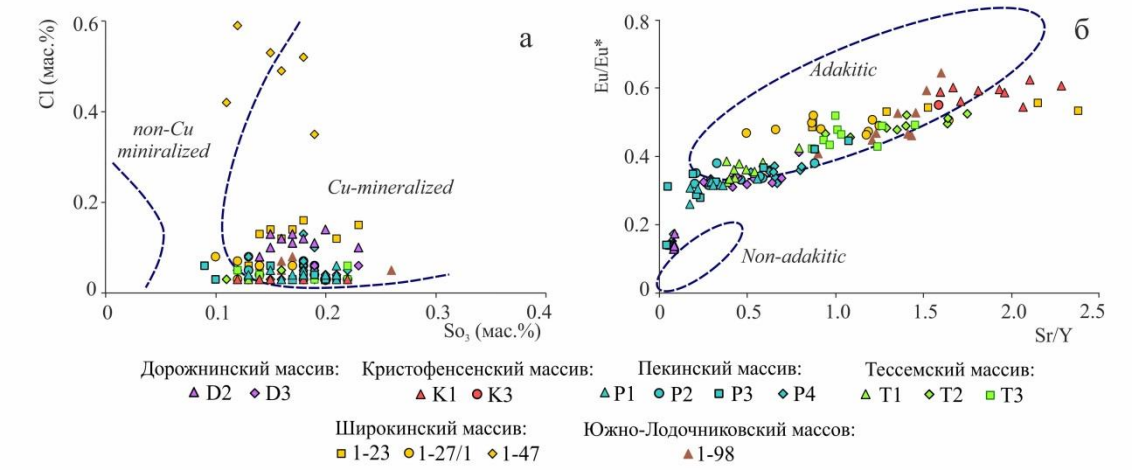


Рисунок 1. Состав апатита из гранитоидов п-ва Таймыр на дискриминационных диаграммах: a – Cl–SO_3; b – Eu/Eu*–Sr/Y с полями составов по [Cao et al., 2012, Pan et al., 2020, Zafar et al., 2020]

Титанит из большинства образцов характеризуется высокими содержаниями REE+Y 13000-31000 г/т, Ta 180-1100 г/т, Nb 1300-7800 г/т, низким отношением Zr/Hf < 17.5, что указывает на сходство с титанитом из рудоносных гранитоидов, связанных с порфировыми месторождениями пояса Красной реки (юго-восток Китая) по данным [Xu et al., 2015]. Высокие содержания Ga в титаните указывает на повышенные отношения Ga^{4+}/Ga^{3+} в расплаве, что в свою очередь указывает на высокую степень окисления гранитных магм, что в свою очередь является благоприятным фактором для формирования Cu-Au-Mo-порфирового оруденения. Eu/Eu* 0.33-0.82 что также указывает на высокую степень окисления магмы по [Pan et al., 2022]

Таким образом, состав минералов-индикаторов Au-Cu-Mo-порфирового оруденения (циркон, апатит и титанит) указывают на то, что гранитоиды Таймыра кристаллизовались из окисленных водонасыщенных магм при умеренных температурах, при этом большинство образцов демонстрируют характеристики, типичные для рудоносных гранитоидов (fO_2 = ΔFMQ +1…+3 и Eu/Eu* > 0,4 в цирконах и SO_3 > 0,2 мас.% в апатите). В качестве наиболее перспективных массвов для выявления порфирового оруденения рассматриваются Дорожинский, Кристифенсенский, Пекинский и Тесемский массивы. Гранитоиды Широкинского и Южно-Лодочниковского массивов частично соответствуют данным

критериям. Данные по Симсовскому массиву указывают на его низкую перспективность [Berzin et al., 2024].

Благодарности (на ваше усмотрение)

Авторы благодарны Е.И. Берзону (Институт Карпинского), Т.А. Головина (АО «Полиметалл УК»), Черненко Н.Я. (ООО «Полярная экспедиционная компания») за предоставленные образцы и материалы. Авторы признательны В.С. Червяковскому и М.В. Червяковской (ИГГ УрО РАН) за выполнение аналитические измерения.

Библиография

1. Проскурнин В.Ф., Петров О.В., Романов А.П., Курбатов И.И., Гавриш А.В., Проскурнина М.А. Центрально-Арктический золотосодержащий медно-молибден-порфировый пояс // Региональная геология и металлогения. 2021. № 85. С. 31-49.
2. Berzin S.V., Konopelko D.L., Petrov S.V., Proskurnin V.F., Berzon E.I., Kurapov M.Y., Golovina T.A., Chernenko N.Y., Chervyakovskiy V.S., Palamarchuk R.S., Andreeva E.M. Evaluation of Granite Fertility Utilizing Porphyry Indicator Minerals and Geochemical Data: a Case Study from an Emerging Metallogenic Province in the Taimyr Peninsula, Siberian High Arctic // Minerals. 2024. Vol. 14. 1065.
3. Cao M., Li G., Qin K., Seitmuratova E.Y., Liu Y. Major and trace element characteristics of apatites in granitoids from C. Kazakhstan: Implications for petrogenesis and mineralization // Res. Geol. 2012, 62, 63–83.
4. Chervyakovskaya, M.V.; Chervyakovskiy, V.S.; Votyakov, S.L. LA-ICP-MS analysis of trace elements in silicate minerals on ICP-MS NEXION 300s mass spectrometer with NWR 213 attachment for laser ablation: Methodological aspects. Geodyn. Tectonophys. 2022, 13, 0605.
5. Kurapov M.Yu., Konopelko D.L., Biske Yu.S., Proskurnin V.F., Petrov S.V., Proskurnina M.A., Berzon Ye.Yi., Ershova V.B., Berzin S.V., Stepanov S.Yu. Geodynamic settings of Late Paleozoic–Early Mesozoic granitoid magmatism at the Arctic continental margins: insights from new geochronological and geochemical data from the Taimyr peninsula // Minerals. 2024. Vol. 14. 423.
6. Loader M.A., Wilkinson J.J., Armstrong R.N. The effect of titanite crystallisation on Eu and Ce anomalies in zircon and its implications for the assessment of porphyry Cu deposit fertility // Earth and Planetary Science Letters, 2017. Vol. 472. P. 107-119.
7. Lu Y.-J., Loucks R.R., Fiorentini M., McCuaig T.C., Evans N.J., Yang Z.-M., Hou Z.-Q., Kirkland C.L., Parra-Avila L.A., Kobussen A. Zircon compositions as a pathfinder for porphyry Cu ± Mo ± Au Deposits // Society of Economic Geologists Special Publication. 2016. Vol. 19. P. 329-347.
8. Müntener O., Kelemen P.B., Grove T.L. The role of H_2O during crystallization of primitive arc magmas under uppermost mantle conditions and genesis of igneous pyroxenites: An experimental study // Contributions to Mineralogy and Petrology, 2001. Vol. 141. P. 643–658.
9. Nathwani C.L., Loader M.A., Wilkinson J.J., Buret Y., Sievwright R.H., Hollings P. Multi-stage arc magma evolution recorded by apatite in volcanic rocks // Geology, 2020. Vol. 48. Is. 4. P. 323-327.
10. Pan L.-C., Hu R.-Z., Bi X.-W., Wang Y., Yan J. Evaluating magmatic fertility of Paleo-Tethyan granitoids in eastern Tibet using apatite chemical composition and Nd isotope // Ore Geol. Rev. 2020, 127, 103757.
11. Pan, L.-C.; Hu, R.-Z.; Liu, Q.; Li, J.-W.; Li, J.-X. Titanite geochemistry and its indicators for Cu-mineralized magmas: Insight from three dioritic intrusions in the Tongling area of the Lower Yangtze River metallogenic belt // Ore Geol. Rev. 2022, 151, 105219.

12. Pizarro H., Campos E., Bouzari F., Rousse S., Bissig T., Gregoire M., Riquelme R. Porphyry indicator zircons (PIZs): Application to exploration of porphyry copper deposits // Ore Geology Reviews. 2020. Vol. 126. P. 1-18.

13. Watson E.B., Wark D.A., Thomas J.B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // Contributions to Mineralogy and Petrology, 2006. Vol. 151. P. 413-433.

14. Xu L., Bi X., Hu R., Tang Y., Wang X., Xu Y. LA-ICP-MS mineral chemistry of titanite and the geological implications for exploration of porphyry Cu deposits in the Jinshajiang - Red River alkaline igneous belt, SW China // Mineralogy and Petrology. 2015. Vol. 109. P. 181-200.

15. Zafar T., Rehman H.U., Mahar M.A., Alam M., Oyebamiji A., Rehman S.U., Leng C.B. A critical review on petrogenetic, metallogenic and geodynamic implications of granitic rocks exposed in north and east China: New insights from apatite geochemistry // J. Geodynamics 2020, 136, 101723.

О макете концепции геологического образования России

Верчеба А.А.* (МГРИ, verchebaaa@mgri.ru),
Оганесян Л.В. (Росгео, oganesian@alliance-gr.com)

Аннотация

Отмечены новые подходы в реформе высшего образования. В историческом аспекте рассмотрены особенности становления геологической службы и геологического образования в России.

Представлен проект концепции геологического образования, отражающий основные тенденции в системе подготовки высококвалифицированных горных инженеров геологов с учетом модернизации высшего инженерного образования.

Ключевые слова

Геологическое образование, Концепция, междисциплинарный подход, практикоориентированные программы подготовки

Теория

Начало становления геологического образования

Анализ становления геологического образования в России на основании сравнительно-исторического анализа традиций просвещения, заложенных Петром I и созданием первого горного училища в России - высшего технического учебного заведения, основанного в 1774 году, указом императрицы Екатерины II.

Как известно, первым рубежом истории геологических знаний может служить дата возникновения регулярной организации поискового дела и возникновения научной литературы. В России эта граница совпадает с рубежом XVIII-XIX столетий. В 1882 году император Александр III утвердил положение и штаты Геологического комитета России (Геолком).

Создание Геолкома было вызвано:

1) необходимостью составления по единому плану геологической карты страны, которая, помимо ее научного значения, дала бы основу и для практической деятельности;

2) исследованием тех минеральных богатств, которые могут иметь общегосударственное значение и служить источником развития той или другой отрасли промышленности;

3) необходимостью такого учреждения, к которому как правительственные и общественные организации, так и частные лица могли бы обращаться за советами и разъяснениями по вопросам, связанным с геологией.

Геолком был исходным пунктом зарождения всех составных частей геологической службы России: производство – наука-образование. Имея статус государственного учреждения, он решал научные и прикладные геологические задачи, а также управлял геологическим изучением территории страны.

Причины необходимости создания макета Концепции

При формировании концепции геологического образования в России учитывается цель, которую перед высшим образованием ставит Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации»: «*обеспечение подготовки высококвалифицированных кадров по всем основным направлениям общественно полезной деятельности в соответствии с потребностями общества и государства, удовлетворение потребностей личности в интеллектуальном, культурном и нравственном развитии, углублении и расширении образования, научно-педагогической квалификации».*

В Концепции отражены новые тренды высшего образования, формирующего у обучающихся:

- практическую подготовку и предпринимательские навыки;
- индивидуальные образовательные траектории;
- микроквалификации.

При реализации Концепции создаются условия практикоориентированности обучения (проектное обучение), что обеспечит обучающимся систематическую работу над реальными проектами, связанными с профессиональной деятельностью при геологическом изучении недр и воспроизводстве минеральных ресурсов в рамках обучения. Это развивает у студентов геологической специальности прикладные навыки и опыт в профессиональной деятельности.

Переходный период в высшем образовании

Университеты переживают переход к обновлённой системе высшего образования. Президентским указом запущен пилотный проект, в рамках которого 5 вузов осуществляют переход к двум уровням высшего образования: базовому (от четырёх до шести лет) и специализированному (от года до трёх). Новые экономические и технологические условия требуют от университетов эффективных подходов к подготовке кадров, основанных на следующих принципах:

- фундаментальность образования, особенно математического, в сочетании с гибким подходом к образовательному процессу,
- междисциплинарность,
- подготовка профильных специалистов в области информационных технологий и искусственного интеллекта,
- расширение цифровых компетенций для непрофильных специальностей,
- развитие фундаментального инженерного образования.

На специальном совещании в Московском университете в конце 2023 года с участием министра науки и высшего образования В. Н. Фалькова стоял вопрос о разработке концепций естественно-научного образования, закреплённых за ведущими вузами. Назрела необходимость актуализации концепции геологического высшего образования для обеспечения минерально-сырьевой безопасности страны и полноценного обеспечения государства собственным сырьем, снижением импортозависимости от поставок стратегических и дефицитных видов полезных ископаемых.

Так, Минприроды РФ был разработан Федеральный проект «Геология: возрождение легенды». Целью проекта является расширение минерально-сырьевой базы в стране и увеличение геологической изученности перспективных участков. Проект реализуется для освоения высоколиквидных видов минерального сырья. В ближайшем будущем следующий этап проекта будет сконцентрирован на поисках и разведке дефицитных металлов.

Реализация проекта расширения минерально-сырьевой базы России потребует изменений в системе подготовки высококвалифицированных специалистов для геологической отрасли.

Вузами проводится разработка федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по укрупненной группе направлений подготовки и специальностей «21 – Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело, землеустройство и геодезия».



Рисунок 1. Макет модели концепции геологического образования

Проект новой «Концепция геологического образования в России» отражает реальные проблемы, решение которых придаст геологическому образованию новое содержание и будет содействовать укреплению его научно-методического, организационного и материально-технического потенциала и тем самым, укрепит экономическую и экологическую безопасность страны (рис.1).

Цели и задачи Концепции

Формирование у обучающихся глубокого понимания геологических процессов формирования и преобразования недр на различных этапах воспроизводства минерально-сырьевой базы страны, подготовка специалистов, способных решать сложные научно-технические проблемы отрасли, разрабатывать инновационные интеллектуальные продукты, а также внедрять их в практику.

Задачи:

Формирование у обучающихся теоретических знаний и практических навыков;

Развитие критического мышления и способности к самостоятельному принятию решений;

Подготовка к работе в междисциплинарных командах;

Обучение методам научного исследования и компьютерного проектирования.

Содержание образования

Изучение фундаментальных геологических дисциплин как непременной составляющей естественнонаучного образования, создание условий формирования геологических знаний для повышения профессиональных компетентностей специалистов негеологических специальностей;

Программа базового геологического образования состоит из нескольких модулей дисциплин:

Естественнонаучные и технические дисциплины: математика, физика, химия, физика Земли, информатика, искусственный интеллект, инженерно-геологическая графика, механика,

электротехника, вычислительная техника, метрология, безопасность жизнедеятельности и другие;

Геологические дисциплины: модуль «Геология» (общая геология, структурная геология, историческая геология, четвертичная геология, палеонтология, литология, математические методы в геологии и др.); Минералогия и геохимия; Петрография и петрология; Минеральные ресурсы и металлогения; Горнопромышленная геология; Методика ГРР и экономическая оценка твердых мпи; ДЗЗ, геологическое картирование и компьютерное картографирование; Технические средства и технологии поисков и разведки мпи; Геоэкология и безопасность ведения ГРР; Геодезия и маркшейдерия.

Выводы

Реализация задач Концепции позволит сформировать требования к компетенциям выпускников:

-глубокое знание основ прикладной и фундаментальной геологии

-умение использовать современные методы исследования и оборудование

-способность к самостоятельной научной работе

- владение навыками работы с большими объемами данных и компьютерными программами

-экологическая грамотность

Библиография

1. Верчеба А.А. Минерально-сырьевая база урана и подготовка кадров для отрасли. //Материалы КНТС по урановой геологии. М.: ВИМС 2024. 46-51.

2. Верчеба А.А. Луговская И.Г., Боровков Ю.А. Кадровое обеспечение урановой геологии – необходимое условие эффективного воспроизводства и освоения минерально-сырьевой базы урана. Разведка и охрана недр. №4. 2024. С. 46-51.

3. Верчеба А.А., Никитин В.М. Кадровое обеспечение горно-геологической отрасли. Недропользование XXI век. 2024. №2. С.117-122.

4. Верчеба А.А. Оганесян Л.В. Пути совершенствования высшего геологического образования. Разведка и охрана недр. 2016. №12. С. 3-8.

5. Vercheba A.A., Makarov V.A. Applied geology – basic training program for mining and geological industry personnel. *Gornye nauki i tekhnologii / Mining Science and Technology (Russia)*. 2023;8(2):183–190. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-01-71

Геохимическая аномалия рудных элементов на площади месторождения бирюзы Бирюзакан, Северный Таджикистан

Восихов Ш.Т.* (МГРИ, shohrukh992v@mail.ru),
Литвиненко А.К. (МГРИ», akl1954@yandex.ru)

Аннотация

На месторождении и северном фланге месторождения бирюзы Бирюзакан установлена геохимическая аномалия As, Sb, Zn, Bi, W, Mo, Cu, Cd, Se, Ba, Ag, Au с кларками концентрации в десятки раз выше фоновых значений. Это может вывести район месторождения бирюзы в разряд перспективный площадей для постановки первоочередных поисково-оценочных работ на перечисленные рудные элементы, включая попутную доразведку бирюзовой минерализации.

Ключевые слова

Бирюзакан, геохимическая аномалия, кларки концентрации, рудные элементы, As, Sb, Zn, Bi, W, Mo, Cu, Cd, Se, Ba, Ag, Au, вулканиты позднего палеозоя

Теория

Карамазар как рудный район, включающий месторождение бирюзы Бирюзакан, известен с раннего средневековья. Он расположен на южном склоне Кураминского хребта, являющегося южным окончанием Срединного Тянь-Шаня. Территория приурочена к каледонско-герцинской Срединнотяньшанской рудной провинции в составе Урало-Монгольского металлогенического пояса. Провинция специализирована на цветные (Pb, Zn, Cu, Bi, W, Mo), благородные (Au, Ag) и металлы радиоактивные (U) [1].

Карамазар формировался в течение трех тектонических циклов: каледонского, герцинского и альпийского, во время которых были сформированы три структурно-вещественных этажа [4]. Нижний этаж сложен метаморфизованными терригенными и вулканогенными породами (O-S), секущимися кислыми и средними интрузиями бургундинского комплекса (S_2) [4]. Вещественные комплексы среднего этажа, расчлененные на вулканогенные свиты, не образуют сплошных покровов, залегая в изолированных грабенах. Средний структурный этаж расчленен на две толщи. Нижняя сложена песчано-карбонатными отложениями (D_2-C_1), верхняя – вулканогенно-осадочными породами (C_2-T_1). Почти все стратифицированные подразделения имеют между собой несогласные контакты, залегая на размытых поверхностях нижележащих свит .

Породы среднего этажа прорваны средне-кислыми интрузиями карамазарского (C_2), чорухдайронского (P) и шайданского (T_1) комплексов. Вдоль отдельных разломов отмечают метаморфогенные изменения.

Верхний структурный этаж сложен практически горизонтально залегающими осадочными породами (K-Ꝑ). Необходимо отметить очень важную геологическую особенность верхнего этажа: в составляющих его породах отсутствуют магматические, рудные и жильные гидротермальные образования, а также следы метаморфизма [1]. Это позволяет датировать кварцевые жилы с бирюзой и рудными минералами как домеловые.

Месторождение Бирюзакан представляет кварцево-жильное поле, которое сформировано по липаритам, дацитам и андезитам акчинской свиты (C_2). Данная свита составляет структуру многих рудных месторождений: Кансая, Такели, Канджола, Чокодамбулака и др. Оно контролируется долгоживущим глубинным разломом, получившим название Бирюзовый. Его особенностью является большое сходство с дайкой кварцевого состава, получившее название «кварцевый сердечник» [5]. Бирюзовая минерализация

размещается в висячем южном обрамлении разлома. В северном, лежачем краю разлома бирюза не была обнаружена ни нами, ни нашими предшественниками. В жильной системе Бирюзакана доминирует кварц. Бирюза в кварцевых жилах занимает различные объемы: от редкой мелкой вкрапленности до крупных скоплений. Редко встречаются мономинеральные жилы бирюзы. Пересечения кварцевых жил бирюзовыми, которые однозначно указывают на то, что образование бирюзы является более поздним, чем кварц, были показаны авторами ранее.

По всей площади месторождения из коренных пород была отобрана серия штуфов из различных по цвету и структуре вулканитов. Система отбора строилась на всестороннем охвате всех петрографических типов вулканитов акчинской свиты для выявления их бирюзоносности (рисунок 1). Первоначальной задачей являлось определение источника вещества: Cu, Al и P для формирования бирюзоносных жил.

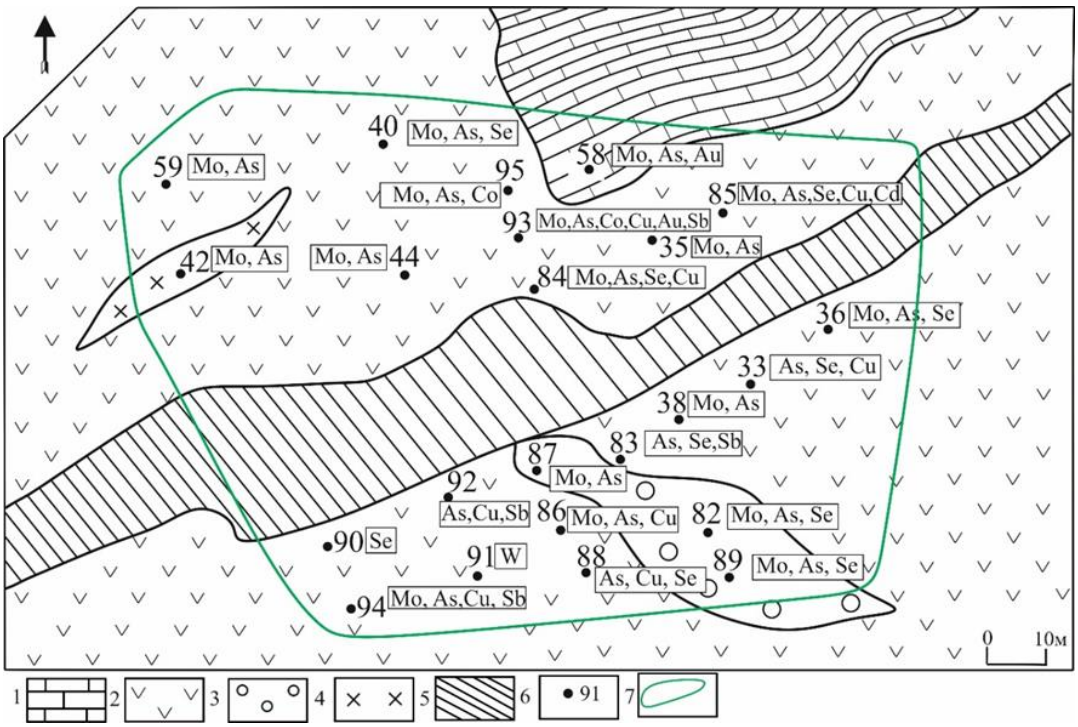


Рисунок 1. Геологический план месторождения Бирюзакан. 1 – мраморы кальцит-доломитового состава (D_2-C_1) ; 2 – андезитовые порфириты акчинской свиты (C_2) , слабо изменённые; 3 – тоже сильно изменённые; 4 – монцограниты; 5 – тело Бирюзового разлома; 6 – точки отбора проб с содержанием элементов в десятки раз выше кларка; 7 – контур геохимической аномалии

В жильном бирюзоносном кварце обнаружены кристаллики пирита размером до 10 мкм, которые содержат, % (мас.): 1,48 Co, 0,85 As. В этой же позиции определены рутил размером до 20 мкм с примесью V_2O_5 в количестве 1,83 % (мас.), а также циркон с четкими гранями. В зальбандах бирюзовых жил авторами обнаружена мелкая густая вкрапленность халькопирита, которая не наблюдалась внутри бирюзы. Это позволяет предположить наложенный, более поздний, чем бирюза, характер кристаллизации халькопирита. Более ранняя генерация халькопирита наблюдается совместно с пиритом во вмещающих измененных вулканитах. Это наблюдение позволяет выделить на Бирюзакане две генерации халькопирита: первая развита в вулканитах, вторая – в секущих жилах кварца и бирюзы. Ранее в зальбандах бирюзовых жил были установлены сульфиды, более точно не диагностированные [5].

Внутри кварцевых жил с округлыми пустотами наблюдается плотный агрегат малахита в форме желваков размером до 3×2,5×2 см, заполнивший эти пустоты. Этот минерал встречается на многих месторождениях Карамазара и отнесен к гипергенным [10, 18]. Его поверхность покрыта мелкими впадинами и коричневыми тонкими корочками более поздних минералов. В участках жил кварца с малахитом авторами были установлены прожилки гиббсита в срастаниях с кварцем.

Гиббсит образует коломорфные агрегаты от светло-серого до голубого цвета, а в пустотах – пирамидальной формы кристаллы размером в первые миллиметры. В его составе присутствует изоморфная примесь, % (мас.): CuO 2,7, MnO 0,4, SO_3 1,2, F 4,5.

Высокое содержание этих элементов позволяет сопоставить месторождение Бирюзакан с медной и флюоритовой минерализацией соседних рудных месторождений. Флюорит на Бирюзакане не образовался, вероятно, из-за низкой кальциевости пород и отсутствия карбонатных жил.

В составе гиббситовых участков обнаружены редкие, мелкие, округлые зерна магнетита (определен рентгенофазовым анализом), содержащие примесь, % (мас.): 3,5 CuO, 3,6 MnO, 4,8 SiO_2, 8,3 Al_2O_3. Это также можно сопоставить с магнетитом Большого Канимансура, который является одним из самых ранних гидротермальных минералов [4], и с железными рудами Чокодамбулака.

Ренгенофлюоресцентный анализ штуфных проб показал очень высокие значения содержаний As, Sb, Zn, Bi, W, Mo, Cu, Cd, Se, Ba, Ag, Au с кларками концентрации в десятки раз выше фоновых значений (таблица). Была опробована практически вся площадь месторождения Бирюзакан и его северный фланг, выше Бирюзового разлома (рисунок).

Таблица 1. Химические составы рудных элементов в вулканитах месторождения Бирюзакан

№№	Элементы г/т											
	Se	W	Mo	Cd	Bi	Cu	As	Sb	Ba	Zn	Ag	Au
33	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	5	-	-	-	25	-	3365	-	-	-
36	8	-	8	-	-	-	15	-	1444	-	-	-
38	-	-	9	-	-	-	49	-	187	-	-	-
42	-	-	5	-	-	-	66	-	1919	-	-	-
44	-	-	11	-	-	-	19	-	1771	-	-	-
58	-	-	9	-	-	-	18	-	1259	-	-	7
59	-	-	5	-	-	-	16	-	1292	-	-	-
82	3	18	16	-	-	-	11	-	242	-	11	-
83	3	-	-	-	-	-	29	43	2142	-	-	-
84	5	-	50	-	-	401	29	-	982	-	-	-
85	6	20	15	18	-	406	6	-	1721	-	-	-
86	5	-	56	-	31	3894	111	-	288	-	11	-
87	-	-	13	-	-	-	13	-	575	-	6	-
88	7	-	-	-	-	491	13	-	1640	-	-	-
89	4	29	33	-	-	-	10	-	1281	-	9	-
90	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
92	-	-	-	-	-	428	10	40	-	-	12	-
93	5	62	9	24	52	3725	13	44	1164	198	-	8
94			6			42992	79	34	1975	395		

95			50	33	22		34			1682		

Примечание. Пробы анализировались в Инжиниринговом центре МГРИ

Выводы

Полученный минеральный состав сопровождающих бирюзу жильных и рудных минералов, содержащих Fe, Mn, Cu, Zn, Co, As, V, Ag, REE, F, а также выявленная геохимическая аномалия представленная As, Sb, Zn, Bi, W, Mo, Cu, Cd, Se, Ba, Ag, Au с кларками концентрации в десятки раз выше фоновых значений дает основание обозначить Бирюзакан в качестве перспективного объекта для постановки поисково-оценочных работ на рудную минерализацию. Также это позволит расширить генетические представления о развитии самоцвета на флангах и более глубоких горизонтах месторождения. Авторы полагают, что существуют перспективы обнаружения бирюзовой минерализации на смежных рудных месторождениях.

Библиография

1. Бабаходжаев С. М., Орифов А. О., Джанобилов М. Д., Мамадвафоев М. М. Особенности рудоносности Карамазара // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Республики Таджикистан. Душанбе, 2001. С. 137–146.
2. Литвиненко А. К., Восихов Ш. Т. Месторождения и проявления бирюзы и варисцита в Республике Таджикистан // Известия вузов. Геология и разведка. 2024. Т. 66. № 3. С. 69–77.
3. Литвиненко А.К., Восихов Ш.Т., Рассомахин М. А., Якушина О.А. О парагенетической связи месторождения Бирюзакан с рудными месторождениями Карамазара. Горный журнал. 2025. № 2. С. 14-19.
4. Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана / под ред. Р. Б. Боратова. – Душанбе : Дониш, 1976. – 269 с.
5. Менчинская Т. И. Бирюза. – М . : Недра, 1981. – 159 с.

Отражение геологического строения в ЦМР Лангерийского рудного узла и его обрамления (о. Сахалин)

Иванова Н.Д.* (ФГБУ «ЦНИГРИ», ivanova@tsnigri.ru),
Лейбгам П.Н. (ФГБУ «ЦНИГРИ», leibham@tsnigri.ru)

Аннотация

Проведен комплексный анализ среднемасштабной топографической карты и данных SRTM (радарной топографической съемки) для Лангерийского золоторудного узла и его обрамления. По его результатам выделены разноранговые участки рельефа по высоте рельефа и крутизне склона. Выявлены некоторые закономерности рельефа и геологического строения территории. На территории предварительно выявлены три генетических типа рельефа – выработанный (денудационный), подновленный аккумулятивный и остаточный.

Ключевые слова

Анализ рельефа, SRTM, генетические типы рельефа, Лангерийский золоторудно-россыпной узел

Теория

Лангерийский золоторудно-россыпной узел расположен в центральной части острова Сахалин в западных отрогах Восточно-Сахалинских гор и относится к Лангерийско-Рукутамского рудному району Рукутама-Армуданской металлогенической зоны.

Территория исследования с 1960-х годов известна как богатый золотороссыпной район, на котором добыча производилась до недавнего времени, с чем и связан интерес к объекту исследования. В рамках проводимых авторами работ в пределах узла одной из задач являлось выявление взаимосвязи рельефа и геологического строения территории как звена между россыпным золотом и коренным с целью уточнения критериев и признаков локализации золоторудных объектов.

Лангерийский узел расположен в пределах мел-палеогенового верхнелангерийского метаморфического комплекса, который в свою очередь делится на черносланцевый, слюдяно-кварцевый и зеленосланцевый подкомплексы [3]. Все три подкомплекса представлены в пределах рудного узла, однако значительно преобладает именно слюдяно-кварцевый. Он сложен плойчатыми гнейсами серицит-альбит-кварцевыми и сланцами кварц-хлорит-серицитовыми углерод содержащими с линзами, блоками и пакетами сланцев альбит-эпидот-хлоритовых с альбит-кварцевыми и кварцевыми жилами и прожилками, ориентированными согласно сланцеватости (с учетом данных полевых исследований авторов). Породы смяты в разнопорядковые складки, амплитуда которых варьирует от первых километров до сантиметров. Последнее проявлено в виде плойчатости – гофрировка плоскостей сланцеватости.

Согласно предшественникам [1] породы черносланцевого подкомплекса наименее метаморфизованны и представлены филлитами и филлитовидными сланцами. По тем же данным зеленосланцевый подкомплекс сложен ортосланцами эпидот-хлорит-актинолитовыми, актинолит-хлорит-эпидотовыми и актинолит-эпидот-роговообманковыми.

На территории встречаются выходы гранитоидных плутонов и маломощные дайки среднего и кислого составов Лангерийского комплекса эоцен-олигоценового возраста.

Авторы провели комплексный анализ среднемасштабной топографической карты и данных SRTM (радарной топографической съемки) на площади в 3500 км^2. Определение крутизны склонов выполнено в программе ArcMap где с помощью инструмента «Уклон», составлена схема величин уклонов на основе данных SRTM [4] (Рис 1).

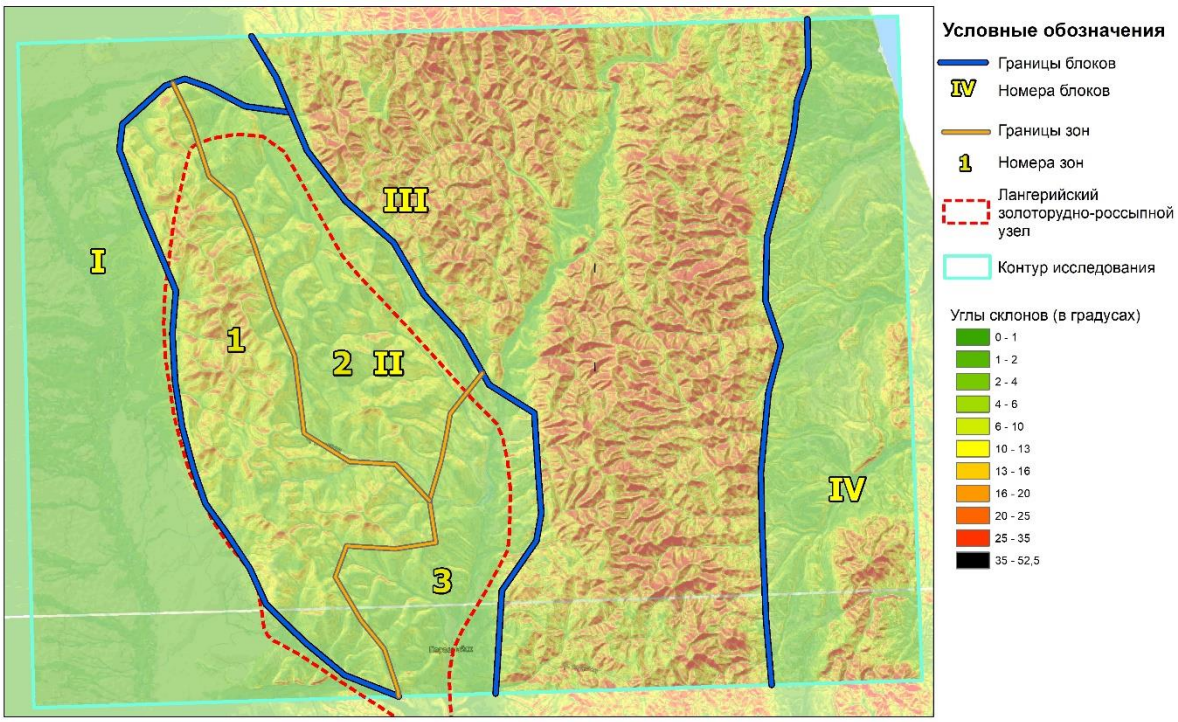


Рисунок 1. Схема районирования рельефа на основе схемы уклонов склонов

В результате анализа по представлениям авторов были выделены разноранговые участки по высоте рельефа и крутизне склона. Участки были объединена блоками (обозначены на схемах цифрами I, II, III и IV), в пределах блоков выделены зоны (цифры 1, 2 и 3).

I. Блок расположен на западе схемы, в пределах которой находится долина крупной реки Поронай. В географическом плане блок представлен Тымь-Поронайской низменностью, разделяющей Западно-Сахалинские и Восточно-Сахалинские горы. С тектонической точки зрения это зона Тымь-Поронайского прогиба. Средняя отметка высот около 100 м с разбросом до 100 м. Блок характеризуется крайне низкими углами склонов – до 5-7 градусов. Блок сложен неогеновыми терригенными отложениями и представляет собой аккумулятивную депрессию.

II. Переходный блок между Тымь-Поронайской низменностью и Восточно-Сахалинскими горами, отнесенный к возвышенностям и низкогорному рельефу. Отмечается значительный разброс высот по сравнению с другими блоками. Максимальная высотная отметка на западе блока – 900 м. Близкие к минимальным находятся в пределах долины р. Лангери – 300 м. Значения углов склонов варьируют от нуля до 30 градусов. Блок представлен мел-палеогеновым верхнелангерийским метаморфическим комплексом, упомянутым выше.

III. Блок Восточно-Сахалинских гор. Максимальные высотные отметки в пределах схемы – 1100 м, средние около 900 м, минимальные приурочены к узким долинам горных рек и составляют 500 м. Углы склонов крутые и варьируют от 20 до 35 градусов, с отдельными обрывами. Блок сложен меловыми вулканогенно-осадочными и терригенными отложениями. Это область денуационного рельефа и активного воздымания.

IV. На крайнем востоке блок представлен долиной рек, которая постепенно спускается к побережью Охотского моря. Минимальные высотные отметки – 50 м, максимальные – 200 м, в среднем около 100 м. Углы склонов небольшие, но с участками более высоких значений – до 10 градусов, редко до 15.

Поскольку Лангерийский золоторудно-россыпной узел расположена в пределах блока II, который к тому же имеет сложное и неоднородное строение, то именно на нем будет сделан акцент и в его пределах выполняться разделение участков рельефа на зоны.

1 – зона с преобладанием низкогорного рельефа. Высотные отметки 600-900 м, крутизна склонов до 40-50 градусов.

2 – зона с рельефом возвышенной низменности (фрагментарно низкогорным), высотные отметки 400-600 м, редко до 700 м. Однако для данной зоны характерны углы склонов с меньшими значениями в среднем – до 15 градусов. Лишь отдельные редкие возвышенности обладают крутыми углами, характерными для гор – 20-35 градусов.

3 – зона долины реки, текущей по крупному разлому. Саму зону можно отнести к возвышенной равнине. Средние высотные отметки варьирую от 200 до 350 м. Углы пологие – до 7 градусов.

С точки зрения генезиса рельефа на изученной территории предварительно можно выделить три типа – выработанный (денудационный), подновленный аккумулятивный и остаточный. К выработанному типу относится блок III, с его значительными высотными отметками и крутыми склонами, указывающие на активный подъем. К аккумулятивному относятся долина крупных рек – Тымь-Поронайская низменность (блок I), а также низина, спускающаяся к Охотскому морю (блок IV). Блок II предположительно относится к остаточной форме рельефа, однако в ее пределах на более детальном уровне можно выделить и остаточный с элементами денудационного тип рельефа (зона 1), так и остаточный с элементами аккумулятивного тип рельефа (зона 2). Более точное определение генетической принадлежности рельефа будут проводиться при дальнейших исследованиях.

Выводы

Зона 1 блока II четко отличается по рельефу, хотя на геологической карте слюдяно-кварцевый подкомплекс верхнелангерийского метаморфического комплекса ($sbtK_2$- P_1v) выходит и в блоке I. Однако именно в зоне 1 предшественниками установлены интрузивные тела и обрамляющие их широкие ореолы ороговикования [1], которые могут придавать породам дополнительную прочность и устойчивость к выветриванию.

Зона 2 сложена преимущественно зеленосланцевым подкомплексом (asK_2- P_1v), породы которого менее устойчивы к эрозии. Отдельные возвышенности и крутые склоны могут быть связаны с известными на территории выходами кварцевых жил.

Зона 3 выделена по долинам рек Мойга и Лангери, которые протекают по региональному тектоническому шву. Метаморфогенные породы в пределах этого разлома катаклазированы и дезинтегрированы, вследствие чего они более подвержены выветриванию и денудации

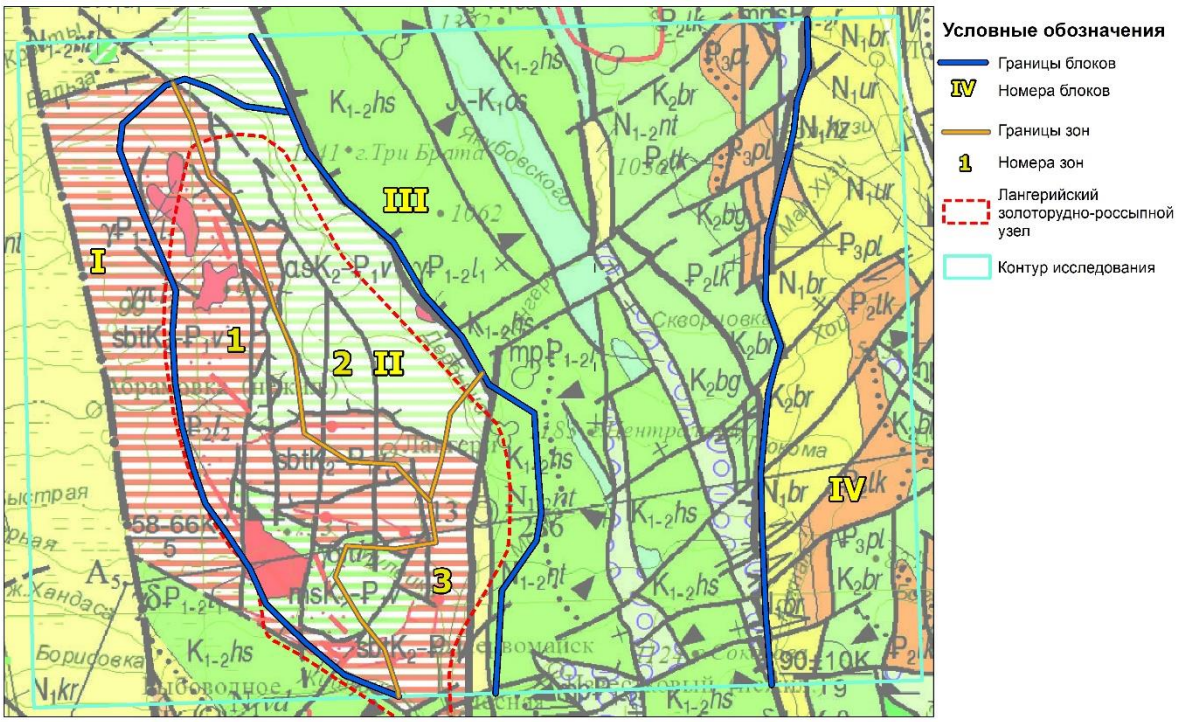


Рисунок 2. Схема районирования рельефа на основе геологической карты М-54 [2]

Библиография

1. Гальверсен В.Г., Евсеев С.В., Коноваленко А.А., Хабибуллина Г.А. ГДП-200 листов M-54-XVIII, XXIV (Лангерийский золоторудный район). Отчет о результатах работ Восточно-Сахалинской ГСП за 2006-2009 гг. Фонды ОАО «СахГРЭ», 2009.

2. Геологическая карта: М-54 (Александровск-Сахалинский). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Третье поколение. Дальневосточная серия. Геологическая карта дочетвертичных образований, масштаб: 1:1000000, серия: Дальневосточная, составлена: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2016 г., редактор(ы): Зелепугин В.Н.

3. Геологическая карта: М-54-XVIII (Пограничное). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Сахалинская серия, масштаб: 1:200000, серия: Сахалинская, составлена: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2016 г., редактор(ы): Евсеев В.Ф.

4. SRTM Data, Download Manager // SRTM Data URL: https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/ (дата обращения: 27.02.25).

Фосфатная минерализация в карбонатитовых метасоматитах в структуре Башкирского мегантиклинория на Южном Урале

*Левкова Б.Д. *(ГИН РАН, belalevkova@mail.ru),*
Рязанцев А.В. (ГИН РАН)

Аннотация

Дана оценка минерального и петрографического состава метасоматитов, образованным по низкотитанистым пикритам в структуре башкирского мегантиклинория. Дано обоснование появления монацитовых россыпей и найден источник их сноса

Ключевые слова

Южный Урал, метасоматоз, пикриты, долериты, фосфатная минерализация, монацит

Источники финансирования

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-05-00308, в рамках госзадания ГИН РАН.

Теория

Результаты работ

Как известно, одним из главнейших минералов редких земель является монацит, безводный фосфат трехвалентных лантаноидов, служащий основным источником получения редких земель. В 60-х годах при съемочных работах на Южном Урале было найдено рудопроявление в виде россыпей. Наблюдается присутствие в шлихах из русловых отложений р.Мал. Авзян монацита, нередко в ассоциации с флоренситом, выявлено оно тематическим металлогеническим отрядом А.А. Макушина. [1].

Вблизи данного рудопроявления в восточной части Бурятии, в районе села Ишля, на территории, где распространена нижнерифейская суранская свита, наблюдаются ряды силлов и даек L-Ti пикритов, пикродолеритов и габбро-долеритов. Некоторые из этих тел претерпели метасоматические изменения. Суранская свита состоит из углеродисто-карбонатных, карбонатно-углеродистых и карбонатных пород. Она обнажена на правом

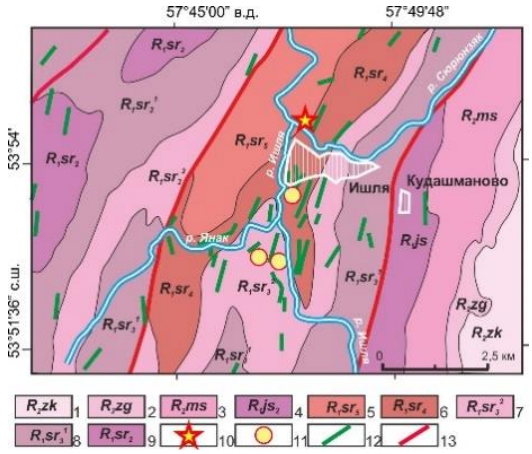


Рисунок 1. Рои силлов и даек базитов в структуре Башкирского мегантиклинория. Составлено с использованием данных [Ларионов и др., 2015]. 1–3 – свиты среднего рифея, терригенные, карбонатные и вулканогенно-осадочные породы: 1 – зигазино-комаровская, 2 – зигальгинская, 3 – машакская, 4 – юшинская; 4–9 – подсвиты и толщи суранской свиты нижнего рифея, углеродистые,

карбонатные породы; 10 – точка опробования метапикритовых метасоматитов на ^{40}Ar-^{39}Ar-анализ (1356±16 млн. л.); 11 – местонахождения пикритов; 12 – силлы и дайки долеритов; 11 – тела пикритов; 12 – разломы

берегу реки Сюрюнзяк, образуя крыло синклинали (с азимутом падения 295° и углом 30°). Различные.авторы относят прорывающие базиты к юшинскому, лапыштинскому или ишлинскому комплексам [3,5,6]. Интрузивные породы слагают силлы, или тела неясного структурного положения на плохообнажённых залесённых участках. В обрывах на правом берегу р. Сюрюнзяк обнажается межпластовое тело метасоматических пород мощностью 0.8–0.9 м. Оно залегает среди углеродистых филлитовых сланцев и известковых углеродистых алевролитов сердаукской подсвиты суранской свиты и протягивается в обнажении на 400 м. В 30 м структурно выше тела метасоматитов среди углеродистых пород залегает силл габбродолеритов. Южнее, на окраине с. Ишля, в лесу распространены выходы нескольких линейных тел габброидов. Здесь же распространены пикриты, которые описаны в работе [7]. Нами установлено, что пикриты слагают автолиты шаровидной и караваеобразной формы размером от первых сантиметров до 1.5 м. Автолиты пикритов располагаются в коре выветривания по габбродолеритам, а ниже по склону образуют коллювиальные развалы, залегающие на кварцито-сланцах суранской свиты. [4].

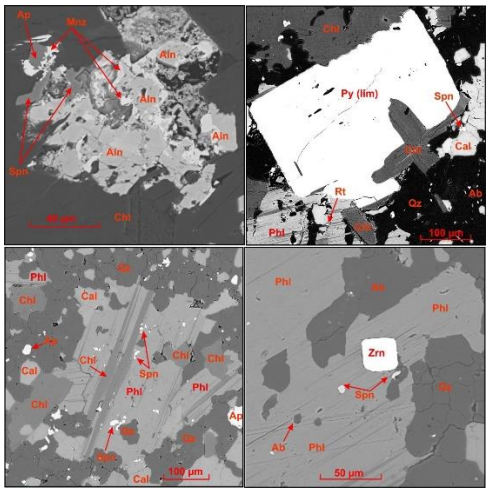


Рисунок 2. BSE СЭМ-изображения участков шлифов апопикритовых метасоматитов

По петрографическому составу метасоматиты схожи с карбонатитами. В шлифах наблюдается порфиробласты флогопита в кварц-хлоритовом агрегате, присутствует апатит. В отдельных линзах в кварц-хлоритовом матриксе преобладают порфиробласты доломита. Акцессорные минералы представлены титанитом, апатитом, рутилом, а так же в центральной части метасоматита наблюдается алланит с каймами монацита [7].

Полученные данные о составе, структурном положении позволяют предполагать, что пикриты, которые являлись протолитом метасоматитов, пикриты из автолитов, габбро-долериты генетически связаны и представляют единый магматический источник. [7]. Таким образом, можно предполагать, что мы наблюдаем одно из немногих метасоматических тел такого типа. Некоторые, предположительно, были подвергнуты процессам денудации, благодаря чему накопились россыпи или перекрыты, на данный момент перекрыты четвертичными отложениями.

Выводы

В настоящее время метатерригенные толщи с аутигеннометаморфогенным монацитом известны в рифее Среднего Тимана и в каменноугольнопермских породах Хараулахской и Куларской структур Северного Верхоянья; монацитовое оруденение в этих районах стало известно в связи с накоплением этого минерала в монацитоносных и комплексных монацитосодержащих россыпях. Изучение этих россыпей позволило выделить новый потенциально промышленный тип редкоземельных россыпей — пролювиальноаллювиальные россыпи аутигенно метаморфического монацита [3]. Рифейские карбонатитовые метасоматиты западного склона Южного Урала, возможно, представляют новую перспективную провинцию развития гидротермальнометасоматического редкоземельного оруденения.

Библиография

1. Алексеев А.А., Тимофеева Е.А. РЕДКОЗЕМЕЛЬНОФОСФАТНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В МЕТАТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩАХ РИФЕЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ //Геологический сборник № 3. Информационные материалы
2. ПатыкКара Н.Г., Беневольский Б.И., Быхов ский Л.З. и др. Россыпные месторождения Росси идругих стран СНГ. М.: Научный мир, 1997. 479 с.
3. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
4. Сазонова Л.В., Носова А.А., Ларионова Ю.О. и др. Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена // Литосфера. 2011. № 3. С. 64–83.
5. Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N. et al. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern Margin of the East European craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник / Ред. В.Н. Пучков, Р.Ф. Абдрахманов, И.Б. Серавкин. Уфа: ДизайнПолиграфСервис 2006. № 5. С. 1–45.
6. Khotylev A.O., Tevelev A.V., Bychkova Ya.V.,et al. Mezoproterozoic basite magmatism of the Bashkirian meganticlinorium: age constraints, petrological and geochemical features. Geodynamics &Tectonophysics. 2020.11 (2), 219–243.
7. Ryazantsev A.V., Levkova B.D, Travin A.V. Ectasian 40Ar/39Ar Age of Phlogopite from Apopicritic Metasomatites in the Structure of the Bashkirian Meganticlinorium, South Urals // Doklady Earth Sciences, 2024. © Pleiades Publishing, Ltd., 2024. DOI: 10.1134/S1028334X24603936

Особенности геологического строения Новомосковского месторождения гипса

Чемоданов Д.Ю. (РУДН им. Патриса Лумумубы, 1142240250@pfur.ru)*

Аннотация

Новомосковское месторождение гипса, расположенное в 3-4 км от Новомосковска и 60 км к юго-востоку от Тулы, является крупнейшим в России по разведанным запасам и охватывает площадь около 20,5 км². С начала разработки в 1949 году на Ключевском участке оно стало важным объектом для горнодобывающей отрасли.

Среди рассматриваемых аспектов выделяются характеристики пород различных периодов, такие как девонский, каменноугольный, мезозойский и четвертичный, а также микроритмичное строение гипсовой толщи, состоящей из различных пластов и разновидностей гипса. Также уделяется внимание сложным геологическим структурам, которые являются результатом многовековых тектонических процессов

Таким образом, Новомосковское месторождение гипса является важным объектом для горной промышленности с хорошими перспективами для дальнейших исследований.

Ключевые слова

Новомосковское месторождение, гипс, стратиграфия, тектоника, литологические особенности

Теория

Общие сведения о Новомосковском месторождении гипса.

Новомосковское месторождение гипса — крупнейшее в России по разведанным запасам, площадью около 20,5 км², расположено в 3-4 км от Новомосковска и 60 км к юго-востоку от Тулы. Разработка начала с 1949 года на Ключевском участке с использованием шахтного способа. В пределах горного отвода площадью 4128 га работают три участка: Любовский, Ключевский и Урванский (Центральный), в то время как Северо-восточный участок резервный.

Район принадлежит к бассейнам рек Оки и Дона и располагается на гидрологическом водоразделе между Азово-Черноморским и Каспийским морями. Центральный участок протянулся на 4500 м в меридиональном и 6500 м в широтном направлениях, а Северо-восточный — на 6000 м с юга на север и 5000 м с запада на восток. Гипсовые залежи залегают на глубине 120-130 м, территория имеет холмистую равнину с абсолютными отметками от 180 до 240 м. Климат характеризуется умеренно холодной зимой и теплым летом; максимальное количество осадков (60-80 мм) наблюдается в июне и июле, преобладают западные и юго-западные ветры. [4]

Основные черты тектонического строения и стратиграфические особенности Новомосковского месторождения гипса.

В состав Новомосковского месторождения гипса входят породы девонского, каменноугольного, мезозойского и четвертичного возрастов, являющиеся частью осадочного чехла Восточно-Европейской платформы.

Девонские отложения. Нижний и средний девон представлены осадочными породами: песчаниками, алевролитами и глинами, которые могут лежать на кристаллическом фундаменте или подстилаются вендом и нижним палеозоем. Наблюдаются также доломиты, галит и гипс. Верхний девон представлен песчано-глинистыми и карбонатными отложениями. На глубине 159 м выявлен подгипсовый водоносный горизонт, который угрожает эксплуатации месторождения. [2]

Каменноугольная система включает турнейский ярус с глинами и мелкозернистым известняком мощностью от 0,5 до 17,7 м. Визейский ярус и Бобриковский горизонт с углисто-глинистыми комплексами, а также Тульский горизонт с песчаными и известняковыми отложениями. [2]

Мезозойские отложения. Включают среднюю юру и нижний мел, представлены желто-бурыми мелкозернистыми песками и серовато-желтыми глинистыми отложениями мощностью от 4 до 19 м. [3]

Четвертичные образования. Распространены повсеместно и представлены покровными суглинками бурого и желто-бурого цветов мощностью 2-4,5 м. [3]

Участок исследований находится в южном крыле Московской синеклизы, основной структурной единице Русской платформы, с пологим наклоном на север. Синеклиза подвергалась тектоническим процессам с нижнепалеозойского времени, что отразилось на её геологической структуре. Герцинская и альпийская складчатость образовали локальные структуры II и III порядка, выраженные в виде валов и прогибов.

Чередование континентального и морского режимов в палеозое привело к образованию различных типов осадков: карбонатных, терригенных и озерно-лагунных. Осадки района характеризуются малой мощностью и быстрой сменой фаций.

Южное крыло синеклизы имеет сложные пологие структуры II порядка, среди которых выделяются небольшие поднятия и прогибы. Труфаново-Павелецкая зона представлены местами поднятий, такими как Новомосковское, Донское и Зубовское, с амплитудами 140-160 метров.

Длительное погружение, начавшееся в среднем девоне и продолжавшееся до среднего карбона, способствовало накоплению более 100 метров осадков. Периодические поднятия приводили к обмелению и осушению морского бассейна, формируя цикличное строение девонских и каменноугольных отложений. Основные структурные элементы сформировались в девонское и каменноугольное время под воздействием более поздней тектоники. Новомосковское месторождение гипса расположено на одноименном поднятии III порядка, с незначительным понижением подошвы (2-3 метра) с юго-востока на северо-запад; разрывные нарушения не зафиксированы. [4]

Геологическая характеристика продуктивной толщи Новомосковского месторождения гипса.

Продуктивная гипсовая толща имеет горизонтальное залегание с небольшим падением на 2-3 метра с юго-востока на северо-запад и пластообразную форму, приуроченную к Новомосковскому куполу блочного поднятия на южном крыле Московской синеклизы. Мощность гипсовой толщи колеблется от 14-15 до 22 метров и заключена между доломитовыми породами. Она обладает четким микроритмичным строением, выражающимся в чередовании слоев гипса толщиной от 0,5 до 4 метров с тонкими прослойками селенита и доломита. Мощность селенита не превышает 0,12 метра, доломитовых — 0,20-0,30 метра, с резким контактом между ними.

Залежь делится на две части: верхняя часть (непромышленная) представляет собой защитную потолочину из до 9 пластов гипса мощностью 1,0-1,5 метра, а нижняя (промышленная) разрабатывается подземным способом и включает 8 пластов (I-VIII) с различной мощностью. Нумерация пластов ведется сверху вниз. (Рисунок 1) [4]

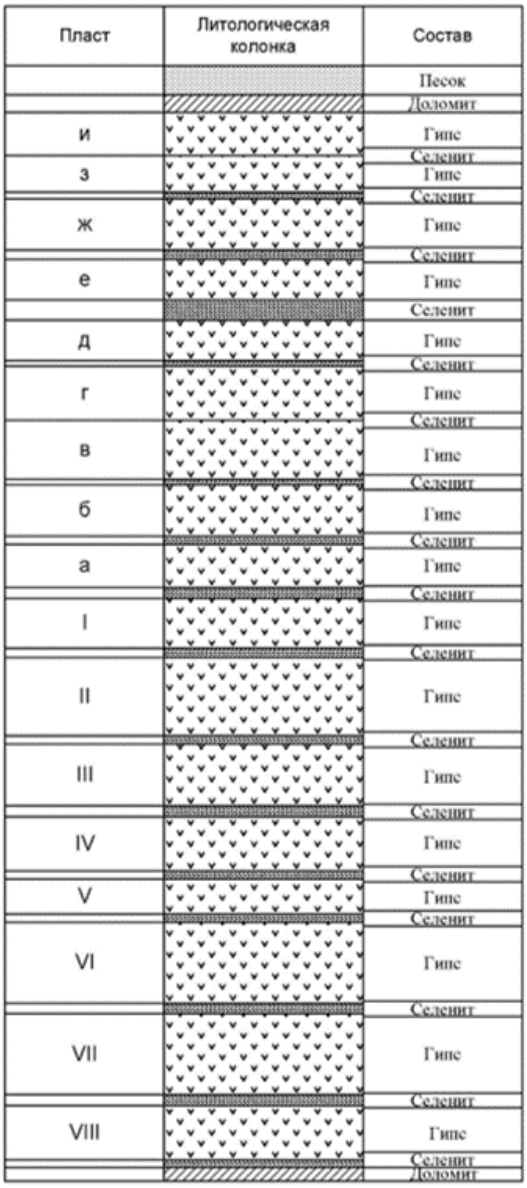


Рисунок 1. Литологическая колонка гипсовой залежи месторождения [1]

Прослойки селенита, отличающиеся по цвету и структуре, служат маркирующим горизонтом. Связь между гипсом и доломитом слабая, особенно при наличии углистого вещества. Общая прочность контактов высокая, но может ослабляться в нижних пластах, особенно «а», I, II, IV и в верхних III, IV, VIII.

Месторождение относится к первой группе по сложности геологического строения, что подтверждается равномерной мощностью и качеством полезного ископаемого. Толща гипса состоит из нескольких разновидностей:

1. Гипс светло-серый, часто с желтоватым оттенком, крупнокристаллический, сахаровидный, местами текстура пятнистая за счет неравномерной окраски и включений доломита, с вкраплениями в виде линз тонкослоистого гипса и пересекающихся нитевидных прослоев темно-серых доломитов. Пятнистый гипс имеет преобладающее распространение в разрезе гипсовой толщи

2. Гипс характеризуется серым и темно-серым цветом, с кристаллами гипса звездчатой формы, с тонкими прослоями доломита и линзами селенита. Звездчатый гипс имеет подчиненное распространение в разрезе гипсовой толщи.

3. Селенит от белого до светло-голубого цвета, отличается ярко выраженной волокнистой структурой, иногда сложен вытянутыми кристаллами гипса. В незначительном количестве присутствует глинисто-доломитовый материал в виде мелких линзочек и тонких прерывающихся прослойков, ориентированных перпендикулярно волокон гипса.

Эти разновидности образуют чередующиеся пласты гипса, формирующиеся во время циклов осадконакопления. Граница между пластами проводится по кровле прослоя селенита или доломита. Пласты гипса имеют волнистое залегание, а трещиноватость наблюдается лишь в прослойках селенита или доломита, являющихся границами раздела слоев, обогащенных углистым веществом.

Выводы

Новомосковское месторождение гипса впечатляет своими масштабами и уникальными геологическими характеристиками. Это крупнейшее в России месторождение с площадью около 20,5 км² и глубиной залегания до 130 метров. Оно представляет собой результат длительной геологической эволюции, начиная с девонского периода и заканчивая современными отложениями.

Литология месторождения включает в себя чередование различных типов гипса и селенита, создавая сложную, но интересную картину микроритмичного строения. Благодаря подземной разработке, ресурсы извлекаются с минимальным воздействием на окружающую среду.

Таким образом, Новомосковское месторождение гипса является важным объектом для горной промышленности и имеет перспективы для дальнейших исследований и оптимизации методов добычи.

Библиография

1. Кобылина О. Н. Литологические особенности гипсоносной толщи Новомосковского месторождения / О. Н. Кобылина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2013. – № 2. – С. 30-34. – EDN RPCXVV.

2. Яблоков В.С., Двинов А.Я. Отчет о детальной разведке Ключевского участка Сталиногорского гипсового месторождения и общая оценка запасов гипса на южном крыле Подмосковного бассейна. г. Тула – май 1937г.

3. Богатырев О.В. Отчет о детальных разведочных работах на Сталиногорском месторождении гипса (Ключевский участок). г. Москва – 1954 г.

4. Перекотий А.Н., Погромский Е.С. Технический проект разработки Новомосковского месторождения гипса. г. Белгород – 2019г.

5. Жабин А. В. Морфологические особенности частиц гипса в зависимости от гидродинамических обстановок их образования (на примере Новомосковского эвапоритового бассейна) / А. В. Жабин, О. Н. Кобылина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2023. – № 4. – С. 129-133. – DOI 10.17308/geology/1609-0691/2023/4/129-133. – EDN WFVDRK.

Минералогические характеристики руды Au-Ag месторождения Тунанца в Эквадоре

Медина Х.П. (МГРИ, juanmedinageologia@gmail.com)*

Аннотация

Эпитермальное месторождение Тунанца расположено в горном массиве Эль-Кондор, в юрском металлогеническом поясе, в котором расположены крупные золото-серебряные месторождения эпитермальной и порфировой формаций.

Au-Ag сульфидная минерализация локализована в фреатомагматических брекчиях, генезис которых связан с несколькими эруптивно-взрывными событиями.

Гидротермальный этап включает пять стадий: кварц–серицитовую (I), кварц-малосульфидную (II), кварц-золото-сульфидную (III), кварц–кальцитовую (IV) и каолинит-алунитую

Минералогические характеристики указывают на наличие как минимум двух событий минерализации, первое из которых представлено ассоциацией пирита I, сфалерита I и кварца, а второе – галенитом, пиритом II, сфалеритом II, халькопиритом и кварцем.

Ключевые слова

Эруптивные брекчии, последовательность минералообразования, взрыв

Источники финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Теория

Работа основана на данных автора, собранных во время работы в полевых условиях, аналитических лабораторных исследованиях, проведенных в период 2019—2024 гг. Выполнено специализированное изучение пород, руд и метасоматитов в прозрачных шлифах (30 штук) и аншлифах (10 штук).

Месторождение Тунанца расположено в Юрском металлогеническом поясе Анд в Эквадоре, в районе, соответствующем гранодиоритам батолита Замора, датируемым 160,5±1,7 млн лет, и порфировым интрузивным телам ~147 млн лет. [1].

Оно представляет собой высокосульфидный эпитермальный Au-Ag объект, локализованный в эндогенной брекчии площадью 1,4 х 1,7 км. Отметим, что рудоносные гидротермальные брекчии описаны на многих подобных месторождениях [2].

Рудоносная брекчия месторождения Тунанца сложена остроугольными и угловато-округлыми обломками размерами от нескольких миллиметров до 1,5 м в поперечнике. В состав обломков входят базальт, кварцевый порфир, гранодиорит, диорит в различных пропорциях, также встречаются обломки гранито-гнейсов (рис. 1 - A).

Округлые обломки часто имеют каймы силикатного состава, что позволяет предварительно отнести породы к фреатомагматическим брекчиям, что отмечено и предыдущими исследованиями [3]. Существование этих брекчий является результатом первого взрывного процесса, произошедшего в этом районе. Цемент брекчии сложен мелкими зернами пород и вулканическим стеклом. Он изменен результате метасоматоза, вызванного гидротермальными флюидами (рис. 1-B, 3). Надо отметить, что в составе обломков имеются микробрекчии (рис. 1-C), что указывант по крайней мере, на одно предыдущее взрывное событие.

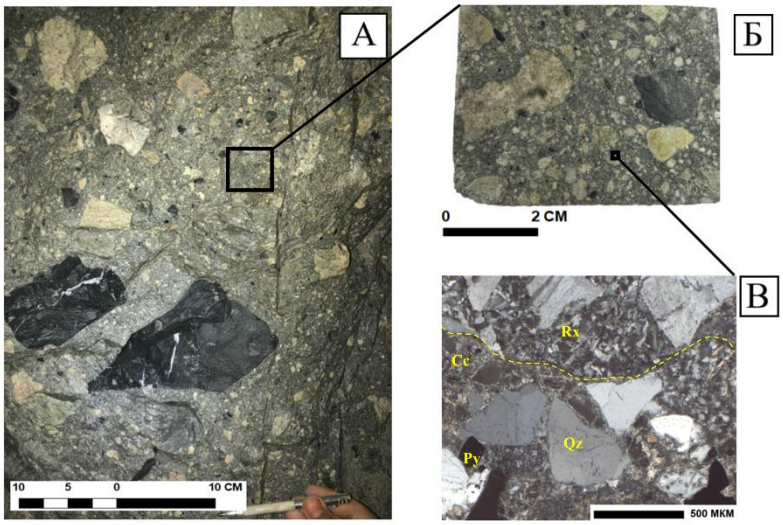


Рисунок 1. Эксплозивная брекчия с обломками базальта, андезита, дацита, кварцита, гранодиорита и гранито-гнейса, с цементом вулканического стекла с метасоматическими изменениями. А – Мегабрекчия. Б – Макробрекчия. В – Микробрекчия и измененный цемент вулканического стекла.
Qz - кварц. Py - пирит. Rx - микробрекчия, округлый обломок брекчии.
Cc - цемент вулканического стекла + карбонаты

Рудная залежь представлена сульфидизированными телами минерализованных брекчий, в меньшей мере маломощными сульфидными жилами с почти вертикальным падением. Основная относительно богатая сульфидами минерализация представлена прожилково-цементными выделениями с обломками полимиктовой брекчии, размеры обломков сотавляют от 5 см до приблизительно 2 м.

Флюидизация минерализованной брекчии подчеркивается округлением мелких обломков (рис. 2). Метасоматоз проявлен в ореолах аргиллизитов, характерных для стадии V.

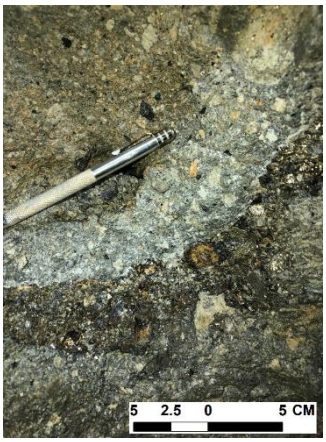


Рисунок 2. Прожилковое выделение каолинизированной микробрекчии, пересекающие вкрапленную сульфидную минерализацию относительно слабо измененной брекчии

На рис. 3 показаны кварц и пирит I в брекчиях, относящихся к стадии II, а также сфалерит II, пирит II и халькопирит стадии III и карбонаты стадии IV.

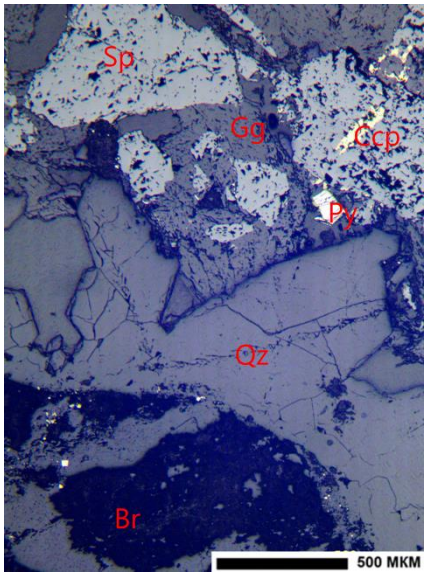


Рисунок 3. Каёмочная структура сульфидов в прожилке кварца, пересекающего брекчию. Py - пирит, Ccp - халькопирит, Sp - сфалерит, Gg - дополнительные минералы: карбонаты и силикаты, Qz - кварц, Br – брекчия

Руда представлена ассоциацией галенита, пирита, сфалерита, халькопирита и арсенопирита. Золото в виде вкрапленных частиц микрометрового размера, тесно связанно с зернами галенита, сфалерита, иногда пирита.

Изучение текстур и структур руд в обнажениях, образцах и шлифах позволили составить схему последовательности гидротермального минералообразования (Рис. 4). В результате выявлены распространенные рудные минералы пирит, сфалерит и галенит. Меньше распространены халькопирит, арсенопирит, и не часто встречаются ковеллин, гематит, пирротин и лимонит.

Гидротермальный этап включает пять стадий: кварц–серицитовую (I), кварц-малосульфидную (II), кварц-золото-сульфидную (III), кварц–кальцитовую (IV) и каолинит-лимонитовую (Рис. 4). Минералы с тадии I формируются после окончания последнего взрывного процесса, который привел к образованию фреатомагматических брекчий, цемент этих брекчий был изменен, в результате чего в них присутствовали серицит-кварцевые метасоматиты. Пористость и капиллярные процессы в брекчиях способствовали быстрому рассеиванию гидротермальных флюидов.

Стадия II начинается после второго взрывного процесса, который привел к образованию трещин и полостей для отложения кварц-золото-малосульфидного парагенезиса, связана с фреатомагматическими процессамиов [4].

Для нее характерны отложения массивного зубчатого кварца в трещинах, затем сфалерита I и пирита I, рассеянных в брекчиях, заполняющих трещины.

Стадия III также начинается после взрывного процесса, который приводит к образованию новых и повторному открытию трещин, а также к формированию сульфидного цемента брекчий. Она характеризуется трещиноватостью пирита I и других сульфидов, а также отложением пирита II, арсенопирита, халькопирита, сфалерита II, галенита и самородного золота.

Стадия IV включает в себя отложение массивного кварца и кальцита, связанное с заполнением трещин и микротрещин. Стадия V включает аргиллитизацию брекчии и отложение массивного каолинита, а также генерацию алунита, эта стадия заканчивается, и затем начинаются процессы генерации лимонита, ковеллита, гематита в супергенных частях.

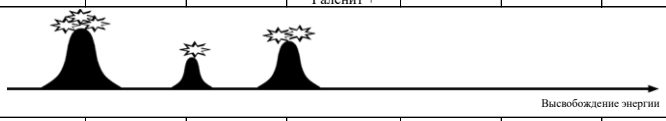
Этапы и стадии	Стадии гидротермального этапа					Зона окисления
	I	II	III	IV	V	
Минералы	Ассоциации					
	Кварц-серицитовая	Кварц-малосульфидн	Кварц-золото-сульфидная	Кварц-кальцитовая	Каолинит - Лимонит	
Галенит						
Пирит						
Халькопирит						
Арсенопирит						
Сфалерит						
Ковеллит						
Гематит						
Пирротин						
Самородное золото						
Кварц						
Серицит						
Хлорит						
Кальцит						
Каолинит						
Алунит						
Лимонит						
Текстуры руд	Вкрапленнная, массивная	Вкрапленнная, массивная, прожилковая	Вкрапленнная, массивная, прожилковая	Вкрапленнная, массивная	Вкрапленнная, массивная	Пористая, рыхлая
Минеральные парагенетические ассоциация	Кварц - Серицит + Хлорит	Пирит I + Сфалерит I + Кварц	Пирит II + Арсенопирит + Халькопирит + Пирротин + Сфалерит II + Галенит +	Кварц + Кальцит	Каолинит + Лимонит	Лимонит + Ковеллит, Гематит
Взрыв						
Тип этапа	Заполнение и инфильтрация	Заполнения	Взрыв и заполнение	Заполнения	Взрыв и заполнение	Растворение и окисление
Главные		Сопутствующие		Редкие		

Рисунок 4. Схема последовательности формирования руд

Выводы

Процесс минерализации включает пять стадий: кварц-серицитовую (I), кварц-малосульфидную (II), кварц-золото-сульфидную (III), кварц-кальцитовую (IV) и каолинит-лимонитовую. Первые три процесса начинаются после взрывных событий, которые проявляются в разломах и минерализованных брекчиях. Золото образуется на третьей стадии и ассоциирует с сульфидами свинца, цинка и железа.

Библиография

1. Chiaradia M. Vallance et. al. U–Pb, Re–Os, and 40Ar/39Ar geochronology of the Nambija Au-skarn and Pangui porphyry Cu deposits, Ecuador: implications for the Jurassic metallogenic belt of the Northern Andes. Springer-Verlag. 2009

2. Corbett G. Epithermal gold-silver and porphyry cooper-gold exploration. Short course manual: unpublished, Sept 2017 edition.

3. Ruiz G., Carranco A. Prospección geológica y geoquímica de la hoja topográfica Zamora, (E 1:50.000 // Universidad Central del Ecuador. 2015.

4. Taylor R. Ore textures recognition and interpretation. Springer. Australia. p. 274 2009.

Подсекция 2.2. Минералогия, геохимия и петрография

Диагностика ортосиликатной-гидрослюдистой минерализации на основе спектрометрии диффузного отражения в диапазоне swir-vnir

Агапов И.Р. (МГРИ, drinkey11@gmail.com),*
Рассулов В.А. (ВИМС, rassulov@mail.ru)

Аннотация

Измерены спектры диффузного отражения представительной выборки образцов штуфов перспективной площади Алдында-Алянга (Республика Бурятия, Россия) на потенциальное месторождение золота и полиметаллов образцов в широком спектральном диапазоне от 350 до 2500 нм. При исследовании выявлены минералы процессов метаморфизма и метасоматизма -мусковит, хлорит, эпидот которые зафиксированы методом микрофотодокументирования при освещении лампой накаливания. Полученные результаты показывают высокую степень метаморфизации, скарнирования и внедрения щелочных флюидов. Предложенный авторами [2] метод исследования штуфных проб для определения степени видоизменения пород под воздействием процессов метаморфизма и метасоматизма показывает высокую правильность определения зон изменения горных пород для картирования территории [4].

Ключевые слова

Хлорит, мусковит, эпидот, SWIR -, VNIR- спектрометрия диффузного отражения

Теория

Идентификация слюдисто-ортосиликатной минерализации играет ведущую роль в картировании зон, предполагаемых оруденений и изучения влияния щелочных флюидов на вмещающие породы. Им процессам соответствует появлению ряда диоктаэдрических слоистых алюмосиликатов: эпидот – мусковит – гидрослюды, отражающий понижение температурных условий минералообразования [3]. Разработанное на основе измерения спектров диффузного отражения оборудование (TerraSpec 4 Hi-Res) и программное обеспечение (TSG) [Corbett] позволило оперативно идентифицировать эти минералы. Данный метод показал высокую степень надежности определения минералов слюдистой (Мусковит), гидрослюдистой (Хлорит) и ортосиликтной (Эпидот) групп методом SWIR-VNIR спектроскопии, что позволяет оперативно картировать зоны скарнирования и грейзенизации для дальнейшего обнаружения зон оруденений золота, свинца и урана [2] [5].

При анализе проб была принята следующая терминология:

Мусковит [KAl2(AlSi3O10)(OH)2] – листовой силикат группы силикатов. Его выделения встречаются в виде мелкочешуйчатых агрегатов.

Эпидот [Ca2Fe3+Al2(Si2O7)(SiO4)O(OH)] – ортосиликат группы силикатов. встречается в виде зёрен и отдельных кристаллов.

Хлорит [(Mg,Fe)3(Si,Al)4O10(OH)2·(Mg,Fe)3(OH)6] – минерал группы гидрослюд, в основном он был замечен в зонах заполнения пустот породы.

SWIR – спектр в диапазоне длин волн от 1000 до 2500 нм, VNIR – спектр в диапазоне длин волн от 350 до 1000 нм [2].

Методика исследования и оборудование. Проведены исследования представительной выборки образцов штуфов перспективной площади Алдында-Алянга (Республика Бурятия, Россия) на потенциальное месторождение золота и полиметаллов

приуроченных к зонам метасоматизации и гидротермальному изменению гранитоидов с высокой степенью внедрения щелочных флюидов, высокотемпературных и среднетемпературных растворов. Для идентификации минералов слюд, гидрослюд и ортосиликатов из исходной породы содержащую примеси и других минералов, использовалась методика измерения спектров диффузного отражения с использованием спектрофотометра TerraSpec 4 Hi-Res и программы TSG. Для хранения и дальнейшего анализа был использован персональный компьютер. Для фотодокументирования образцов использовался цифровой фотоаппарат Canon D600.

Результаты

На рис.1 редставлены фото с зонами измерений и спектры измерений

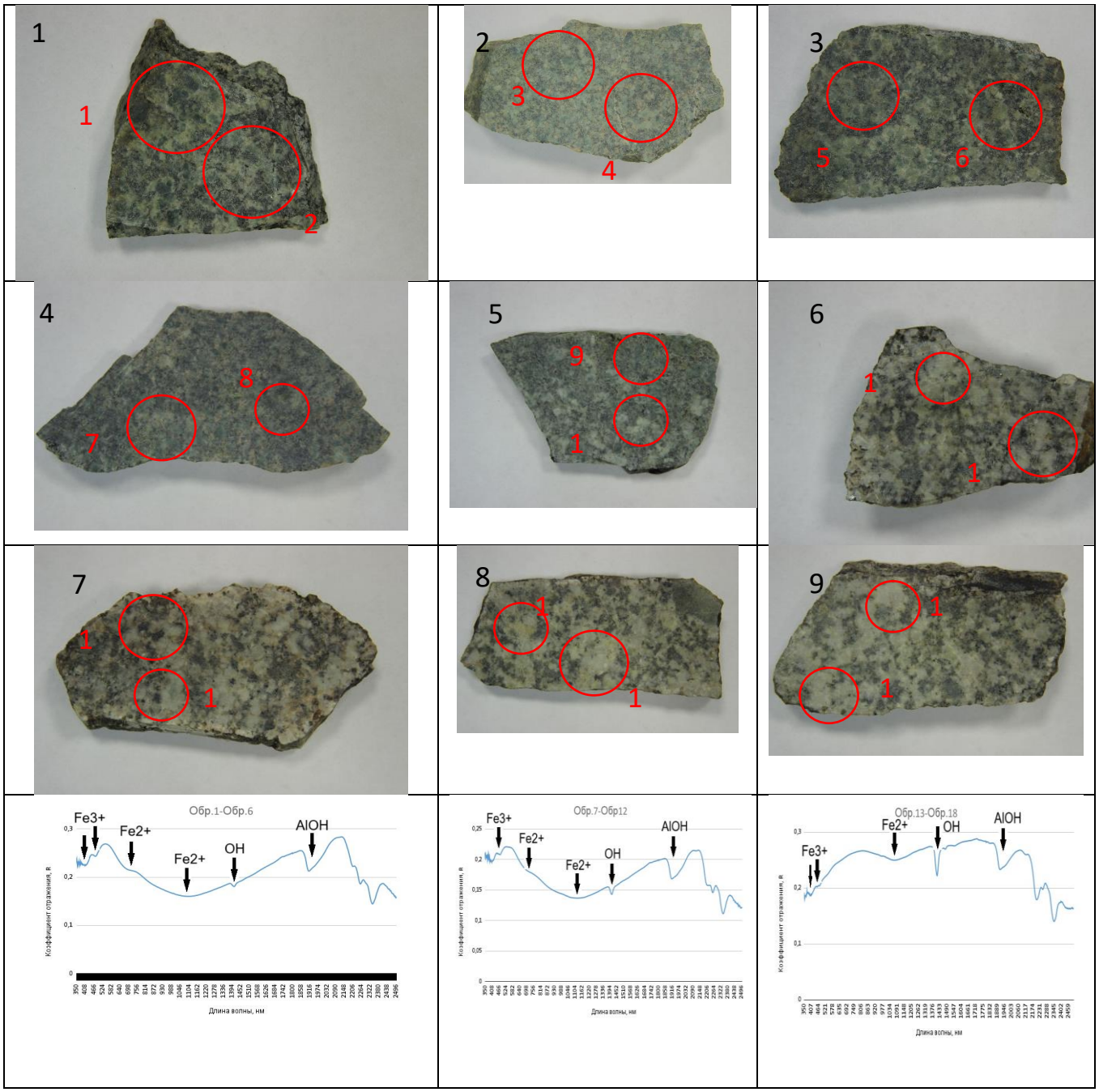


Рисунок 1. Цифрами 1 - 9. обозначены номера образцов

Цифрами 1-18 представлены зоны замера (цифры красного цвета), также ниже представлены спектры с подписью зон замеров мономинеральной фракции

Благодарности

Авторы выражают благодарность генеральному директору ЗАО «НПП ГеоТестСервис» за предоставление спектрометра TerraSpec 4 Hi-Res для измерения спектров диффузного отражения и Алёшину А. П. за помощь в пробоподготовке образцов.

Выводы

Измерены спектры диффузного отражения образцов в широком спектральном диапазоне от 350 до 2500 нм. При исследовании выявлены минералы (мусковит, хлорит, эпидот) и зафиксированы методом микрофотодокументирования при освещении лампой накаливания. Полученные результаты показывают степень метаморфизации, скарнирования и внедрения щелочных флюидов. Предложенный авторами [2] метод исследования штуфных проб для определения степени видоизменения пород под воздействием процессов метаморфизма и метасоматизма показывает высокую точность для определения зон изменения горных пород и дальнейшего картирования территории [4].

Библиография

1. Андреева О.В., Русинова О.В., Воловикова И.М. Типоморфные особенности диоктаэдрических слюд и смешанослойных образований из гидротермальных околорудных метасоматитов // Минералогический журнал. 1989. № 4, с. 21-32
2. Рассулов В.А. Леденёва Н.В., Иоспа А.В. Оперативная диагностика глинисто-гидрослюдистой минерализации на основе спектрометрии в диапазоне UV-VIS-NIR // Разведка и охрана недр. 2018. №10. С. 69-72.
3. Corbett, G.J. Anatomy of porphyry-related Au-Cu-Ag-Mo mineralised systems// Some exploration implications// Northern Queensland Exploration and Mining 2009 Extended Abstracts, Australian Institute of Geoscientists, Bulletin 49, p. 33-46.
4. Merriman, R.J. and Peacor, D.R. (1999). Very low-grade metapelites; mineralogy, microfabrics and measuring reaction progress. In: Frey M. and Robinson D. (eds) *Low-Grade Metamorphism*. Blackwell Sciences Ltd., Oxford, pp 10-60.
5. Clark R.N., King T.V.V., Klejwa, Matthew, Swayze, G.A., Vergo, Norma, (1990), High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals: Journal of Geophysical Research, v. 95, p. 12653–12680.

Применение метода термодинамического моделирования для расчета растворимости тенорита и малахита в воде и растворах аммиака

Бубликова Т.М.* (ИЭМ РАН, tmb@iem.ac.ru),
Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН, setkova@iem.ac.ru),
Балицкий В.С. (ИЭМ РАН, balvlad@iem.ac.ru)

Аннотация

Изучена растворимость тенорита [CuO] и малахита [$Cu_2CO_3(OH)_2$] в чистой воде и растворах аммиака 0.01 и 2.0 m NH_4OH. Общее содержание меди в растворе при взаимодействии тенорита и малахита с водой и растворами гидроокиси аммония рассчитывали с использованием программного комплекса геохимического моделирования HCh. Установлены формы нахождения меди в растворах, построена зависимость растворимости указанных минералов от температуры в интервале 20–100 ºС. Показано, что малахит растворяется в воде и растворах гидроокиси аммония инконгруэнтно, с образованием тенорита.

Ключевые слова

Тенорит, малахит, термодинамическое моделирование, аммиачные растворы, фазообразование

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН №FMUF-2022-0002

Теория

Основной целью настоящего исследования является теоретическое и экспериментальное изучение условий образования и определение растворимости тенорита и малахита при взаимодействии с водой и водными растворами, содержащими аммиак 0.01 и 2.0 m NH_3. Выбор концентраций растворов обусловлен следующим. Тенорит и малахит – широко распространенные минералы зоны окисления медных сульфидных и полиметаллических месторождений. Теоретическое исследование растворимости данных минералов методами химической термодинамики позволяет выявить преимущественную стабильность минералов в приповерхностных условиях, близких к условиям их образования при атмосферном давлении ($p_{CO2} \approx 10^{-3.45}$ атм) и невысоких (до 100 ºС) температурах.

Исследование растворимости тенорита и малахита в слабых растворах аммиака имеет принципиальное значение для обеспечения безопасного хранения отработавшего ядерного топлива в медных контейнерах, размещаемых в гранитных породах. Химическая среда в ближайшей зоне хранилища может оказывать как отрицательное воздействие на стенки контейнеров, усиливая коррозию меди, так и положительное, создавая пассивирующую пленку. В глубинных грунтовых водах установлено присутствие иона NH_4^+. По данным авторов Puigdomenech, Taxén содержание азота в воде на глубине порядка 500 метров зафиксировано до 0.5 ммоль/кг [3].

Концентрированные растворы аммиака (1.0–3.0 m NH_4OH) – составная часть комплексных растворов, используемых в гидрометаллургических процессах аммиачного выщелачивания из бедных окисленных, самородных руд и отходов переработки первичных медных руд [2].

Теоретический анализ фазовых соотношений и растворимость тенорита и малахита в чистой воде и водных растворах аммиака проводили с использованием программного комплекса геохимического моделирования HCh [5]. Результаты теоретических расчетов растворимости

малахита и тенорита в воде и водно-аммиачных растворах при температурах до 100 ºС представлены на рис. 1

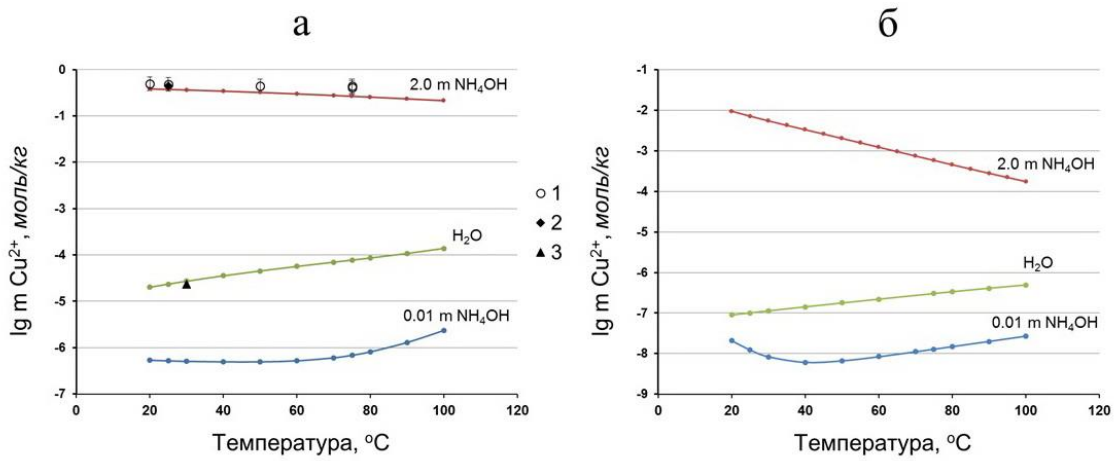


Рисунок 1. Зависимость растворимости малахита (а) и тенорита (б) от температуры в чистой воде и растворах гидроокиси аммония; 1 – наши экспериментальные данные [1]; 2 – расчетные и экспериментальные данные Xi Wang [6]; 3 – экспериментальные данные Scaif [4]

Растворимость обеих фаз в чистой воде увеличивается с ростом температуры. Концентрация меди в растворе возрастает от $2 \cdot 10^{-5}$ до $6 \cdot 10^{-5}$ моль/кг для малахита и от $9 \cdot 10^{-8}$ до 10^{-6} моль/кг для тенорита. Расчетные данные хорошо согласуются с экспериментальными данными Scaif [4], полученными при растворении основного карбоната меди в воде при температуре 30 ºС (рис. 1а). Растворимость тенорита в воде на два порядка меньше растворимости малахита в рассматриваемом диапазоне температур, температурная зависимость растворимости выражена резче, чем у малахита (рис. 1б). Очевидно, что в приповерхностных условиях зоны окисления тенорит более устойчив, чем малахит. На более глубоких горизонтах зоны окисления, при неизменном парциальном давлении углекислого газа, с повышением температуры это преимущество сохраняется, поскольку для образования тенорита требуется меньшая концентрация меди в водных растворах. Наибольший вклад в образование фазы малахита вносят присутствующие в воде ионы Cu^{2+}, $CuHCO_3^+$, $CuCO_3^0$ Понижение парциального давления CO_2 в атмосфере и уменьшение насыщенности углекислым газом растворов, циркулирующих в приповерхностной части зоны окисления, приводит к уменьшению содержания карбонат-бикарбонатных ионов меди, что способствует замещению малахита теноритом. Малахит растворяется в воде инконгруэнтно, с образованием тенорита.

Зависимость растворимости тенорита и малахита в 0.01 m NH_4OH носит более сложный, нелинейный характер. В интервале температур 20–40 °С общую концентрацию меди при растворении CuO определяет суммарное количество комплексов $Cu(OH)_2^0$, $Cu(NH_3)_3OH^+$, $Cu(NH_3)_n^{2+}$. С повышением температуры медно-аммиачные комплексы становятся менее устойчивыми, содержание их в растворе уменьшается, а содержание $Cu(OH)_2^0$ растет во всем рассматриваемом интервале температур и становится определяющим при T > 40 ºС. Общий характер количественных изменений частиц и комплексов в равновесном растворе при растворении малахита остается тем же. При температуре выше 60 ºС значительный вклад в общую концентрацию меди в растворе вносят частицы $CuHCO_3^+$, $CuCO_3^0$, которые переходят в раствор при его взаимодействии с малахитом. Следует отметить, что в равновесном с малахитом растворе присутствует значительное количество свободного аммиака ($1.1 \cdot 10^{-3}$ моль/кг), которое уменьшается с повышением температуры ($7.5 \cdot 10^{-4}$ моль/*кг* при 100 ºС).

Растворимость малахита в диапазоне температур 20 – 100 ºС выше таковой тенорита на полтора – два порядка. В растворах 0.01 m NH_4OH тенорит стабильнее малахита.

Инконгруэнтный характер растворения малахита в воде и 0.01 m растворах аммиака, показанный в наших расчетах и экспериментах, а также термодинамический расчет химического состава раствора, равновесного с твердыми фазами, имеет большое практическое значение для понимания механизма коррозии медных контейнеров. При возможном контакте чистой воды или грунтовых вод, содержащих низкоконцентрированную гидроокись аммония, с поверхностью контейнеров, покрытых налетом малахита, последний начинает растворяться с образованием более устойчивой фазы тенорита, которая в данном случае пассивирует поверхность. С ростом температуры до 100 °С стабильность тенорита повышается за счет малахита.

При растворении малахита и тенорита в концентрированных 2.0 m NH_4OH медь в равновесном растворе находится преимущественно в виде комплексов $Cu(NH_3)_4^{2+}$, $Cu(NH_3)_5^{2+}$, $Cu(NH_3)_3^{2+}$, $Cu(NH_3)_3OH^+$ (по мере убывания), которые теряют устойчивость с повышением температуры. Растворимость малахита и тенорита в растворе уменьшается с ростом температуры (см. рис. 1) . Температурная зависимость растворимости тенорита резко выражена, при повышении до 100 °С она уменьшается практически на два порядка. Как видно из рис. 1а, полученные ранее экспериментальные данные растворимости основного карбоната меди при температурах 20, 25, 50 и 75 ºС, находятся в хорошем соответствии с нашими расчетными данными, а также экспериментальными и расчетными данными Xi Wang [6] при T = 25 ºС.

Высокая растворимость малахита в концентрированных растворах аммиака нашла широкое применение в гидрометаллургических процессах извлечения меди из обедненных руд и вторичных отходов. Результаты исследования показали, что в атмосферных условиях при растворении малахита в равновесных (2.0 m NH_4OH) с твердыми фазами растворах присутствует 40–45 % тенорита. Растворимость тенорита в этих растворах значительно ниже, что затрудняет полное выщелачивание меди из руды в гидрометаллургическом процессе. В составе перерабатываемой руды также присутствуют оксиды, сульфиды, фосфаты меди, которые значительно хуже растворимы в аммиачных растворах. Для достижения максимально высокой степени выщелачивания меди становится необходимым дополнительное введение в состав раствора компонентов, способствующих их растворимости: хлорида, карбоната, нитрата аммония [6]. При высоком процентном составе в породах основных карбонатов меди перспективными для ее выщелачивания остаются концентрированные растворы гидроокиси аммония благодаря их высокой эффективности, низкой токсичности и стоимости.

Выводы

Таким образом, применение метода термодинамического моделирования существенно расширяет возможности изучения природных процессов минералообразования и может значительно дополнить имеющиеся данные по условиям образования минералов меди. Данные по растворимости тенорита и малахита в аммиачных растворах могут найти применение в гидрометаллургических процессах аммиачного выщелачивания для моделирования составов рабочих растворов в зависимости от состава исходной руды.

Библиография

1. Bublikova T.M., Balitsky V.S., Setkova T.V. Study of basic copper carbonate solubility in aqueous ammonia solutions (theoretical and experimental data). Experiment in Geosciences. 2013. V. 19. N 1. P. 74–75.

2. Nadirov R., Syzdykova L, Zhussupova A. Copper smelter slag treatment by ammonia solution: Leaching process optimization // J. Cent. South Univ. 2017. V. 24. 2799−2804.

3. Puigdomenech I., Taxén C. Thermodynamic data for copper. Implications for the corrosion of copper under repository conditions. Technical Report TR-00-13. 2000.
4. Scaif R.M. The solubility of malachite // Can. J. Chem. 1957. V. 35. P. 1332−1340.
5. Shvarov Yu.V., Bastrakov E. HCh: a Software Package for Geochemical Equilibrium Modeling: User's Guide (AGSO RECORD 1999/y). Canberra: Austr. Geol. Surv. Organisation; Dept. Industry, Science and Resources. 1999. 57 p.
6. Xi Wang, Qiyuan Chen, Huiping Hu, Zhoulan Yin, Zhongliang Xiao. Solubility prediction of malachite in aqueous ammoniacal ammonium chloride solutions at 25 °C. // Hydrometallurgy. 2009. V. 99. P. 231−237.

Минералы серии флогопит-киноситалит из кальцифиров Шаманского мыса, Юго-Западное Прибайкалье

Булах М.О. (МГУ им М.В. Ломоносова, aregon27@mail.ru)*

Аннотация

В кальцифирах Шаманского мыса (Слюдянский район, Иркутская область) обнаружены высокомагнезиальные бариевые слюды, образующие протяженную серию твердых растворов от флогопита с концентрацией Ba 0.03 а.ф. (1.2 мас. % BaO) до киноситалита с содержанием 0.80 а.ф. Ba (24.5 мас. % BaO). Члены этой серии ассоциируют с доломитом, кальцитом, голубой шпинелью, апофорстеритовым серпентином, рутилом, бадделеитом и баритом.

Ключевые слова

Бариевый флогопит, киноситалит, Слюдянка, кальцифир

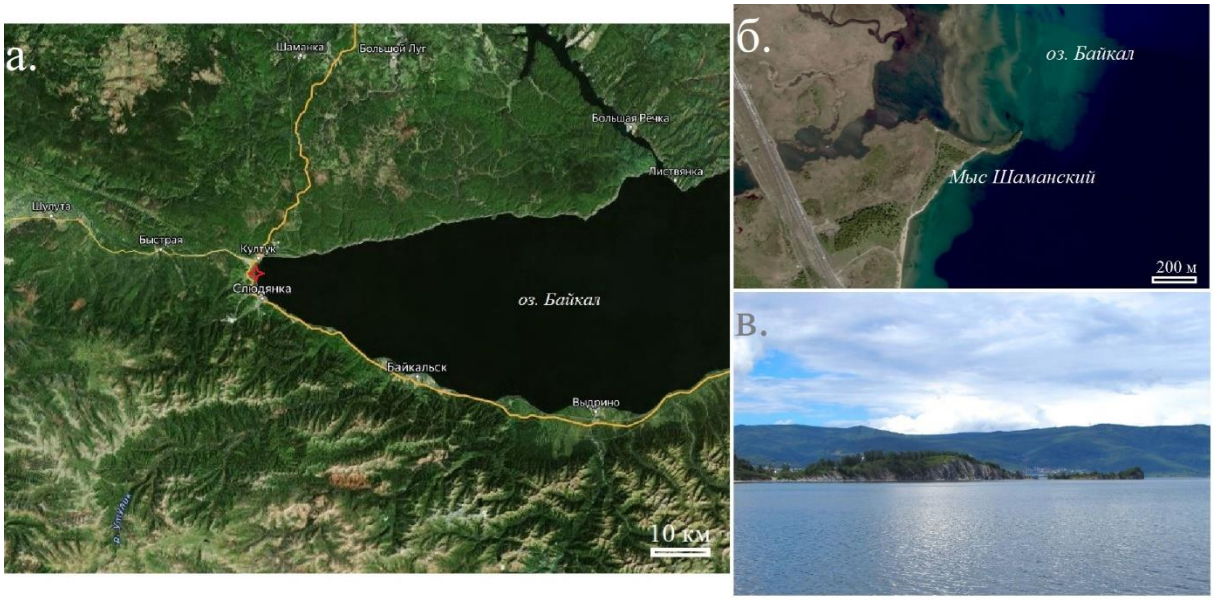
Источники финансирования

Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ кафедры минералогии геологического факультета МГУ, с использованием оборудования, приобретенного по программе развития МГУ им. М.В. Ломоносова

Теория

Киноситалит $(Ba,K)(Mg,Mn,Al)_3[Si_2Al_2O_{10}](OH)_2$ – редкий представитель триоктаэдрических хрупких слюд, впервые обнаруженный в марганцевых рудах месторождения Нода-Тамагава в Японии (Yoshii et al., 1973). К настоящему времени в мире известно около трех десятков объектов, где этот минерал выявлен достоверно. По большей части находки киноситалита и высокобариевого флогопита приурочены к метаморфизованным вулканогенно-осадочным Mn рудам, щелочным магматическим породам и их дифференциатам. На территории России киноситалит ($Ba_{0.66}K_{0.30}$) установлен в измененных мелилитах Чуктуконского массива в Красноярском крае (Doroshkevich et al., 2019); промежуточный член серии флогопит-киноситалит ($Ba_{0.44}K_{0.41}$) найден в Турахской кимберлитовой трубке в Якутской кимберлитовой провинции (Опарин, Олейников, 2021). В работе (Савельева и др., 2021) сообщалось о находке киноситалита в уртитах Большетагнинского массива в Иркутской области (однако надо заметить, что приведенный в этой статье анализ соответствует обогащенному Ba флогопиту, а не собственно киноситалиту).

Настоящая работа посвящена бариевым слюдам, недавно обнаруженным нами в кальцифирах Шаманского мыса в Слюдянском районе Юго-Западного Прибайкалья. Мыс Шаманский (рис. 1), расположенный между населенными пунктами Слюдянка и Култук и являющийся частью Похабинской гряды в составе горного хребта Хамар-Дабан, сложен розовыми и белыми мраморами, переслаивающимися с амфибол-пироксеновыми кристаллическими сланцами култукской свиты слюдянской серии. В настоящее время считается, что накопление протолита слюдянской серии происходило в рифее, а наиболее интенсивный цикл регионального метаморфизма относят к ордовикскому периоду (Школьник и др., 2016). Гранитоидов и гранитных пегматитов в непосредственной близости к Шаманскому мысу нет.



Рисунко 1. а) Географическое положение Шаманского мыса (на спутниковом снимке отмечен *), б) увеличенный фрагмент спутникового снимка, в) вид на Шаманский мыс со стороны ж/д станции Слюдянка-2 (фото автора)

Белые кальцит-доломитовые мраморы в западной части Шаманского мыса рассечены шпинеленосными флогопит-кальцитовыми жилами мощностью до 10 см. Флогопит в них представлен таблитчатыми кристаллами и чешуйками (до 5 мм величиной) чайного цвета. Весь он содержит Ba, количество которого меняется в основном от 1 до 8 мас. % BaO. Между жилами и «чистыми» мраморами развиты серпентинизированные форстеритовые кальцифиры с рутилом и бадделеитом. В этой ассоциации и выявлен киноситалит (Ba > K) (рис. 2), образующий бесцветные чешуйки размером до 1.5 мм. Максимальное зафиксированное количество Ba в нем составило 0.80 а.ф. = 24.5 мас. % BaO (табл. 1). Ранее в кальцифирах и магнезиальных скарнах Слюдянского района были известны только разновидности флогопита с содержанием до 0.25 а.ф. Ba = 8.5 мас. % BaO (Левицкий и др., 1977).

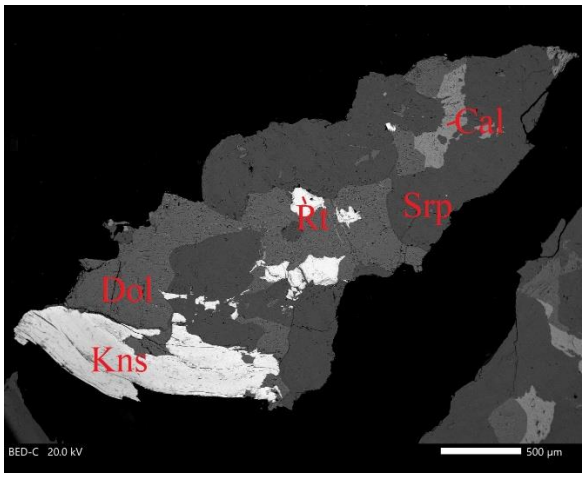


Рисунок 2. Киноситалит (Kns) в ассоциации с серпентином (Srp), доломитом (Dol), кальцитом (Cal) и рутилом (Rt). РЭМ-фото в отраженных электронах

Все слюды серии флогопит-киноситалит из рассматриваемого объекта характеризуются низким содержанием Fe – 0.02 – 0.04 а.ф.; для Ba-доминантных и промежуточных по составу членов характерна повышенная концентрация Ti – до 0.22 а.ф. = 3.5 мас. % TiO_2. Барий входит в магнезиальную слюду по схеме $K^+ + Si^{4+} \rightarrow Ba^{2+} + Al^{3+}$, а изоморфизм с участием титана сопровождается замещением части однозарядных дополнительных анионов на O^{2-}: $Mg^{2+} + 2OH^- \rightarrow Ti^{4+} + 2O^{2-}$.

В ассоциации с киноситалитом в виде вростков в кальците присутствует барит; этот сульфат наблюдается также в поздних клинохлоровых псевдоморфозах по киноситалиту. Повышенная концентрация Ba в породах слюдянского комплекса обусловлена, согласно данным (Левицкий, 2000), привносом этого компонента из мантийного источника при высокоградном региональном метаморфизме и сопряженном с ним региональном метасоматозе.

Таблица 1. Химический состав обогащенного Ba флогопита (1–2) и киноситалита (3–7) из кальцифиров Шаманского мыса, мас. %

	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	39.67	38.85	32.13	29.78	28.20	27.34	25.63
TiO_2	н.п.о.	1.14	2.12	2.62	2.92	2.53	3.52
Al_2O_3	17.74	16.94	17.84	18.87	18.97	18.78	20.17
FeO	0.71	0.46	0.37	0.41	0.43	0.41	0.41
MgO	26.19	26.74	23.44	22.95	22.12	21.78	21.00
CaO	0.06	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.05	0.07	0.46
BaO	1.21	3.51	15.25	18.53	21.30	23.07	24.48
Na_2O	0.83	0.99	0.93	0.74	0.73	0.88	0.85
K_2O	9.61	7.86	3.57	2.75	1.62	0.69	0.65
F	0.95	1.04	1.31	1.51	1.41	1.57	1.44
$–O=F_2$	0.41	0.44	0.55	0.64	0.59	0.66	0.60
Сумма	96.58	97.09	96.41	97.52	97.16	96.46	98.01
	Формула в расчете на $M + T = 7$						
K	0.86	0.70	0.35	0.28	0.17	0.07	0.07
Na	0.12	0.14	0.14	0.11	0.11	0.14	0.14
Ca	0.00				0.00	0.01	0.04
Ba	0.03	0.10	0.46	0.57	0.68	0.75	0.80
$\sum I$	0.99	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	1.05
Mg	2.73	2.79	2.72	2.70	2.68	2.70	2.62
Fe^{2+}	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
Al	0.23	0.12	0.14	0.11	0.11	0.11	0.13
Ti		0.06	0.12	0.16	0.18	0.16	0.22
$\sum M$	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Al	1.23	1.28	1.50	1.65	1.71	1.73	1.86
Si	2.77	2.72	2.50	2.35	2.29	2.27	2.14
$\sum T$	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
F	0.21	0.23	0.32	0.38	0.36	0.41	0.38
OH	1.79	1.77	1.37	1.30	1.23	1.15	1.01
O			0.30	0.32	0.41	0.44	0.61

Примечание. $\sum I$ = K+Na+Ca+Ba, $\sum M$ = Mg+Fe+Ti+Al^{M}, $\sum T$ = Al^{T}+Si. Количество OH и O рассчитано по балансу зарядов исходя из OH+F+O = 2.

Выводы

В кальцифирах Юго-Западного Прибайкалья впервые обнаружен высокобариевый киноситалит. Кристаллизация этой слюды относится, по-видимому, к наиболее высокотемпературной стадии развития слюдоносной ассоциации; по мере снижения температуры и падения концентрации BaO в среде образовывался Ba-содержащий флогопит.

Библиография

1. Левицкий В.И., Петрова З.И., Лаврентьев Ю.Г., Гормашева Г.С., Ярошенко С.К. Бариевые флогопиты из Слюдянского района (Южное Прибайкалье) // Записки ВМО. 1977. Ч. 106. Вып. 2. С. 232 – 235.
2. Левицкий В.И. Геохимия метасоматоза и его роль в формировании континентальной коры. Автореферат дисс. … докт. геол.-мин. наук. Иркутск, 2000. 56 с.
3. Опарин Н.А., Олейников О.Б. Минералы ряда флогопит-киноситалит основной массы кимберлитовых пород трубок Хомпу-Майского поля (Центральная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26. № 4. С. 29 – 42.
4. Савельева В.Б., Базарова Е.П., Хромова Е.А., Данилова Ю.В. Минералы Ba и Sr в породах Большетагнинского массива ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов (юг Сибирского кратона) // Тр. Ферсмановской научной сессии. 2021. № 18. С. 342 – 346.
5. Школьник С.И., Станевич А.М., Резницкий Л.З., Савельева В.Б. Новые данные о строении и временном диапазоне формирования Хамардабанского террейна: свидетельства U-Pb LA-ISP-MS датирования цирконов // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2016. Т. 54. № 1. С. 23 – 43.
6. Doroshkevich A.G., Chebotarev D.A., Sharygin V.V., Prokopyev I.R., Nikolenko A.M. Petrology of alkaline silicate rocks and carbonatites of the Chuktukon massif, Chadobets upland, Russia: Sources, evolution and relation to the Trassic Siberian LIP// Lithos. 2019. № 332–333. P. 245–260.
7. Yoshii M., Maeda K., Kato T., Watanabe T., Yui S., Kato A., Nagashima K. Kinoshitalite, a new mineral from the Noda-Tamagawa mine, Iwate Prefecture // Chigaku Kenkyu. 1973. V. 24. P. 181 – 190.

Оптимизация уравнения для определения содержания воды в равновесии расплав-флюид

Гнучев Я.Ю.*(МГУ, gnuchevyakov@mail.ru),
Бычков Д.А. (МГУ, dmibychkov@gmail.com),
Коптев-Дворников Е.В. (МГУ, ekoptevmail@gmail.com)

Аннотация

На основе собранной общей выборки, включающей 1241 эксперимент, был проанализирован набор переменных, определяющих влияние состава на предельную растворимость воды. Откалиброванное уравнение для расчета предельной растворимости воды позволяет с неопределенностью, не превышающей ±0.01 мольной доли или ±0.25 мас. %, предсказывать насыщенные содержания воды в силикатных расплавах в диапазонах: давления от атмосферного до 20 кбар и температур от 825 до 1550 K. Объем выборки, использованный для оптимизации, обеспечивает возможность применения уравнения для расчета насыщенного содержания воды в широком спектре силикатных расплавов, начиная от коматиитовых базальтов и заканчивая риолитами.

Ключевые слова

Модель растворимости воды, выборка водонасыщенных экспериментов, силикатный расплав, летучие компоненты

Нами разработаны системы уравнений композитометров (Арьяева и др., 2012) – уравнений для расчета составов минералов в равновесии с расплавом при определенных интенсивных параметрах, в которых в качестве переменных используются экспериментальные данные, а именно: температура, давление, химический состав системы, фугитивность кислорода. Однако эти композитометры получены путем статистической обработки результатов безводных экспериментов, в то время как подавляющее большинство природных магм и лав в большей или меньшей мере являются водосодержащими.

Многочисленные экспериментальные исследования продемонстрировали, что присутствие летучих компонентов в расплаве вызывает значительное, хотя и не одинаковое снижение температуры кристаллизации минералов (Housh, Luhr, 1991; Putirka, 2008; и др.), что, в свою очередь, может привести к существенным изменениям в последовательности кристаллизации из водосодержащих расплавов по сравнению с порядком кристаллизации из номинально безводных систем, а также оказывать влияние на выделение рудных минералов.

Даже незначительное содержание воды в расплаве изменяет его физические свойства, такие как плотность, вязкость и диффузия. Исследование процесса взаимодействия воды с расплавами позволяет уточнять теоретическую основу для моделирования строения и физико-химических свойств водосодержащих силикатных стекол и расплавов при изучении геологических процессов, происходящих с их участием.

Исследователями выполнено большое количество экспериментов с участием как чисто водных, так и сложных по составу флюидов, однако мы ограничились анализом предельной растворимости чисто водного флюида в силикатном расплаве, как главного летучего компонента, определяющего смещение котектик и значительно влияющего на эволюцию состава жидкой фазы.

При создании представительной выборки выяснилось, что только для 20% экспериментов, охарактеризованных авторами как водонасыщенных, приводится концентрация воды в расплаве (Ariskin et al., 1996), что исключает из статистической обработки существенную часть данных. С другой стороны, необходимо знать тот предел содержания воды в расплаве, выше которого вода образует самостоятельную паровую фазу.

Выходом из этой ситуации является разработка уравнения, позволяющего рассчитывать насыщенную концентрацию воды в расплаве.

В связи с чем, ранее нами, на основе 412 экспериментов из базы данных ИНФОРЕКС (Ariskin et al., 1996), было разработано такое уравнение (1) (Гнучев и др., 2023). Опыт использования, полученного уравнения 2023 г. показал, что для ряда экспериментов, выполненных в диапазоне давлений от 5 до 20 кбар, расчетные содержания воды нереалистично высоки.

$$LnX_{H_2O}^{melt} = \frac{a}{T} + \sum b_i X_i \left(\frac{P}{T}\right) + cLnP + d, \quad (1)$$

где $X_{H_2O}^{melt}$ – насыщенная мольная доля воды в расплаве; T – температура в градусах кельвина; X_i – мольная доля оксида в расплаве; P – давление в барах; a, b_i, c – коэффициенты при соответствующих переменных; d – константа.

При анализе имеющихся в литературе уравнений было выявлено несколько проблем:

- большинство авторов выводили свои уравнения на основе ограниченного количества результатов оригинальных водосодержащих экспериментов.

- помимо этого, анализ выборок, использованных авторами для вывода различных версий уравнений для расчета предельной растворимости воды в силикатном расплаве, показал, что многие авторы калибровали свои модели в диапазоне от 1 атмосферы до 10 кбар. Откалиброванных уравнений, позволяющих статистически обосновано предсказывать насыщенные содержания воды в расплавах для диапазона давлений от 10 до 20 кбар, найти не удалось.

Поэтому имело смысл собрать выборку большего объёма экспериментальных данных и на ее основе вернуться к ревизии вида уравнения и повторной его калибровке.

Благодаря любезности А.В. Гирниса, предоставившего в наше распоряжение базу данных MELT (Гирнис, 2023) + собственно найденной литератры, появилась возможность значительно расширить выборку с 412 экспериментов до 1241 эксперимента, из которых 145 экспериментов выполнено при давлениях от 5 до 20 кбар (в предыдущей работе всего таких экспериментов было 14), на основе которой откалибровано уравнение, применимое в более широком диапазоне интенсивных параметров (состава, температуры и давления).

Сопоставление экспериментальных и рассчитанных по уравнению насыщенных содержаний воды представлено на рисунке 1, а значения коэффициентов в таблице 1. О высоком качестве воспроизведения экспериментальных данных свидетельствует близость угловых коэффициентов в уравнениях регрессии к единице, свободных членов – к нулю, близкие к единице значения коэффициентов детерминации и весьма малая ширина доверительного коридора на 95% уровне доверия.

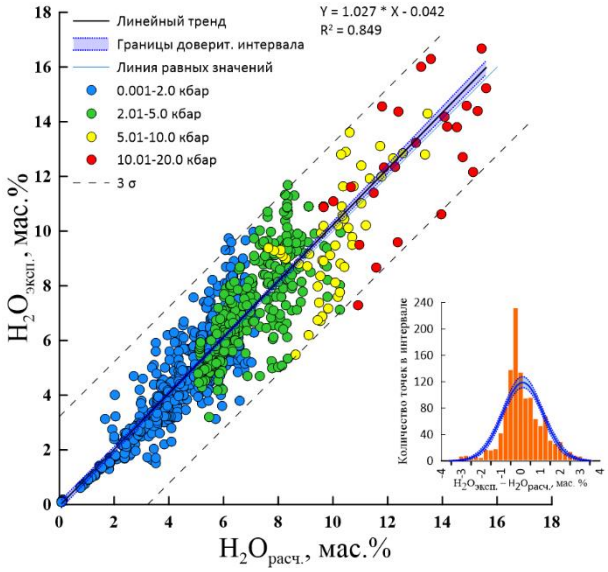


Рисунок 1. Сравнение рассчитанных значений растворимости воды по уравнению, оптимизированному на общей выборке (1241 эксперимент), с экспериментальными данными, где предельная растворимость воды выражена в – мас. %

Таблица 1. Значения коэффициентов при переменных в уравнении (1), полученные в результате оптимизации данных на выборке из 1241 экспериментов (± – величина доверительного интервала на 95 % уровне доверия)

	a	b_{SiO2}	b_{FeO}	c	d
Мас. %	958.2	-0.000334	-0.00387	0.563	-3.25
±	113.6	0.000077	0.0011	0.0094	0.119

В результате переоптимизации уравнения на новой выборке появилась возможность предсказывать предельную растворимость воды в более широком, чем ранее, диапазоне составов и давлений, вплоть до 20 кбар. Это позволяет использовать уравнение:

– при планировании экспериментов и при проверке реалистичности полученных результатов;

– для определения условий отделения водного флюида от эволюционирующей магмы в промежуточной камере вулкана или камеры интрузива;

– для расширения выборок, используемых для вывода композитометров-термобарометров (систем уравнений, моделирующих равновесие минерал – расплав).

– наличие такого уравнения позволит решить проблему ограниченного объёма выборки водосодержащих экспериментов, при оптимизации уравнений термобарометров.

Авторы настоятельно рекомендуют возможным пользователям уравнения не использовать его для вычисления предельных содержаний воды в расплавах, составы которых, температуры и давления выходят за параметры выборки. Это может привести к искаженным результатам.

Выводы

- Собрана новая выборка водонасыщенных экспериментальных данных, которая увеличилась по сравнению с предыдущей более чем в 3 раза (до 1241 эксперимента). Расширился диапазон интенсивных параметров.

- На основе новой выборки, оптимизировано уравнение, которое существенно лучше, чем ранее, воспроизводит экспериментальные данные, особенно в области давлений от 5 до 20 кбар. С вероятностью 95% рассчитанное насыщенное содержание воды в силикатном расплаве отличается от истинного не более чем на ±0.01 мольной доли, либо ±0.25 мас. %.

Благодарности

Авторы приносят искреннюю благодарность коллективам под руководством А.В. Гирниса и под руководством А.А. Арискина за предоставленные базы данных MELT и ИНФОРЕКС, что значительно упростило поиск и оценку необходимых работ.

Библиография

1. Арьяева Н. С., Коптев-Дворников Е. В., Бычков Д. А. (2012) Уравнение термобарометра для описания сульфид-силикатной ликвации в базитовых системах. Петрология. 20 (5), 495–495.
2. Арискин А. А., Бармина Г. С. (2000) Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. М.: Наука/Интерпериодика, 363.
3. Гирнис А.В. (2023) Распределение редких элементов между оливином и расплавом: обобщение экспериментальных данных// Geohimiâ. – 2023. – Т. 68. – №. 4. – С. 327-340.
4. Гнучев Я. Ю., Бычков Д. А., Коптев-Дворников Е. В. Новая версия уравнения для расчета насыщенных содержаний воды в силикатных расплавах //Geohimiâ. – 2023. – Т. 68. – №. 9. – С. 926-937.
5. Ariskin A. A., Barmina G. S., Meshalkin S. S., Nikolaev G. S., Almeev R.R. (1996) INFOREX–3.0: A database on experimental studies of phase equilibria in igneous rocks and synthetic systems: II. Data description and petrological applications. Computers & Geosciences. 22 (10) 1073–1082.
6. Housh T. B., Luhr J. F. Plagioclase-melt equilibria in hydrous systems //American Mineralogist. – 1991. – Т. 76. – №. 3-4. – С. 477-492.
7. Putirka K. D. Thermometers and barometers for volcanic systems //Reviews in mineralogy and geochemistry. – 2008. – Т. 69. – №. 1. – С. 61-120.

К вопросу о диссимметризации в минералах сложного состава. Особенности структуры высококальциевого эвдиалита с P3-симметрией

Гридчина В.М.* (НИЦ «Курчатовский институт», vasilisa.gridchina@gmail.com),
Расцветаева Р.К. (НИЦ «Курчатовский институт», rast.crys@gmail.com),
Чуканов Н.В. (ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН, nikchukanov@yandex.ru),
Аксенов С.М. (ФИЦ Кольский научный центр РАН, aks.crys@gmail.com)

Аннотация

В сложных микропористых цирконо- и титаносиликатах симметрия кристаллической структуры минерала преимущественно связана с характером упорядочения внекаркасных катионов и анионов по позициям крупных пустот и широких каналов. Исследование кристаллической структуры высококальциевого эвдиалита из массива Тамазерт (Марокко) выявило локальные особенности его строения, приводящие к понижению симметрии. Параметры тригональной ячейки: a = 14.1863(1), c = 30.0703(2) Å, V = 5240.95(4) Å^3; пр. гр. $P3$; 161 независимая позиция; R = 4.4 %; 8202 $F > 3\sigma(F)$. Проведен сравнительный анализ минерала с низкокальциевыми представителями группы эвдиалита на примере амаблита-(Ce). Показано, что причиной понижения симметрии структурной модели в низкокальциевых эвдиалитах является упорядоченное распределение Ca и замещающих его атомов Fe, Mn, Ce и Na в реберно-связанных октаэдрах шестичленного кольца ($M1$-позиции), а в высококальциевых – упорядочение крупных катионов Ca, Ln, K, Na и H_3O во внекаркасных N-позициях.

Ключевые слова

Симметрия, рентгеноструктурный анализ, кристаллохимия, минералы группы эвдиалита

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках Государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» с использованием оборудования ЦКП НИЦ «Курчатовский институт».

Теория

Информация о реальной симметрии минералов важна для решения ряда кристаллохимических, минералого-генетических, петрографических и технологических задач [1, 2]. Кроме того, поскольку симметрия зависит в большой степени от условий кристаллизации, она в ряде случаев служит диагностическим признаком для породообразующих минералов [3], что было, в частности, показано на примере надгруппы амфиболов [4], пироксенов [5] и везувиана [6]. В сложных микропористых цирконо- и титаносиликатах симметрия связана преимущественно с характером упорядочения внекаркасных катионов и анионов по позициям крупных пустот и широких каналов, поэтому уточнение их кристаллических структур возможно в рамках нескольких пространственных групп (пр. гр.), что позволяет выбрать оптимальную по детальности модель.

Ярким примером возможного уточнения кристаллических структур в рамках нескольких пр. гр. (*R*-3*m*, *R*3*m* и *R*3) является цирконосиликат эвдиалит с идеализированной формулой $Na_{15}Ca_6Fe^{2+}{}_3Zr_3[Si(OH)]_2[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2(Cl,H_2O)_2$ – широко распространенный породообразующий минерал агпаитовых нефелиновых сиенитов. Его структура характеризуется сложным каркасом состава $\{Ca_6Zr_3[Si_3O_9]_2[Si_9O_{27}]_2\}^{24-}$ из кремнекислородных тетраэдрических колец двух типов, объединенных изолированными

октаэдрами циркония и уникальными шестичленными кольцами реберно-связанных октаэдров кальция [7, 8]. Пустоты гетерополиэдрического каркаса заполнены переменным числом катионов, отличающихся, как по ионному радиусу, так и заряду, относительно мелких (в позициях *M*2–*M*4) и крупных (*N*1–*N*5 позиции), анионов (Cl^-, F^-), анионных групп и молекул воды (в *X*1–*X*2 позициях). Вариации в составе и структуре эвдиалитов оказались гораздо шире, чем это предполагалось в самом начале исследований [9], и они не укладываются в рамки одного минерального вида. На сегодняшний день в группе эвдиалита установлены 31 минеральный вид, а открытие новых и исследование промежуточных членов твердых растворов продолжаются и в наши дни. При этом в ряде минералов группы эвдиалита (МГЭ) установлено упорядочение катионов, понижающих симметрию с переходом от «классической» ромбоэдрической *R*-решетки в примитивную *P*.

Структура большинства эвдиалитов описывается в рамках ацентричной пр. гр. *R*3*m*, а ее кольцевые фрагменты обусловлены наличием осей третьего порядка с координатами [0 0 *z*], [1/3 2/3 *z*] и [2/3 1/3 *z*]. За счет диагональной *R*-трансляции все три оси взаимозависимы и состав вокруг оси [0 0 *z*] повторяется трижды со сдвигом вдоль осей (*z*+0.66) и (*z*+0.33) соответственно. Описание независимого фрагмента структуры чаще всего принято привязывать к оси с координатами [1/3 2/3 z].

В МГЭ при содержании 9–10 мас. % CaO и отношении Ca/Zr = 2, атомы кальция заполняют реберно-связанные октаэдры шестичленных колец. Однако МГЭ характеризуются широкими вариациями содержания Ca, и при низком содержании (до 3–6 мас. % CaO, Ca/Zr = 1) он преобладает только в трех октаэдрах шестичленного кольца, что нарушает зеркальную плоскость *m* и приводит к понижению симметрии до пр. гр. *R*3. Такие низкокальциевые минералы, как правило, относятся к структурному типу онейллита, в котором Ca в октаэдрах шестичленных колец упорядоченно замещается на Fe, Mn, Ce, Na и ряд других катионов. Особенности строения этих шестичленных колец были детально рассмотрены при повторном изучении амаблита-(Ce) [10], а также высокоциркониевого члена группы эвдиалита [11], аналогов онейллита [12] и воронковита [13]. В упорядоченной модели структуры этих минералов, характеризующихся примитивной *P*-решеткой и пр. гр. *P*3, все оси третьего порядка становятся кристаллографически независимыми, а кольца вокруг этих осей, связанные псевдотрансляциями *R*-решетки, обладают индивидуальными составами и размерами октаэдров с разной степенью их искажения. На примере амаблита-(Ce) (рис. 1а) с наименьшим среди известных минералов группы эвдиалита содержанием Ca (Ca/Zr = 1/3) выявлены три типа шестичленных колец из октаэдров индивидуального состава [Ca–Mn], [Mn–Ce] и [Mn–Na] в *P*-модели вместо колец одного типа из октаэдров смешанного состава [($Mn_{0.83}Ce_{0.10}Ca_{0.07}$) - ($Ce_{0.38}Na_{0.35}Ca_{0.27}$)] в *R*-модели.

В противоположность низкокальциевым членам в МГЭ при содержании CaO > 15 мас. % (Ca/Zr ≥ 3) кальций не только полностью заселяет октаэдры шестичленного кольца, но и доминирует в одной или двух внекаркасных позициях. При однотипности составов шестичленных колец понижение симметрии в этих образцах возможно за счет распределения избыточного количества Ca по внекаркасным *N*1–*N*5-позициям. Среди МГЭ известны три представителя с повышенным содержанием кальция, найденных в карбонатитах Ковдорского массива – фекличевит, голышевит и моговидит [7] (Расцветаева и др., 2012). Нами изучен еще один представитель группы из щелочного пегматита массива Тамазерт (Марокко) с повышенным содержанием Ca и пониженным – Na [14]. Здесь кристаллы и зерна МГЭ неоднородны по химическому составу и содержат зоны, различающиеся содержанием ниобия (0.6 и 0.8–0.9 атомов). Для сбора дифракционных данных был использован наиболее представительный фрагмент монокристалла с более низким содержанием ниобия. Химический состав минерала определен методом электронно-зондовым микроанализа и

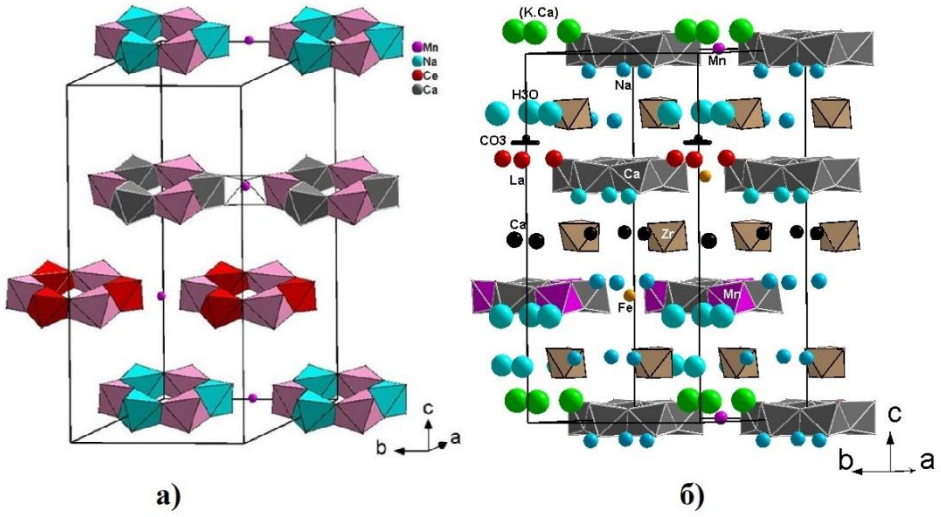
соответствует следующей стехиометрии (в расчете на 25 атомов Si, $Z = 3$): $Na_{6.67}K_{0.50}Ln_{0.55}Ca_{6.54}Mn_{1.87}Fe_{1.61}Zr_{3.28}Ti_{0.17}Nb_{0.63}Si_{25}F_{0.4}Cl_{0.18}S_{0.06}$.

Полный прецизионный дифракционный эксперимент выполнен при комнатной температуре с помощью рентгеновского дифрактометра Rigaku XtaLAB Synergy-DW HypixArc 150°. Параметры элементарной ячейки: a = 14. 1863(1), c = 30. 0703(2) Å, V = 5240.95(4) Å^3, пр. гр. $P3$. Модель структуры, состоящая из 161 позиций, получена с использованием координат атомов каркаса близкого по составу фекличевита в качестве исходных данных в процедуре «коррекции фаз», разработанной в рамках программы AREN [15]. Ряд позиций найден из серии разностных синтезов электронной плотности. Анизотропное уточнение координат, состава и параметров атомных смещений в 161 позициях, в том числе расщепленных и частично заселенных, снизило итоговый R-фактор до 4.4%.

В исследованном образце содержатся более шести атомов Ca и около двух атомов Mn, Высокое содержание кальция, как и в других высококальциевых МГЭ, предполагает его преобладание во всех независимых октаэдрах шестерного кольца, а распределение избыточных атомов – по внекаркасным $N1$–$N5$-позициям. Однако в одной из шести независимых позиций с учетом количества электронов и величины атомных смещений установлено замещение кальция марганцем. А это значит, что в структуре только два шестичленных кольца имеют одинаковый кальциевый состав, а третье кольцо – онейлитового типа, состоящее из чередующихся Ca и Mn-октаэдров.

Крупные катионы распределены по $N1$–$N5$-позициям (шарики на рис. 1б) между послойно расположенными фрагментами каркаса – шестичленными кольцами и изолированными Zr-октаэдрами. Полиэдры $N3$ и $N4$, примыкающие к шестичленным кольцам, наиболее изоморфноемкие и могут концентрировать, помимо Na и H_3O, еще и Ca, Sr, K, Ln. В высококальциевых МГЭ они заполняются преимущественно кальцием, формируя совместно с октаэдрами шестерного кольца тройной кальциевый слой. Однако в данной структуре этот слой имеет гетерогенный состав, состоящий из кластеров. Один кластер представлен девятивершинниками с расстояниями катион-анион в пределах 2.47(1)–2.93(1) Å, занятых редкоземельными элементами, среди которых преобладает La. В другом кластере более крупные девятивершинники с расстояниями катион-анион 2.49(2)–2.95(2) Å (среднее 2.69 Å) статистически заполненны K и Ca. Для N-позиций, заселенных Na и H_3O, расстояния находятся в пределах 2.35–2.88 Å и 2.22–2.86 Å, соответственно. Небольшое количество Ca также установлено в $N1$ и $N2$ позициях, примыкающих к Zr-октаэдрам.

Другая особенность марокканского минерала состоит в заполнении X-позиций на оси третьего порядка карбонатной CO_3-группой. В структуре исследованного минерала позиция центрального атома углерода немного выходит из плоскости кислородного треугольника, а расстояния C–O = 1.23 Å, O–O = 2.08(1) Å близки к идеализированным значениям. Карбонатная группа объединяет своими ребрами три крупных LaO_9-полиэдра, образуя четырехчленный полиэдрический кластер, который существенным образом понижает симметрию минерала.



а) б)

Рисунок 1. Кристаллические структуры низкокальциевого МГЭ – амаблита-(Ce) (а) и высококальциевого из Марокко (б)

Выводы

В структуре ряда минералов группы эвдиалита понижение симметрии с переходом в *P*-решетку и пр. гр. *P*3 позволило получить дополнительную информацию о распределении катионного состава по позициям. Установлено, что понижение симметрии в низкокальциевых эвдиалитах вызвано, главным образом, упорядочением катионов в октаэдрах шестичленных колец вокруг трех независимых осей третьего порядка. При однотипности колец в высококальциевых минералах понижение симметрии связано с упорядочением сложного катионного состава по внекаркасным позициям крупных полостей.

Библиография

1. Bermanec M. et al. // Geosci. Data J. 2024a. V. 11. P. 69.
2. Bermanec M. et al. // Minerals. 2024b. V. 14. P. 387.
3. Holland T. Powell R. // Am. Mineral. 1996. V. 81. P. 1425.
4. Yang H., Hircschmann M.M. // Am. Mineral. 1995. V. 80. P. 916.
5. Mottana A. et al. // Phys. Chem. Mineral. 1997. V. 24. P. 500.
6. Паникоровский Т.Л. и др. //Записки РМО. 2023. Т. 152(2). С. 94.
7. Расцветаева Р.К. и др. Минералы группы эвдиалита: кристаллохимия, свойства, генезис. Нижний Новгород: Изд-во НГУ. 2012. 229 с.
8. Rastsvetaeva R.K., Chukanov N.V. // Minerals. 2020. V. 10. P. 720.
9. Голышев В.М. и др. // Кристаллография. 1972. Т. 17(6). С. 1119.
10. Расцветаева Р.К. и др. // Кристаллография. 2024a. Т. 69. № 5. С. 787.
11. Расцветаева Р.К. и др. // Кристаллография. 2024b. Т. 69. № 6. С. 954.
12. Расцветаева Р.К. и др. // Вестник Геонаук. 2024c. № 8. С. 35.
13. Rastsvetaeva R. K. et al. // Crystallogr. Rep. 2024. V. 69. № 7. P. 1045.
14. Расцветаева Р.К. и др.// Кристаллография. 2025 (в печати).
15. Андрианов В.И. // Кристаллография. 1987. Т. 32. № 1. С. 228.

Минералы Пермского края в экспозиции Минералогического музея МГРИ

Должанская Т.Ю. (МГРИ, dolzhanskaiati@mgri.ru)*

Аннотация

В Минералогическом музее МГРИ насчитывается несколько сотен образцов Пермского края: галит и сильвин Соликамских месторождений, визитная карточка Перми - поделочный камень селенит, хромитовые руды Сарановского месторождения с уникальным зелёным гранатом – уваровитом. В составе образцов Кунгурской ледяной пещеры был найден один из редких минералов этой территории – тенорит.

Ключевые слова

Минералогический музей МГРИ, минералы, Пермский край

Теория

Минералогический музей Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) один из самых молодых естественнонаучных музеев в Москве, но уже входит в пятёрку крупнейших минералогических собраний, демонстрируя около 10000 экспонатов. Музей - научно-образовательный, главной целью которого является представление богатейшего минералогического материала широкому кругу обучающихся, гостям Университета, и, что очень важно, материалов для подготовки исследовательских и выпускных работ студентам и аспирантам.

В музее создана, кроме традиционной для всех геолого-минералогических музеев систематической экспозиции, уникальная экспозиция «Региональная (всемирная) минералогия», то есть собраны образцы минералов, горных пород и руд из самых разных стран и континентов планеты Земля. Идея создания «всемирного» раздела в музее, отведя континенту или стране отдельную витрину, появилась (впервые в России) у сотрудников с самого основания музея МГРИ в 1989-1990 гг. [1].

В экспозиции и фондах музея насчитывается несколько сотен образцов с берегов Вишеры, Камы, Чусовой, и в систематической, и в региональной коллекциях (рис. 1) [2].

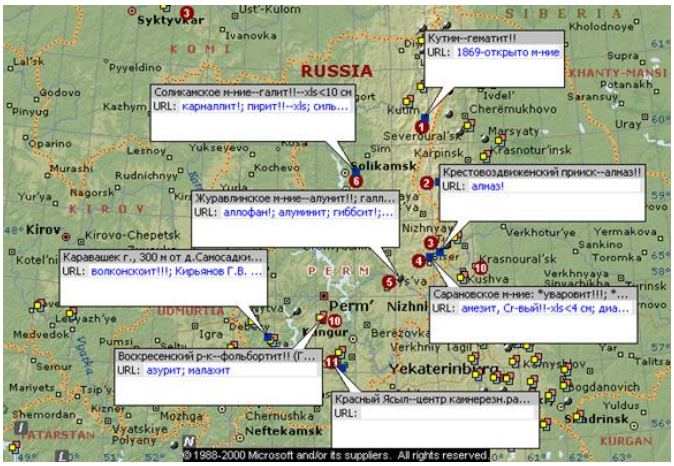


Рисунок 1. Местонахождения минералов Пермского края и прилегающих территорий с примерами находок. Составил А.А. Евсеев [2]

Природные и минеральные богатства Пермского края снискали себе славу с незапамятных исторических времён. Всему причиной географическое положение и геологическое строение региона. Расположенные между широко раскинувшийся Восточно-Европейской платформой и Уральским хребтом пермские структуры составляют необычное сочетание, смесь, некий конгломерат минералообразующих процессов, возрастов, тектоники. Изучение геологии и минералогии Пермского края, начиная со Строгановских времён, привели ко многим открытиям. Конечно, у всех геологов «на слуху», единственный геологический период с русским названием, который занял свой этаж в каменной летописи Земли. Полный список полезных ископаемых Пермского Края насчитывает более 500 наименований.

Не отдавая «пальму первенства» какому-то месторождению, минералу или историческому периоду, начинаем своё минералогическое путешествие по Пермской земле географически просто: с севера на юг.

Галит, сильвин, карналлит. Образцы хлоридов натрия, калия и магния в коллекциях нашего Музея поражают разнообразием окрасок: от белых до голубых, синих, розовых и коралловых оттенков (рис.2). Минералы образуют мощные пласты к северу и к югу от города Соликамска. Прослежены до глубины 500 м [4] и составляют Соликамскую группу месторождений натриевых и калийных солей. Безусловно, значение этих солей для человека, современной промышленности и сельского хозяйства. В шахтах видно послойное расположение разноцветных галита, сильвина и тонких прослоев глин. Откуда появилась эта соль? Из огромных мелководных морских отшнурованных лагун и озёр, где в невообразимых количествах 280-270 млн. лет назад отлагались различные соли, а вокруг простирались, никогда не виданные современными землянами, красные, жёлтые и белые гигантские пустыни.



Рисунок 2. Галит, сильвин. Соликамск, Пермский край. Обр.№ 3811. Размер 11х10х5 см. Коллекция Минералогического музея МГРИ. Фото автора, 2025 г.

Хромит, гранат – уваровит. На востоке края, в Горнозаводском районе, месторождение хромитовых руд - известнейшие Сараны - было открыто на р. Вижай в 1888 г. [2]. Месторождение славится не только своими запасами хрома в чёрном минерале – хромите, но и уникальными находками других хромистых минералов, или минералов, в которых хром присутствует редко, но на Саранах появился, и окрасил минералы необычные для него цвета [3]. Несколько таких образцов представлены в и наших коллекциях. Один из них – сочно-

зелёный, хромсодержащий гранат – уваровит. Его щёточки ярких с алмазным блеском кристаллов будут украшением любого ювелирного ансамбля. Среди редких минералов хрома месторождения – шуйскит (назван в честь геолога-уральца) обрёл своё законное место в региональной коллекции музея; его тонкоигольчатые выделения создают пейзажный рисунок на фоне сиреневого хром-хлорита или зеленого уваровита.

Селенит. Образцы волокнистого гипса собраны нами в путешествиях по Северной Двине, Каме и Ирени. Удивляют размеры нитевидных индивидов, и шикарное разноцветье от телесных, золотистых и лососевых, до медовых и пурпурных оттенков. Самые насыщенные тона типичны для месторождений по реке Ирень (район Красного Асыла и Вторых Ключей). Во всех других местах, это видно по образцам региональной коллекции нашего музея (в Австралии, Египте, на Северном Кавказе) они имеют бледную, белесую окраску.

Волконскоит - не менее интересный минерал Пермского Края; был открыт в 1829 г. в Частинском районе. Сейчас в районе насчитывают более 25 проявлений. В промышленных масштабах не встречаются в России больше ни где, а в мире — волконскоит можно обнаружить только в ЮАР. Имя же минерал получил в честь министра Императорского двора Петра Волконского, который управлял императорскими уделами, в том числе, и селом Частые, знаменитом генерале Отечественной войны 1812 г. Из этого минерала получают удивительную краску свежего, сочного зелёного цвета (рис.3): она не выгорает на солнце, не желтеет, не растворяется органическими растворителями, и способна сохранять свой цвет столетиями [6].



Рисунок 3. Волконскоит. Пермский край. Обр.№ 3511. Размер 9х8х3 см. Коллекция Минералогического музея МГРИ. Фото автора, 2024 г.

Иконописцы ещё за много веков до официального открытия волконскоита использовали его для изготовления красивого зелёного пигмента, который сохранял свой цвет столетиями. Образцы волконскоита на полочках наших витрин скромны и не отличаются крупными кристаллами или блеском самоцветов, но есть в них особая неброская красота Прикамских просторов. Образцы волконскоита расположены не только в систематической и всемирной экспозициях музея, но и в витринах, посвященных названиям минералов и минералам, впервые открытым в России.

Минералы Кунгурской пещеры. Завершим наш небольшой обзор местом, которое является визитной карточкой всего Прикамья – знаменитой Кунгурской пещерой и её

минералами. Среди многократно описанных гипса и кальцита, нам удалось диагностировать один из редчайших минералов среди кунгурских пород – тенардит, сульфат натрия, который был исследован нами в образцах фондов музея, поступлений 1990 г. Первая находка тенардита отмечена в 2012 г. [5]. Небольшие плотные бледно-серого цвета мелкие выделения, конечно, не идут в сравнение с другими экспонатами нашего музея, - огромными друзами бразильского аметиста или мурзинскими топазами, - но имеют крайне важный научный и образовательный интерес.

Выводы

Исследования образца из стенок Кунгурской пещеры позволили нам установить, что в ассоциации с гипсом и кальцитом в нём присутствует редкий минерал - тенардит, и это вторая находка минерала на территории Пермского края.

В целом, коллекция образцов Пермского края в экспозициях и фондах Минералогического музея МГРИ описывает все главнейшие и исторически значимые месторождения Прикамья и Предуралья, что способствует знакомству наших студентов и посетителей с богатейшим, геологически и минералогически важным регионом нашей страны.

Библиография

1. Должанская Т.Ю. Двадцать пять – это всё-таки мало (о коллекциях Минералогического музея МГРИ к 25-летнему юбилею). Минералогический альманах. №20, выпуск 1, 2015.
2. Должанская Т.Ю. История России в камне. Экспонаты Минералогического музея МГРИ. Иллюстрированное издание. М. МГРИ. 2022.
3. Иванов О.К. Минеральные ассоциации Сарановского хромитового месторождения (Урал). Екатеринбург. Уральская летняя минералогическая школа - 97. УГГГА. 1997. 123 с.
4. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. — Пермь: ГИ УрО РАН, 2021. 429 с.
5. Потапов С. С. и др. Говлит, улексит, брушит и тенардит – редкие и первые находки минералов в Кунгурской ледяной пещере// Минералы: строение, свойства, методы исследования: материалы VII Всеросс. молод. научн. конференции. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2015. С. 87-93.
6. Симакова Ю. С. Минералогия и генезис волконскоита/Отв. Ред. Н. П. Юшкин. Российская академия наук, Уральское отделение, Коми научный центр, Институт геологии. Екатеринбург, 2002. 148 с.

Псевдосимметрия и особенности катионного упорядочения в кристаллической структуре перротита из Октябрьского массива (Северное Приазовье)

Ильин Г.С.* (ФИЦ КНЦ РАН, g.ilin@ksc.ru),
Чуканов Н.В. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН, nikchukanov@yandex.ru),
Пеков И.В. (МГУ им. Ломоносова, igorpekov@mail.ru),
Аксенов С.М. (ФИЦ КНЦ РАН, aks.crys@gmail.com)

Аннотация

Вопрос симметрии и выбора пространственной группы (пр. гр.) для структур перротита $BaNaMn_4Ti_2(Si_2O_7)_2O_2(OH)_2F$ и родственных ему минералов (бафертиситоподобных Mn/Fe-Ti-гетерофиллосиликатов) является дискуссионным. Методом рентгеноструктурного анализа повторно изучена кристаллическая структура перротита из Октябрьского щелочного массива (Северное Приазовье). Параметры моноклинной элементарной ячейки: a = 10.7230(3), b = 13.8313(4), c = 20.8178(7) Å, β = 95.0348(3)°, V = 3075.638(15) Å^3. Структура уточнена в рамках двух пр. гр. – $C2$ и $C2/m$ с использованием массивов данных, содержащих 5120 и 2948 независимых отражений с $I > 3\sigma(I)$, соответственно. Итоговые значения R-фактора составили 4.66% в пр. гр. $C2$ и 4.84% в пр. гр. $C2/m$. Ацентричная пр. гр. $C2$ предлагается в качестве более подходящей для описания распределения катионов в кристаллической структуре перротита, так как позволяет лучше выявить особенности заселения позиций в *HOH*-модулях. Изученный минерал из Октябрьского массива является F-доминантным аналогом голотипного перротита из массива Сент-Илер (Квебек, Канада), отличаясь от последнего также присутствием в составе кальция, высоким содержанием железа и низким – ниобия.

Ключевые слова

Псевдосимметрия, катионное упорядочение, кристаллическая структура, перротит, группа бафертисита, гетерофиллосиликат, Октябрьский щелочной массив

Источники финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 20-77-10065-П (рентгеноструктурный и топологический анализ и уточнение кристаллических структур). Минералогические исследования выполнены в соответствии с темами Государственного задания №№ 124013100858-3 и 121061600049-4.

Теория

Перротит – гетерофиллосиликат с идеализированной формулой $BaNaMn_4Ti_2(Si_2O_7)_2O_2(OH)_2F$. Впервые обнаружен в пегматитах агпаитовых нефелиновых сиенитов в карьере Демикс в массиве Сент-Илер (Saint-Hilaire) в провинции Квебек (Канада) и описан как новый минеральный вид в 1991 году [5]. Перротит – член группы бафертисита, которая, в соответствии с классификацией, принятой сегодня Международной минералогической ассоциацией, рассматривается как подразделение надгруппы сейдозерита [8]. Основу кристаллической структуры гетерофиллосиликатов типа перротита составляет трехслойный *HOH*-модуль, где *O* – октаэдрический слой из реберно-связанных $M\varphi_6$-октаэдров (φ = O, OH, F), а *H* – гетерополиэдрический слой, состоящий из диортогрупп Si_2O_7 и октаэдров TiO_6. Соседние *HOH*-модули объединяются через общие кислородные вершины TiO_6- или NbO_6-октаэдров, формируя плотный гетерополиэдрический квазикаркас, отрицательный заряд которого компенсируется внекаркасными щелочными и щелочноземельными катионами [4, 6, 9].

Явление псевдосимметрии достаточно распространено в минералах, в том числе гетерофиллосиликатах [1, 2]. В связи с неоднозначностью выбора симметрии для минералов группы бафертисита нами был изучен образец перротита из Октябрьского массива (Северное Приазовье) и уточнена его кристаллическая структура в рамках моноклинной элементарной ячейки в двух пр. гр. – *C*2 и *C*2/*m* [3].

Экспериментальная часть

Образец перротита был найден в Дмитровском щебеночном карьере у с. Дмитровка в 5 км к югу от г. Волноваха. В этом карьере помимо гранитов, добываемых на щебень, вскрыты экзоконтактовые образования Октябрьского щелочного массива, в том числе альбититы и существенно кварц-полевошпатовые метасоматиты.

Химический состав образца минерала изучен методом электронно-зондового микроанализа в Лаборатории локальных методов исследования вещества Геологического факультета МГУ на электронном микроскопе Jeol JSM-6480LV, оснащенном волновым спектрометром INCA-Wave 500. Анализ выполнялся при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока зонда 20 нА.

Эмпирическая формула, рассчитанная на $(Si_2O_7)_8$, имеет вид: $(Ba_{2.48}K_{1.56})_{\Sigma 4.04}(Na_{3.12}Ca_{0.84})_{\Sigma 3.96}(Mn_{9.44}Fe^{2+}_{6.12}Zn_{0.36})_{\Sigma 15.92}(Ti_{6.96}Nb_{0.80}Zr_{0.16})_{\Sigma 7.92}(Si_2O_7)_8O_{7.64}(OH)_{8.40}F_{3.96}$ (Z = 1; в формуле сгруппированы катионы с близкими ионными радиусами).

Рентгеноструктурные исследования образца выполнены на монокристальном рентгеновском дифрактометре Rigaku XtaLAB Synergy-S (MoKα-излучение). Параметры моноклинной элементарной ячейки: a = 10.7230(3), b = 13.8313(4), c = 20.8178(7) Å, β = 95.0348(3)°, V = 3075.638(15) Å^3, которые находятся в согласии с данными, опубликованными ранее для другого образца того же минерала из Октябрьского массива [4]. Поскольку в массиве дифракционных данных не наблюдалось объективных причин для перехода как в триклинную «протоячейку» [6], так и в триклинную удвоенную «протоячейку» [9], то дальнейшее уточнение кристаллической структуры нашего образца было выполнено в рамках моноклинной системы.

Кристаллическая структура уточнена в рамках двух пр. гр. – *C*2 и *C*2/*m*, с использованием массивов данных с использованием 5120 и 2948 независимых отражений с $I > 3\sigma(I)$, соответственно. Из-за сложного химического состава и большого числа структурных позиций, выбор пр. гр. не может быть осуществлен непосредственно из дифракционных данных, и распределение катионов проводилось на основе кристаллохимических критериев (средние расстояния катион-анион), а также с учетом рассеивающей способности каждой позиции. Все расчеты выполнены с использованием программы JANA2006 [7]. Итоговые значения *R*-фактора составили 4.66% в пр. гр. *C*2 и 4.84% в пр. гр. *C*2/*m*.

Обсуждение результатов

Для модели, уточненной в рамках низкосимметричной пр. гр. *C*2, кристаллохимическая формула изученного образца имеет вид (Z = 2): $^{A1}(Ba)$ $^{A2}(Ba_{0.635}K_{0.365})_2$ $^{A3}(K_{0.87}Ba_{0.13})$ $^{B1}(Na_{0.7}Ca_{0.3})$ $^{B2}(Na_{0.7}Ca_{0.3})$ $^{B3}(Na_{0.9}Ca_{0.1})_2$ $[^{M1}(Mn_{0.5}Fe^{2+}_{0.4}Zn_{0.1})$ $^{M2}(Mn_{0.6}Fe^{2+}_{0.3}Zn_{0.1})$ $^{M3}(Mn_{0.5}Fe^{2+}_{0.5})$ $^{M4}(Mn_{0.7}Fe^{2+}_{0.3})$ $^{M5}(Mn_{0.5}Fe^{2+}_{0.5})$ $^{M6}(Mn_{0.6}Fe^{2+}_{0.4})$ $^{M7}(Mn_{0.6}Fe^{2+}_{0.4})$ $^{M8}(Mn_{0.7}Fe^{2+}_{0.3})(OH)_4]_2$ $[^{Ti1}(Ti_{0.91}Nb_{0.09})$ $^{Ti2}(Ti_{0.91}Nb_{0.09})$ $^{Ti3}(Ti_{0.77}Nb_{0.13}Zr_{0.1})$ $^{Ti4}(Ti_{0.91}Nb_{0.09})$ $(Si_2O_7)_4O_4F_2]_2$, где квадратными скобками выделены основные ключевые фрагменты структуры (Рис. 1).

В этой структурной модели в центральном октаэдрическом слое *HOH*-модуля *M*1-позиция заселена атомами марганца (0.5 атома на формульную единицу, а.ф.), железа (0.4 а.ф.) и цинка (0.1 а.ф.). *M*2-позиция заселена преимущественно атомами марганца (0.6 а.ф.), а также, по аналогии с позицией *M*1, содержит железо (0.3 а.ф.) и цинк (0.23 а.ф.). *M*3- и *M*5-позиции приняты заселенными атомами марганца и железа поровну (по 0.5 а.ф.). *M*4- и *M*8-позиции

заселены преимущественно атомами марганца (по 0.7 а.ф.), а также железа (по 0.3 а.ф.) В оставшихся *M*6- и *M*7-позициях также установлено преобладание марганца (по 0.6 а.ф.) с примесью железа (по 0.4. а.ф.)

В октаэдрических Ti-доминантных позициях внешних *H*-сеток *HOH*-модуля, помимо преобладающего титана, установлено также присутствие ниобия и циркония. В Ti1-, Ti2- и Ti4-позициях содержится по 0.91 а.ф. титана и 0.09 а.ф. ниобия; в Ti3-позицию помимо титана (0.77 а.ф.) и ниобия (0.13 а.ф.) входит цирконий (0.1 а.ф.).

В пространстве между *HOH*-модулями *A*1-позиция полностью заселена атомами бария. *A*2-позиция характеризуется заселенностью барием (0.635 а.ф.) с примесью калия (0.365). *A*3-позиция практически полностью заселена калием (0.87 а.ф.) с примесью бария (0.13 а.ф.). В *B*1- и *B*2-позициях установлено преобладание натрия (0.7 а.ф.), а также присутствует кальций (0.3 а.ф.). *B*3-позиция практически полностью заселена натрием (0.9 а.ф.) с небольшой примесью кальция (0.1 а.ф.).

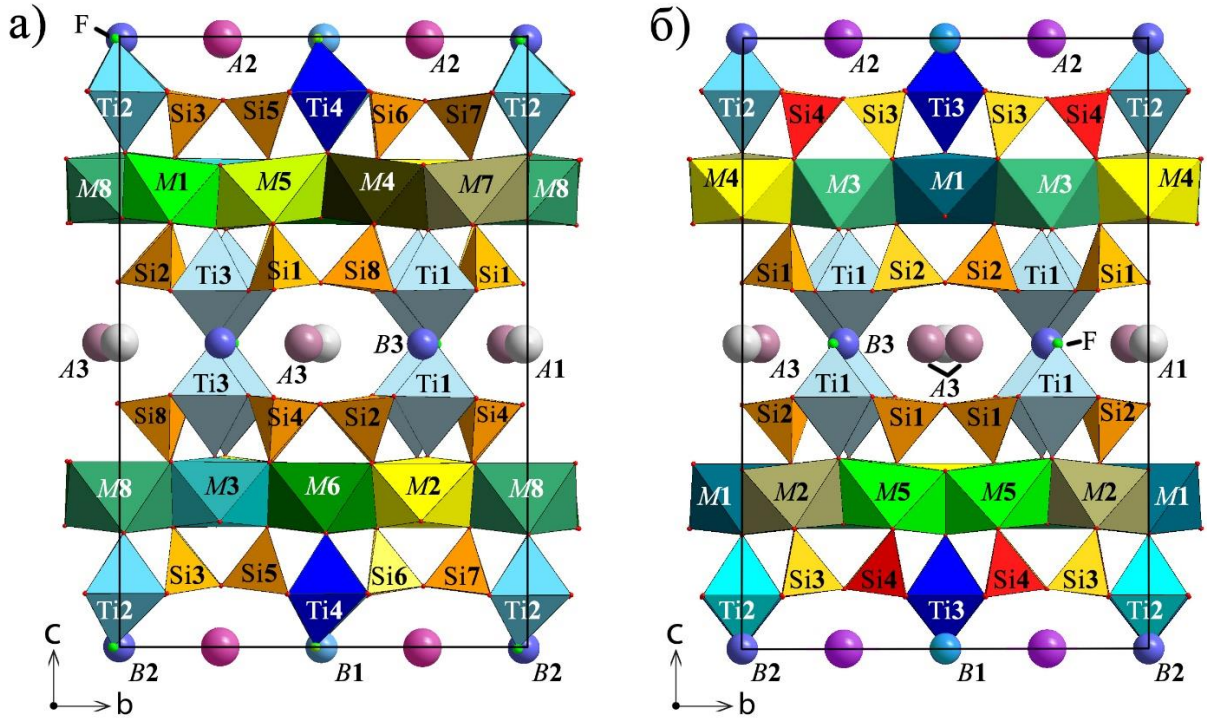


Рисунок 1. Общий вид моделей кристаллической структуры перротита, уточненных в рамках пр. гр. *C*2 (а) и *C*2/*m* (б)

Для модели кристаллической структуры, уточненной в рамках высокосимметричной пр. гр. *C*2/*m* (Рис. 1), уточненная кристаллохимическая формула имеет вид (Z = 2): ^{A1}(Ba) ^{A2}(Ba$_{0.6}$K$_{0.4}$)$_2$ ^{A3}(□$_{0.5}$K$_{0.4}$Ba$_{0.1}$)$_2$ ^{B1}(Na$_{0.8}$Ca$_{0.2}$) ^{B2}(Na$_{0.8}$Ca$_{0.2}$) ^{B3}(Na$_{0.8}$Ca$_{0.2}$)$_2$ [^{M1}(Mn$_{0.5}$Fe$^{2+}_{0.3}$Zn$_{0.2}$) ^{M2}(Mn$_{0.55}$Fe$^{2+}_{0.45}$)$_2$ ^{M3}(Mn$_{0.5}$Fe$^{2+}_{0.5}$)$_2$ ^{M4}(Mn$_{0.7}$Fe$^{2+}_{0.3}$) ^{M5}(Mn$_{0.7}$Fe$^{2+}_{0.3}$)$_2$ (OH)$_4$]$_2$ [^{Ti1}(Ti$_{0.9}$Nb$_{0.05}$Zr$_{0.05}$)$_2$ ^{Ti2}(Ti$_{0.9}$Nb$_{0.1}$) ^{Ti3}(Ti$_{0.8}$Nb$_{0.2}$) (Si$_2$O$_7$)$_4$O$_4$F$_2$]$_2$.

В центральном октаэдрическом слое *HOH*-модуля *M*1-позиция заселена преимущественно атомами марганца (0.5 а.ф.), железа (0.3 а.ф.) и цинка (0.2 а.ф.). В *M*2-позиции также установлено преобладание марганца (0.55 а.ф), также присутствует железо (0.45 а.ф.). *M*3-позиция принята заселенной атомами марганца и железа поровну (по 0.5 а.ф.). *M*4- и *M*5-позиции заселены атомами преимущественно атомами марганца (0.7 а.ф) с примесью железа (по 0.3 а.ф.).

В октаэдрических Ti-позициях внешних *H*-сеток *HOH*-модуля преобладает титан. В Ti1-позиции установлено высокое содержание титана (0.9 а.ф.) с примесью ниобия (0.05 а.ф.) и циркония (0.05 а.ф.). Ti2-позиция также заселена атомами титана (0.9 а.ф.), а его недостаток компенсируется ниобием (0.1 а.ф.). Ti3-позиция характеризуется преобладанием титана (0.8 а.ф.) с примесью ниобия (0.2 а.ф.).

В пространстве между *HOH*-модулями *A*1-позиция полностью заселена атомами бария. В *A*2-позиции установлено преобладание бария (0.6 а.ф.) с примесью калия (0.4 а.ф.). *A*3-позиция, из-за действия плоскости отражения, удваивается. Для компенсации этого эффекта заселенность позиции сокращается в 2 раза. Таким образом, *A*3-позиция содержит вакансию (0.5 а.ф.), а также заселена атомами калия (0.4 а.ф.) и бария (0.1 а.ф.). *B*1-, *B*2 и *B*3-позиции равномерно заселены преимущественно атомами натрия (по 0.8 а.ф.) с примесью кальция (по 0.2 а.ф.).

Выводы

Изученный минерал из Октябрьского массива является F-доминантным аналогом перротита, отличаясь от последнего также присутствием в составе кальция, высоким содержанием железа и низким – ниобия.

На основе полученных данных для Ca-содержащего члена ряда перротита из Октябрьского массива в Приазовье можно заключить, что структурная модель, полученная в пр. гр. *C*2, позволяет лучше выявить существующие различия в заселенности позиций и длинах связей катион-анион в *HOH*-модулях по сравнению с моделью, уточненной в рамках пр. гр. *C*2/*m*.

Библиография

1. Аксенов С.М., Зарубина Е.С., Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Филина М.И. // Литосфера. 2024. 24(2). 264-283.
2. Ильин Г.С., Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Аксенов С.М. Псевдосимметрия и особенности катионного упорядочения в гетерофиллосиликатах. 1. Уточнение кристаллической структуры шюллерита $Ba_2Na(Mn,Ca)(Fe^{3+},Mg,Fe^{2+})_2Ti_2(Si_2O_7)_2(O,F)_4$ // Литосфера. 2025. 25. В печати.
3. Ильин Г.С., Чуканов Н.В., Пеков И.В., Ямнова Н.А., Расцветаева Р.К., Япаскурт В.О., Аксенов С.М. Псевдосимметрия и особенности катионного упорядочения в гетерофиллосиликатах. 2. Уточнение кристаллической структуры Ca-содержащего минерала ряда перротита // Литосфера. 2025. 25. В печати.
4. Ямнова Н.А., Егоров-Тисменко Ю.К., Пеков И.В. // Кристаллография. 1998. 43(3). 439-448.
5. Chao G.Y. // Canad. Mineral. 1991. 29. 355–358.
6. Jin S., Xu H., Lee S., Fu P. // Acta Cryst. B. 2018. 74. 525-336.
7. Petříček V., Dušek M., Palatinus L. // Z. Kristallogr. 2014. 229(5). 345-352.
8. Sokolova E., Cámara F. // Mineral. Mag. 2017. 81. 1457-1484.
9. Sokolova E., Day M.C., Hawthorne F.C., Agakhanov A.A., Cámara F., Uvarova Yu.A. // Canad. Mineral. 2021. 59(2). 365-379.

Минералогические особенности гранатов Кительского месторождения

Исаева С.А. (МГРИ, llunahale@yandex.ru)*

Аннотация

Каждое месторождение уникально и имеет свои особенности, благодаря которым можно определить происхождение того или иного минерала. В статье рассмотрены образцы альмандина вышеуказанного месторождения и выделены характеристики, свойственные гранатам данного месторождения, определяемые без специализированных исследований

Ключевые слова

Альмандин, Кительское месторождение, Балтийский щит, минералогические особенности

Теория

Несмотря на широкое распространение гранат содержащих пород в восточной части Балтийского кристаллического щита, единственное известное месторождение гранатов действительно ювелирного качества в этом регионе – Кительское, расположенное на северном берегу Ладожского озера.

Гранаты данного происхождения славятся своими густым, насыщенным цветом, из-за чего прозрачны только при небольшом размере.

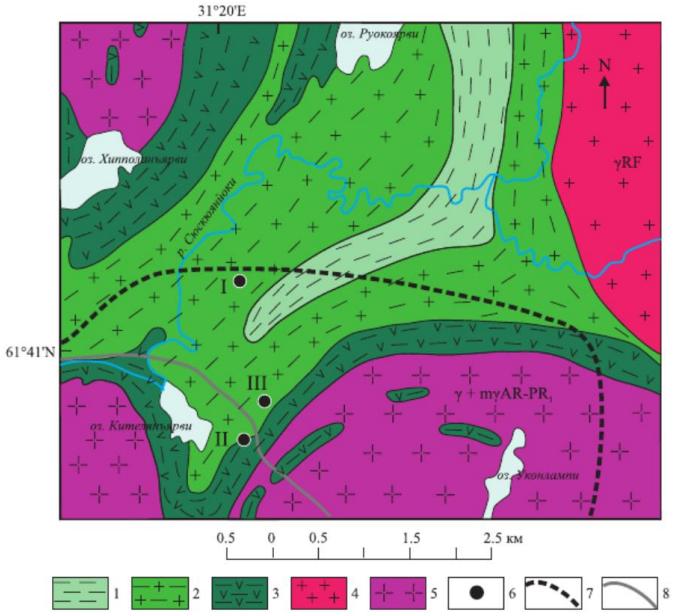


Рисунок 1. 1 – филлиты, кварц-биотитовые сланцы с силлиманитом, ставролитом и гранатом; 2 – порфиробластические сланцы с гранатом, силлиманитом и редко ставролитом; 3 – амфиболиты, амфиболовые сланцы, мраморы и скарны сортавальской серии; 4 – граниты; 5 – гранитогнейсы архейского фундамента; 6 – участки Кительского месторождения (I – Железнодорожный, II – Озерный, III – Высотный); 7 – железнодорожное полотно; 8 – грунтовая дорога

Само месторождение граната расположено в 70–150 м к югу от железной дороги Сортавала – Питкяранта в районе отметки 42 км.

Кительское месторождение приурочено к синклинальному прогибу, сложенному филлитами и сланцами ладожской серии, зажатой куполами ремобилизированного архейского фундамента. Приурочены к гарант-биотитовым сланцам, встречаются на протяжении всего межкупольного пространства (Рис. 1) Закономерности нахождения ювелирных гранатов нет.

Альмандин встречается во всех породах свиты контиосари, но наибольшей концентрации и крупности он достигает в зоне плагио-сланцев. Среднее содержание альмандина в зоне плагиосланцев составляет 1,1%. наибольшей концентрации (2%) гранат достигает на участках развития сильно плойчатых сланцев, обогащенных биотитом и силлиманитом, кристаллы последнего достигают 5-7 см. На участках сланцев, в составе которых преобладают кварц и полевой шпат, а биотит и силлиманит находятся в резко подчиненном количестве, граната становится меньше (не более 1%), часто наблюдаются его сростки с кварцем.

Наибольшая концентрация рассматриваемых минералов наблюдается в сильно плойчатых сланцах, богатых биотитом и силлиманитом, протолит которых был обогащен железом. Формирование происходило в условиях гранат-амфиболитовой фации в силлиманитовой субфации глубинности, что соответствует температурам около 600-650 С. Запасы сырья до глубины 3 м оценены в количестве 2-4 тонн.

Минералы данного месторождения легко извлекаются из вмещающих пород не разрушаясь при этом, имеют умеренную трещиноватость и обладают высокими ювелирно-поделочными характеристиками.

Природные гранаты относятся к ортосиликатам, с общей формулой $X_3Y_2[SiO_4]_3$ где X обычно двухвалентные катионы (Mg, Fe, Mn, Ca), а Y трехвалентные катионы (Al, Fe, Cr). Альмандин представлен кристаллами ромбододекаэдрического облика со слабо выраженными кристаллографическими гранями, реже – зернами овальной формы и сростками кристаллов.

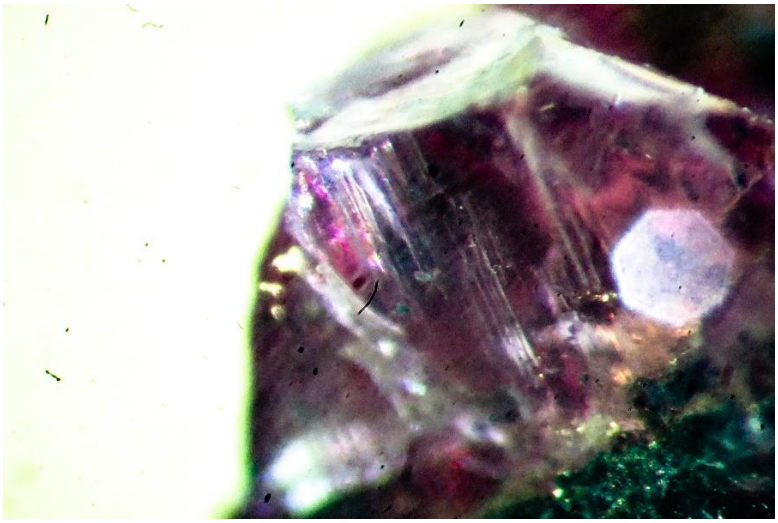


Рисунок 2. Штриховка на гранях одного из рассматриваемых образцов при меньшем увеличении

Рассматриваемые кристаллы были добыты в 2021 году в одном из доступных туристам проявлений месторождения. Имеют неправильную форму, сколы, большое количество уступов на поверхности, отсутствие четких граней. Все образцы были добыты из одного места. Легко извлекались извлеклись из вмещающей породы, сохранив при этом свою форму.

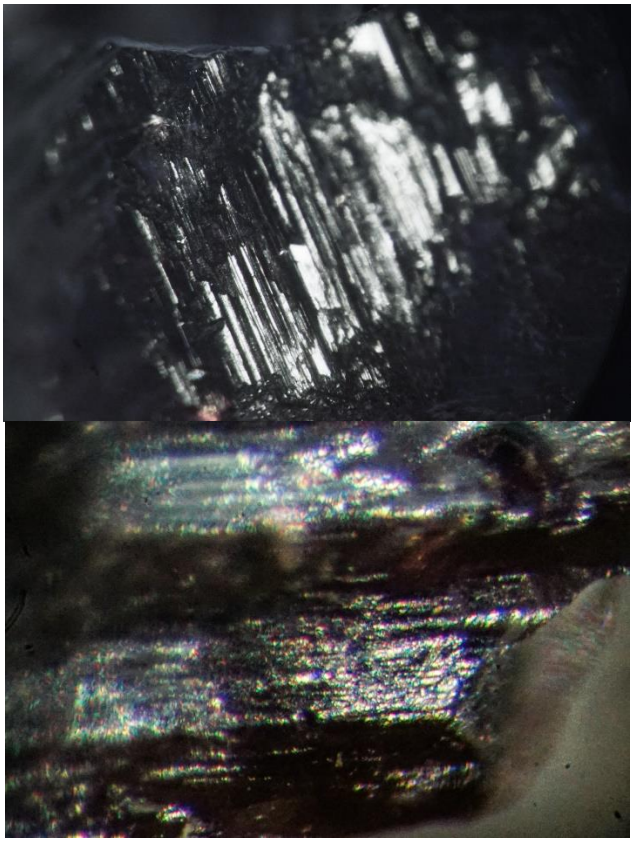


Рисунок 3. Штриховка на гранях рассматриваемых минералов при большем увеличении

На некоторых образцах видны малые кусочки вмещающей породы – биотита (Рисунок 4), а также частички кварца (Рисунок 5), размер последнего не превышает порядка 0,1 мм и виден только при рассмотрении под микроскопом.

Все экземпляры имеют густой фиолетово-красный цвет, непрозрачны. При плохом освещении цвет кажется практически черным, а в полной мере рассмотреть цвет удается только направив на камень яркий искусственный свет.

На гранях кристаллов имеется параллельная штриховка (Рисунки 2 и 3), Часть из которой заметна невооруженным взглядом, а некоторую заметно только под микроскопом. Штриховка имеется на всех уцелевших гранях, которые не были повреждены физическим воздействием.

Несмотря на свою неправильную форму, некоторые образцы имеют хорошую ювелирную характеристику - благодаря своей однородности и отсутствию трещин подойдут для изготовления кабошонов.

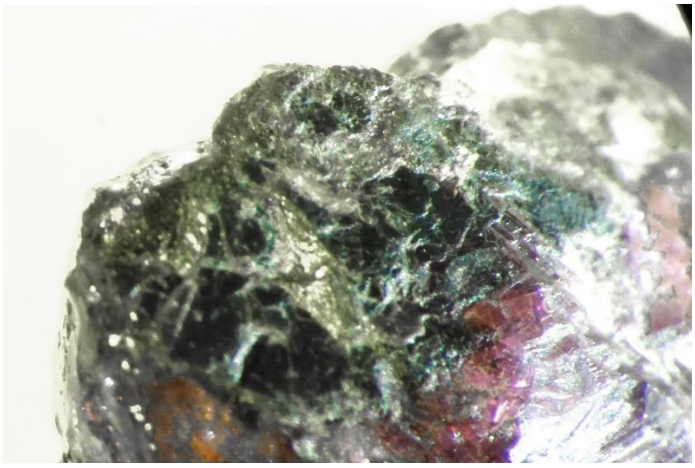


Рисунок 4. Включения биотита на минерале

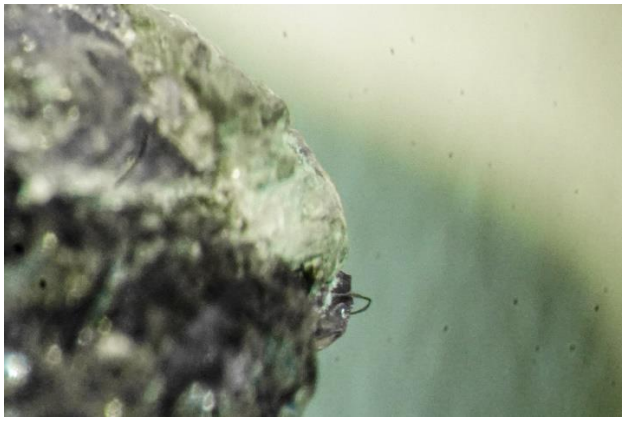


Рисунок 5. Частичка кварца на одном из минералов

Выводы

Проанализировав образцы альмандинов Кительского месторождения можно сделать вывод, что особенностям минералов данного месторождения относятся: густой малиново-фиолетовый цвет, отсутствие четких граней, наличие сколов или уступов, характерная параллельная штриховка на уцелевших гранях, следы вмещающей породы – биотита.

Библиография

1. Г. Ц. Лак, А. Д. Лукашов. Новейший этап развития рельефа юго-восточной окраины Балтийского щита // Академия наук СССР, выпуск 13 «Четвертичная геология и геоморфология Восточной части Балтийского щита», издательство «Наука», 1973
2. В. П. Лютоев, А. Б. Макеев, Е. Н. Терехов. Ювелирный гранат альмандин месторождения Кителя (Карелия): состав и спектроскопические свойства // журнал «ЛИТОСФЕРА», 2023, том 23, № 2, с. 247–269
3. С.В. Жарникова. Сокровища Гипербореи // «Издательские решения», 2018, с. 58
4. Окулов А.В., Романова Е.А., Данилов В.В., Гурвич М.Ю., Шкурский Б.Б. Ювелирные гранаты Кительского месторождения из археологических раскопок в Твери // Журнал «Отечественная геология», 2015, номер 4, с. 50-62

Оптическая спектроскопия минералов монацитового концентрата

Лебедянцева В.Я. (МГРИ, vika3581@yandex.ru),*
Рассулов В.А. (ВИМС, rassulov@mail.ru)

Аннотация

Исследованы минералы монацитового концентрата (апатит, циркон, монацит) методами микрофотодокументирования при освещении лампой накаливания, ультрафиолетовым и нефильтрованным светом ртутно-кварцевой лампы. Измерены спектры люминесценции и поглощения в широком спектральном диапазоне. Исследованные минералы проанализированы на химический состав микрорентгенофлуоресцентным методом. Полученные результаты подтверждают опубликованные литературные данные. Предложенный в работе Б. С. Горобца, А. А. Рогожина, С. В. Рябенко метод эффекта зелёной псевдоокраски и люминесценции весьма эффективен для идентификации монацита, апатита и циркона в шлихах и протолочках.

Ключевые слова

Монацит, циркон, апатит, люминесценция, поглощение, псевдоокрашивание

Теория

Монацит [$CePO_4$] - минерал из надгруппы апатита. Он образуются в магматических горных породах (акцессорный минерал гранитоидов и щелочных пород), пегматитах, грейзенах, высокотемпературных гидротермальных жилах, редкоземельных прожилково-метасоматических месторождениях, карбонатитах, альбититах и др. Кроме формульных элементов монацит может содержать примеси редкоземельных элементов (далее РЗЭ), урана и тория. С 50-х-60-х годов 20 века в красноуфимском хранилище Госрезерва хранится 83 тыс. т монацитового концентрата. Он был собран из различных месторождений СССР и закупался в других стран мира. Основным сдерживающим фактором переработки этого монацита являлось содержание тория (Th), которое в связи с отсутствием эффективных технологий его использования требовало захоронение и создавало экологические проблемы. Востребованность Th была низкая, а при масштабных переработках монацитового концентрата ториевых отходов сформировалось бы слишком много. В последнее время в России разработали технологию получения из Th ядерного топлива в процессе гибридного термоядерного синтеза [1], вследствие чего появляется возможность комплексного использования монацитового концентрата.

Примесный химический состав отражает монацита условия образования минерала. Наиболее экспрессным и чувствительным методом для обнаружения РЗЭ является оптическая спектроскопия, т.к. полосы поглощения и люминесценции РЗЭ уникальны.

Методика исследования и оборудование. Для выделения минералов монацита из монацитового концентрата, содержащего примести и других минералов, использовалась методика, разработанная Б. С. Горобцом, А. А. Рогожиным, С. В. Рябенко [2] по экспрессному различию между собой отдельные видов редкоземельных минералов, а также отличию минералов, содержащие «легкие» РЗЭ, от не содержащих. Суть методики связана с присутствием в минералах одного из лантаноидов - неодима. В соответствии с этим наблюдается шлих в нефильтрованном свете ртутно-кварцевой лампы осветителя ОИ-18. Так как излучение ртути в видимой области излучает две группы линий: 546 нм (зелёная линия) и 577 нм, 579 нм (жёлтые линии), а ионы Nd^{3+} обладают интенсивной полосой поглощения в области 575 нм, то в результате в отражённом от минерала свете, содержащем Nd^{3+} преобладает зелёная линия ртути.

Апатит и циркон не имеют эффекта зелёной псевдоокраски такой – же интенсивности, но характеризуются интенсивной люминесценцией при возбуждении излучением ртутно-кварцевой лампы с УФ-фильтром УФС-2.

Для выделения не люминесцирующих и не имеющих эффекта зелёной псевдоокраски минералов использовалось излучение лампы накаливания осветителя ОИ-19.

Для наблюдения минералов использовался бинокулярный микроскоп МБС-10. Для измерения спектров люминесценции использовался микроспектрофотометр МСФУ-312 с возбуждением излучением ртутно-кварцевой лампы с УФ-фильтром УФС-2. Спектры поглощения измерялись на том же спектрофотометре с использованием галогеновой лампы, а в качестве монохроматора – спектрометр TerraSpec 4 Hi-Res. Система регистрации обеспечивала вывод результатов на персональный компьютер. Для фотодокументирования образцов использовался цифровой фотоаппарат Canon D600. Химический состав минералов из той же выборки определялся с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Tescan VEGA3.

Результаты. На рис. 1 представлены фото монофракций различных минералов при освещении лампой накаливания, ультрафиолетовым и нефильтрованным светом ртутно-кварцевой лампы.

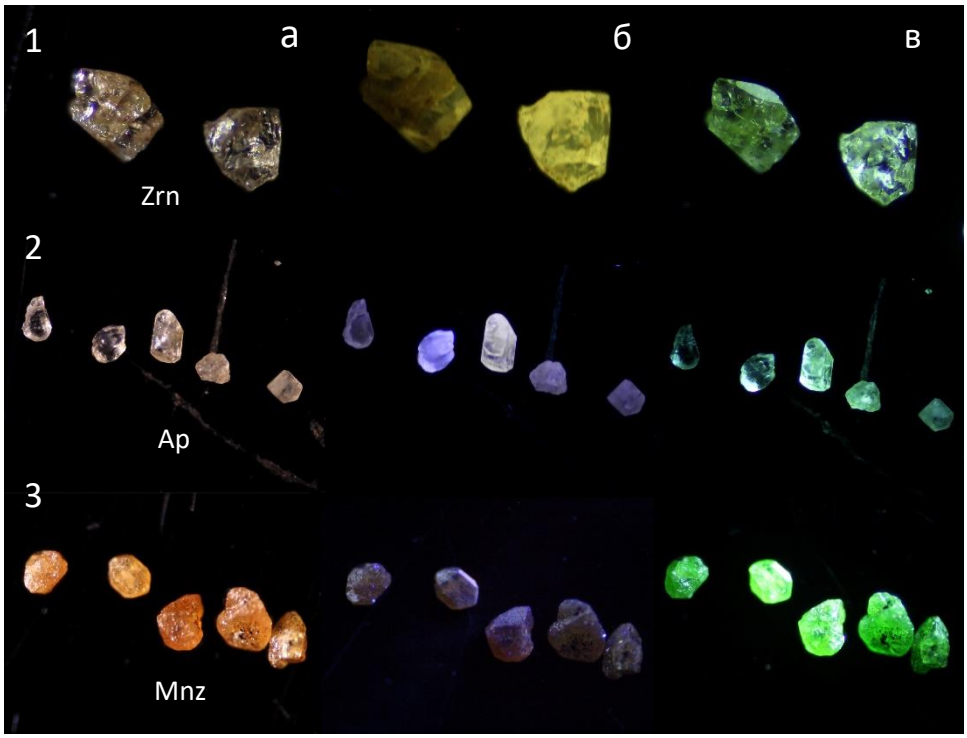


Рисунок 1. Цифрами 1, 2, 3. обозначаются монофракции различных минералов, буквой «а» - минералы под воздействием лампы накаливания, буквой «б» - минералы под воздействием ультрафиолета, буквой «в» - минералы под воздействием эффекта зелёной псевдоокраски

На рис. 2 (а) представлены показательные графики спектров люминесценции циркона, апатита и монацита, а на рис. 2 (б) представлены показательные графики их спектров поглощения.

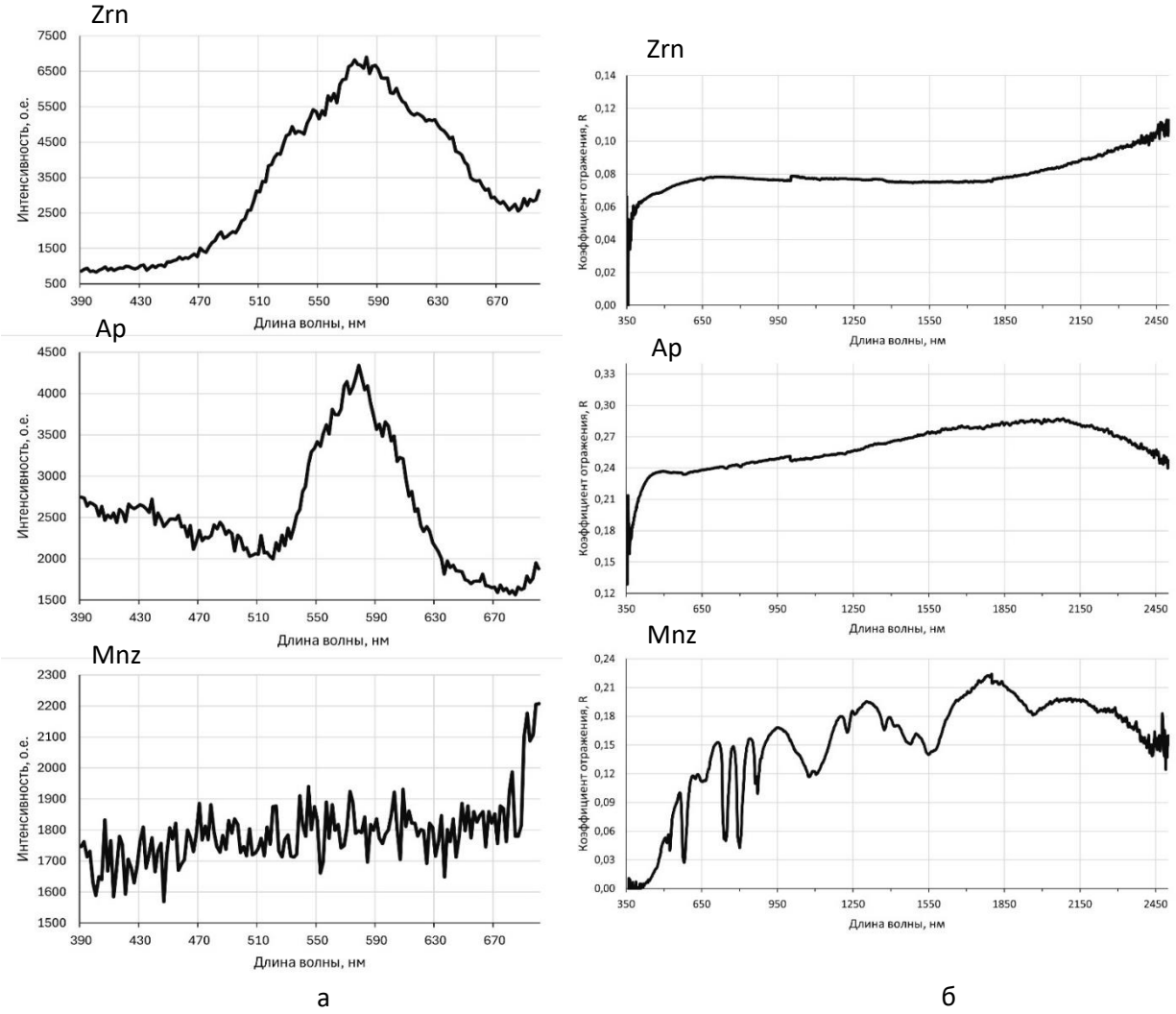
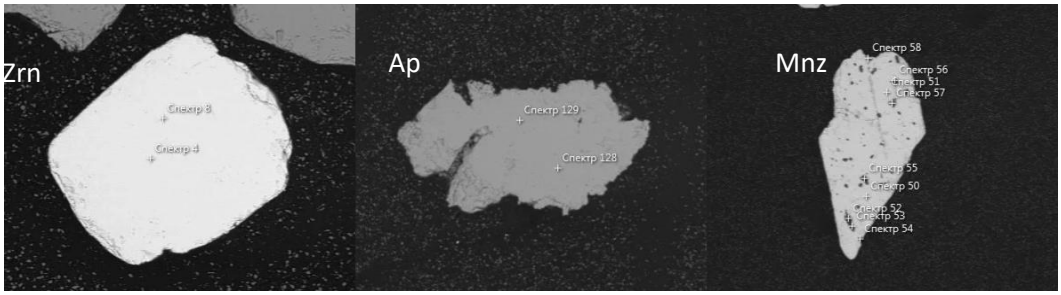


Рисунок 2. На рисунке представлены графики спектров люминесценции минералов – а, графики спектров поглощения минералов – б

На рис. 3 представлено электронное изображение циркона, апатита и монацита, полученное с помощью СЭМ и химический состав этих минералов по данным EDS.



Zrn

Элемент	O	Si	Zr	Hf	Всего
Вес, %	35.49	15.14	48.28	1.08	100

Ap

Элемент	O	P	Ca	F	Yb	Всего
Вес, %	40.72	17.88	36.99	3.42	0.98	100

Mnz

Элемент	O	P	La	Ce	Nd	Si	Ca	Pr	Th	Sm	Всего
Вес, %	28.36	12.15	11.83	25.06	9.66	0.48	0.73	2.78	7.5	1.46	100

Рисунок 3. На рисунке представлены электронные изображения минералов и их химический состав по данным EDS

Выводы

Исследованы минералы (апатит, циркон, монацит) методами микрофотодокументирования при освещении лампой накаливания, ультрафиолетовым и нефильтрованным светом ртутно-кварцевой лампы. Измеренные спектры люминесценции и поглощения в широком спектральном диапазоне показали высокую эффективность этих методов для идентификации указанных минералов. Исследование минералы Анализ химического состава микрорентгенофлуоресцентным методом подтвердил правильность идентификации по люминесценции и эффекту зелёной псевдоокраски. Полученные результаты подтверждают опубликованные литературные данные. Предложенный авторами [2] метод эффекта зелёной псевдоокраски и люминесценции весьма эффективен для идентификации монацита, апатита и циркона в шлихах и протолочках.

Благодарности

Авторы выражают благодарность генеральному директору ЗАО «НПП ГеоТестСервис» за предоставление спектрометра TerraSpec 4 Hi-Res для измерения спектров пропускания и Алёшину А. П. за измерение химического состава исследуемых минералов.

Библиография

1. Arzhannikov A.V., Bedenko S.V., Ivanov A.A., Modestov D.G., Prikhodko V.V., Sinitsky S.L., Shamanin I.V., Shmakov V.M. Fuel evolution in hybrid reactor based on thorium subcritical assembly with open trap as fusion neutron source (computer simulations) //Plasma and Fusion Research: Regular Articles, Volume 14, 2402101 (2019)
2. Горобец Б.С., Рогожин А.А., Рябенко С.В. Определение редкоземельных минералов в нефильтрованном свете ртутной лампы // Минералогический журнал, 1989, т 11, №3, с. 55- 57.
3. Таращан А.Н. Люминесценция минералов. Киев: Наукова думка, 1978. 296с.
4. Платонов, А.Н. Природа окраски минералов. Киев: Наукова думка, 1976. 263 с.

Структурно-текстурные особенности бирюзы с месторождения Бирюзакан, Северный Таджикистан

Литвиненко А.К. (МГРИ, E-mail: akl1954@yandex.ru),
Восихов Ш.Т.* (МГРИ, shohrukh992v@mail.ru)

Аннотация

Нашими исследованиями на площади месторождения бирюзы Бирюзакан было установлено, что жильные системы с бирюзой имеют субгоризонтальное или наклонное положения, но не образуют субвертикальных систем. Мы объясняем это тяжестью коллоидных растворов не способных перемещаться в вертикальной плоскости.

Бирюза на рассматриваемом месторождении часто формирует колломорфную структуру, являющуюся признаком кристаллизации самоцвета из коллоидных низкотемпературных растворов, в которые перешли истинные растворы сразу после кристаллизации кристаллов горного хрусталя. Между последним и бирюзой наблюдаются индукционные поверхности – результат близко одновременной кристаллизации.

Ключевые слова

Бирюза, Бирюзакан, жилы, колломорфная текстура, коллоидные растворы, низкотемпературные гидротермы

Теория

Месторождение Бирюзакан и четыре небольших бирюзовых проявлений (Бирюзасай, Карамазар, Кызылташ и Шорбулак) образуют широтную зону протяжённостью около 3,3 км в центральной части крупного рудного региона Карамазар. Он расположен на южном склоне Кураминского хребта. Оно на протяжении нескольких десятков лет опоисковывалось региональными экспедициями треста «Союзкварцсамоцветы». В это время были пройдены десятки открытых горных выработок и несколько не глубоких штолен. Теоретическим результатом этих работ явилась широко известная монография Т.И. Менчинской [3,4]. Мы проводили исследование месторождения в течении двух полевых 2023-24 гг. и камеральных сезонов.

Размещение бирюзовой минерализации Карамазара контролируется крупной разрывной структурой – Бирюзовым разломом. Эта структура чётко выражена в рельефе и протягивается в северо-восточном направлении, имея углы падения 75-85°. Площадь месторождения сложена сильно изменёнными андезитовыми порфиритами минбулакской свиты (C_1) и дацитовыми порфиритами и их туфами акчинской свиты (C_2). Бирюзовая минерализация локализована в лежачем контакте Бирюзового разлом в зоне «оперяющих» его трещин. Мощность бирюзовых жил составляет 2-3 см, протяжённость 7-12 м (рисунок 1). Иногда встречается вкрапленная форма бирюзы: желваки, прожилки, линзы до первых сантиметров. Нам не встречалось жил бирюзы вертикального заложения. Ранее мы отмечали их секущие контакты с кварцевыми жилами [2]. Жилы бирюзы расположены параллельно или субпараллельно Бирюзовому разлому. Контакты с вмещающими породами резкие, но извилистые с неровными зальбандами (рисунок 1).



Рисунок 1. Серия бирюзовых жил субгоризонтального заложения в слабо изменённых андезитовых порфиритах

Внутри жильного бирюзового материала нами обнаружены сферолитовые, колломорфные текстуры. Визуально они характеризуются голубой окраской разной интенсивности (концентрической). Чаще всего наиболее интенсивно окрашена в голубой цвет периферия сферолитов. Этот текстурный рисунок резко контрастирует с хорошо оформленными кристаллами прозрачного, хорошо образованного кварца (рисунок 2). Между ними на поверхности бирюзы наблюдаются отпечатки граней кварца – индукционные поверхности.

Бирюзовая минерализация тесно связана с кварцевыми жилами, расположенными андезитовых порфиритах и их туфах, которые местами превращены в серицитовые вторичные кварциты. В переделах месторождения выделено четыре генерации жильного кварца [3,4]: 1) массивный крупнозернистый молочно-белый, добирюзовый кварц; 2) бирюзоносный светло-серый, полупрозрачный кварц; 3) горный хрусталь, который нередко окаймляет линзовидные включения бирюзы, а местами густо прорастает в краевых частях и проникает внутрь по трещинам (рисунок 3) наиболее поздний халцедоновидный кварц. Бирюза, в основном, ассоциирует с кварцем третьей генерации (рисунок 2). В кварце третьей генерации наблюдается парагенетические сростки кристаллов горного хрустала с бирюзой с индукционными поверхностями. Поскольку кварц имеет гидротермальное происхождение, можно с уверенностью сказать, что бирюзовая минерализация на Бирюзакане имеет гидротермальный генезис. Бирюза месторождения Бирюзакан по своим качественным кондициям является самой лучшей среди бывших республик СССР [2]. Она может быть сравнима с бирюзой Ирана.

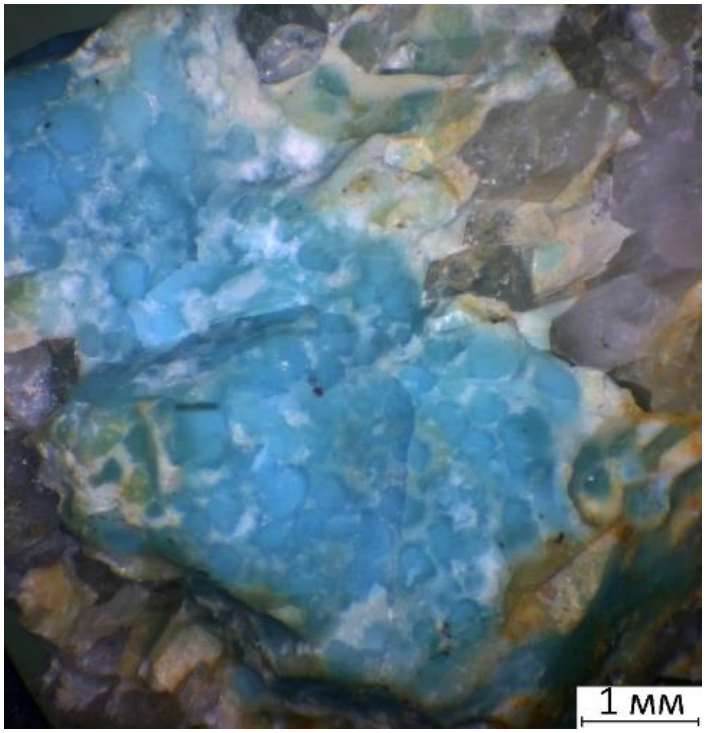


Рисунок 2. Фрагмент бирюзовой жилы с кварцем по периферии. Бирюза колломорфной структуры с разноокрашенными сферолитами: наиболее тёмная и яркая – периферия

Пространство между сферолитами бирюзы заполнено минеральным агрегатом, вероятно, очень мелкими зернами бирюзы и халцедоновидного кварца (4-й генерации), поэтому заметной пористости не наблюдается. Это обстоятельство позволило нам изготовить кабошон с крупными кристаллами кварца и мелко сферолитовой текстурой бирюзы (рисунок 3). На приведенном кабошоне хорошо наблюдается мелко сферолитовая текстура бирюзового агрегата светло-голубого цвета.

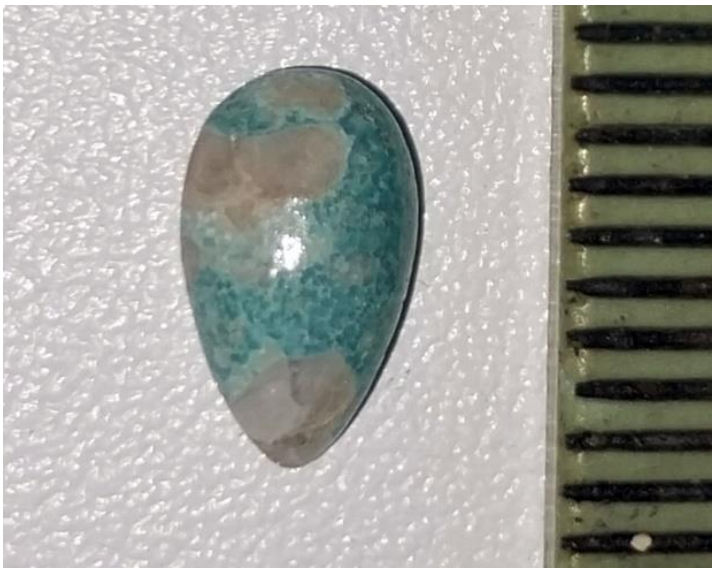


Рисунок 3. Относительно крупные кристаллы кварца внутри бирюзы мелко сферолитового строения

В шлифах ещё более отчётливо видна колломорфная структура бирюзы (рисунок 4).

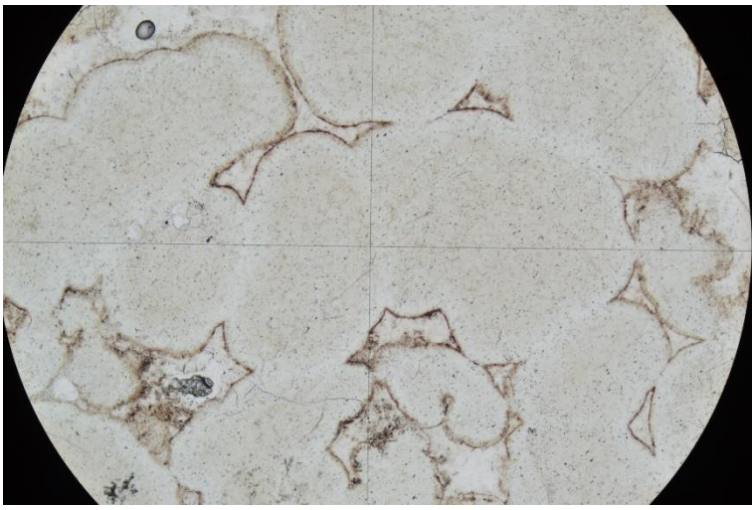


Рисунок 4. Колломорфная структура бирюзы в шлифе, объектив 5х

Выводы

На площади месторождения бирюзы Бирюзакан было установлено, что жильные системы с бирюзой имеют субгоризонтальное или наклонное (рисунок 1) положения, но не образуют субвертикальных систем. Мы объясняем это тяжестью коллоидных растворов не способных перемещаться в вертикальной плоскости.

Бирюза на рассматриваемом месторождении часто формирует колломорфную структуру, с хорошо выраженными сферолитами (рисунок 2, 4), являющуюся признаком кристаллизации самоцвета из коллоидных низкотемпературных растворов, в которые перешли истинные растворы сразу после кристаллизации кристаллов горного хрусталя (рисунок 3). Между последним и бирюзой наблюдаются индукционные поверхности – результат близко одновременной кристаллизации.

Благодарности

Выражаем благодарность Д.А. Петроченкову за помощь в изготовлении кабошонов

Библиография

1. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. М.: Изд-во Земля. Ассоциация ЭКОСТ. 2000. 583 с.
2. Литвиненко А.К., Восихов Ш.Т. Месторождения и проявления бирюзы и варисцита в Республике Таджикистан // Известия ВУЗов Геология и разведка. 2024. Т.66. № 3. С. 78-86.
3. Менчинская Т.И. Бирюза. М.: Недра. 1981. 159 с.
4. Менчинская Т.И. Бирюза. М.: Недра. 1989. 192 с.

Геохимия микроэлементов необычных разновидностей сфалерита и вюртцита из проявления Гониатитовое (хребет Пай-Хой, Арктическая зона России)

Макеев А.Б.* (ИГЕМ РАН, abmakeev@mail.ru),
Тонкачеев Д.Е. (ИГЕМ РАН, dtonkacheev@miralog.com),
Ковальчук Е.В. (ИГЕМ РАН, elena7kovalchuk@gmail.com),
Абрамова В.Д. (ИГЕМ РАН,Vabramova@igem.ru)

Аннотация

Изучен химический состав 27 мономинеральных образцов пайхойских Mn-, Cd-содержащих сфалеритов, проанализированых в 82 точках. Выявлены связи между типоморфными элементами-примесями. В отличие от других провинций пайхойская характеризуется почти полным отсутствием изоморфного железа в ZnS. Это позволило изучать чистые схемы изоморфизма ZnS↔MnS, ZnS↔CdS, а именно катодолюминесценцию и другие типы свечения. Присутствует редко встречающийся политип ZnS вюртцит-4H в срастании со сфалеритом.

Ключевые слова

Пай-Хой, сфалерит, вюртцит, распределение примесей

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках госзадания ИГЕМ РАН (№124022400144-6)

Исследован уникальный Mn-,Cd-содержащий сфалерит из кварц-кальцитовых жил в толще каменноугольных (визейских C_1v) морских отложений на отрезке в 50 км среднего течения р. Силовы-Яхи, в Арктической зоне европейской части России (Макеев, 1985). Жилы имеют согласное и секущее залегание в двух типах пород: серых известняках и черных кремнисто-углисто-глинистых сланцах, известное как проявление «Гониатитовое» (хребет Пай-Хой). Содержание сульфидов в пробах жил от 0,1 до 2 об.%. Для исследования содержания микроэлементов в сфалерите были использованы метод LA-ICP-MS и микрозондовый анализ (ЕРМА) в ИГЕМ РАН.

Для оценки температуры и солености минералообразующего флюида использован метод микротермометрического изучения газово-жидких включений в жильном кварце. Гидротермальный флюид, участвующий в кристаллизации сфалерита, характеризуется низкой температурой (164-211^{o}C) и средней соленостью 5-6 мас.% экв. NaCl (Макеев и др. 2024). Изучен химический состав 27 мономинеральных образцов пайхойских Mn-,Cd-содержащих сфалеритов, проведены анализы в 82 точках. Выявлены связи между типоморфными элементами-примесями, построена корреляционная матрица. Положительно коррелируют друг с другом: Cu, V, Ga, In, Sn, As, Sb, Bi, Pb, Tl, Se, Ag, Au, Ni; отрицательно к ним – Cd, Mn и Ge. Получен обновленный «портрет» типоморфных особенностей (состава и свойств) сфалерита Пайхойской провинции. Установлены признаки, позволяющие определять тип вхождения примеси в структуру сфалерита: изоморфная примесь или в виде микровключений минералов парагенетической ассоциации. По характеру временных разверток профильной абляции LA-ICP-MS и корреляционным связям между элементами можно определенно утверждать об обнаружении в сфалерите субмикронных, невидимых другими методами включений сульванита и колусита. Проведена типизация данных катодолюминесценции сфалерита Пайхойской провинции. В отличие от других провинций она характеризуется почти полным отсутствием изоморфного железа в ZnS. Что позволило изучать чистые схемы изоморфизма ZnS↔MnS, ZnS↔CdS. А именно катодолюминесценцию (рис. 1), и другие типы

свечения. Кроме того здесь присутствует редко встречающийся политип вюртцита-4H в срастании со сфалеритом (рис. 2, 3). Установлены высокие содержания стратегических металлов Cd, Ga, Ge, In в матрице ZnS, а также в сульваните (V, Cu) в едином парагенезисе со сфалеритом. Содержание Cd в сфалерите варьирует в широких пределах от 1 до 8 мас.%, Ga от 0.01 до 3 мас.% (Макеев, Павлов, 1977; Макеев и др., 1984). Данная низкотемпературная сульфидная минерализация в кварц-кальцитовых жилах относится к легкообогатимым с помощью гравитационной и магнитной сепарации рудам (Макеев и др., 2024)

Карты LA-ICP-MS зерен ZnS были получены в лаборатории ICP-MS и рентгенофазового анализа Стелленбосского университета (ЮАР). Были изучены следующие изотопы: ^{34}S, ^{51}V, ^{55}Mn, ^{57}Fe, ^{59}Co, ^{60}Ni, ^{63}Cu, ^{66}Zn, ^{71}Ga, ^{72}Ge, ^{75}As, ^{80}Se, 107Ag, ^{115}In, ^{118}Sn, ^{197}Au, ^{202}Hg, ^{208}Pb и ^{209}Bi. Наиболее информативные элементы показаны на рисунках 2 и 3 в количестве отсчетов в секунду и в мас.%. Менее информативные карты LA-ICP-MS показаны в дополнительных материалах. Co, Ni и Bi не были включены в обзор из-за их незначительных концентраций (таблица). Карты EBSD зерен с максимальными концентрациями V в ZnS явно не доказали существование зон, богатых колуситом (рис. 2, 3) в исследованных образцах, однако мы использовали эти данные для изучения распределения микроэлементов между Cd-, Mn-сфалеритом и вюртцитом Пайхойской провинции. Представлены (рис. 2, 3) зерна 4 и 6 из пробы М-453 с четким видимыми зонами сфалерита и вюртцита.

В таблице показана средняя концентрация главных, второстепенных и микроэлементов в изученных зернах. Прежде всего, мы отмечаем, что концентрация элементов в зерне 6 (проба М-453) выше по сравнению с зерном 4. Этот факт приводит к более неоднородному, даже хаотичному распределению большинства элементов между сфалеритом и вюртцитом и в целом внутри этих зерен.

Таблица 1. Средняя концентрация (Aver.C) главных, второстепенных и микроэлементов в ZnS (г/т) из проявления Гониатитовый, Пай-Хой, полученная по картам LA-ICP-MS (в зерна 4 верхняя и 6 нижняя часть таблицы)

Элем.	**^{66}Zn**	**^{55}Mn**	**^{57}Fe**	**^{34}S**	**^{63}Cu**	**^{71}Ga**	**^{51}V**	**^{72}Ge**	**^{59}Co**	**^{60}Ni**
LOD	*18.568*	*0.172*	*3.532*	*325*	*0.180*	*0.055*	*0.009*	*0.122*	*0.040*	*0.230*
Aver.C	641977	1102	200.04	337985	1962.90	758.62	145.59	14.34	0.06	2.47
Элем.	**^{205}Tl**	**^{107}Ag**	**^{115}In**	**^{75}As**	**^{202}Hg**	**^{208}Pb**	**^{80}Se**	**^{209}Bi**	**^{118}Sn**	**^{197}Au**
LOD	*0.011*	*0.039*	*0.004*	*0.024*	*0.569*	*0.028*	*1.265*	*0.001*	*0.051*	*0.0630*
Aver.C	78.02	41.15	14.67	5.91	135.64	1.69	330.55	0.19	275.43	0.51

Элем.	**^{66}Zn**	**^{55}Mn**	**^{57}Fe**	**^{34}S**	**^{63}Cu**	**^{71}Ga**	**^{51}V**	**^{72}Ge**	**^{59}Co**	**^{60}Ni**
LOD	*18.568*	*0.172*	*3.532*	*325*	*0.180*	*0.055*	*0.009*	*0.122*	*0.040*	*0.230*
Aver.C	644817	9937	228.04	338449	3274.17	619.09	331.54	24.77	0.04	1.56
Элем.	**^{205}Tl**	**^{107}Ag**	**^{115}In**	**^{75}As**	**^{202}Hg**	**^{208}Pb**	**^{80}Se**	**^{209}Bi**	**^{118}Sn**	**^{197}Au**
LOD	*0.011*	*0.039*	*0.004*	*0.024*	*0.569*	*0.028*	*1.265*	*0.001*	*0.051*	*0.0630*
Aver.C	92.15	117.12	16.31	13.08	120.34	4.06	356.07	0.26	659.31	0.21

Данные по содержанию микроэлементов (данные LA-ICP-MS) были использованы для получения независимой температуры образования исследуемого проявления с помощью геотермометра GGIMFis. Методика была описана в работе Френцеля (Frenzel et al., 2021), исследователи предложили использовать следующую эмпирическую формулу для расчета этого параметра:

$$T(^{\circ}C) = (-54{,}4\pm7{,}3)*PCI+(208\pm10), \text{ где } PCI = ln\frac{C_{Ga}^{0.22} * C_{Ge}^{0.22}}{C_{Fe}^{0.37} * C_{Mn}^{0.20} * C_{In}^{0.10}},$$

C – концентрация соответствующего элемента в г/т, за исключением Fe, который представлялся в мас. %.

Рассчитанный интервал температур кристаллизации природного ZnS – 138-218°C идеально согласуется с данными по исследованию газово-жидких включений – 164-211 °C (Макеев и др. 2024).

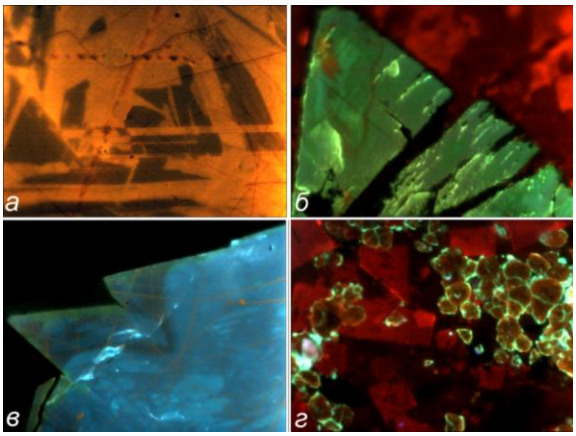


Рисунок 1. Оранжевая катодолюминесценция Mn-,Cd-содержащего сфалерита (а) I минеральной ассоциации, обр. М-443; голубая КЛ Cd-сфалерита (*б*) из II минеральной ассоциации, обр. М-410; зеленая КЛ Cd-сфалерита (*б*) из III минеральной ассоциации, обр. М-431; коричневая КЛ Cd-сфалерита (*г*) из IV минеральной ассоциации, обр. М-415. Кальцит светится красным, флюорит – фиолетовым, хоулиит (CdS) – зеленым, кварц – черное

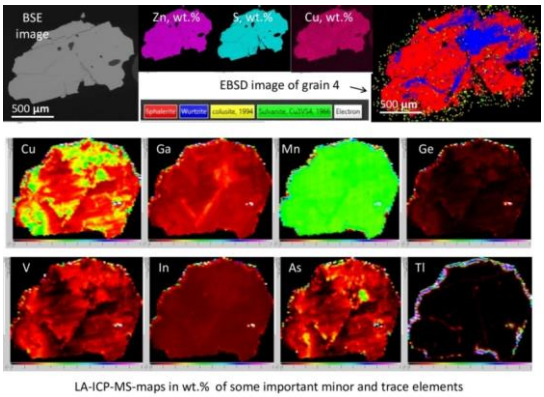


Рисунок 2. Изображения BSE, EBSD зерна 4 (обр. М-453) и карты LA-ICP-MS с распределением некоторых главных (в мас.%), второстепенных и микроэлементных (в г/т). Верхний правый кадр: красное поле – сфалерит-3C, синее – вюртцит-4H

Также представляется, что существует взаимосвязь между концентрацией Pb и Tl из-за присутствия крошечных включений сульфосолей. Ртуть распределяется однородно, Zn и S также, как и ожидалось, однородны, однако на изображениях видны крошечные зоны иной концентрации этих элементов по краям зерен, возможно связанной с неоднородностью полированных препаратов зерен.

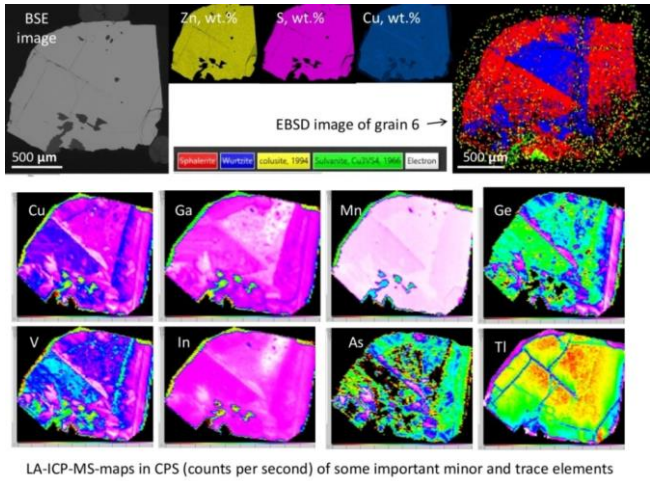


Рисунок 3. Цветные La-ICP-MS карты распределения элементов-примесей в режиме CPS (counts per second) зерна 6 (обр. М-453) сростка сфалерита-3С и вюртцита-4Н. На качественном уровне (по интенсивности цвета и смене окраски) видно что, в вюртците предпочтительно накапливаются Cu, V, Ga, Ge, Mn, In. Лаборатория IC-MS & XRF Stellenbosch University, ЮАР

Выводы

В виду широкого распространения Mn-, Cd-содержащего сфалерита и вюртцита в бассейне рр. Силова-Яха – Кара (Пайхойский антиклинорий) на площади 5×50 км и высокого содержания сульфидов в жилах до 2 об.%, вероятно, потребуется серьезная переоценка проявления по поводу возможности его промышленного использования с целью получения стратегических металлов Cd, Ga, Ge, In, Cu, V.

Библиография

1. Макеев. А.Б., Павлов Л.В. Новая кадмиевая разновидность сфалерита // *Докл. АН СССР*, 1977, № 1, Т. 236, С. 208-211.

2. Макеев А.Б., Евстигнеева Т.Л., Тронева Н.В., Вяльсов Л.Н., Горшков А.Н., Трубкин Н.В. Юшкинит – $V_{1-x}S*n[(Mg,Al)(OH)_2]$ – новый гибридный минерал // Мінералогіческий журнал, 1984. Т. 6, № 5. С. 91-97.

3. Макеев А.Б., Викентьев И.В., Ковальчук Е.В., Абрамова В.Д., Прокофьев В.Ю. Особенности образования, изоморфизм и геохимия микроэлементов в необычных сфалерите и вюртците из проявления Гонианитовое (хребет Пай-Хой, Ненецкий автономный округ) // *Записки Горного института,* 2024, Т. 270, С. 861-876.

4. Frenzel M., Voudouris P., Cook N.J., Ciobanu C.L., Gilbert S., Wade B.P. Evolution of a hydrothermal ore-forming system recorded by sulfide mineral chemistry: a case study from the Plaka Pb-Zn-Ag Deposit, Lavrion, Greece // *Mineralium Deposita*, 2021, Springer. DOI:10.1007/s00126-021-01067-y

Талий (Tl)и Pb-Bi-содержащие минералы из возгонов природного подземного пожара на Фан-Ягнобском месторождении каменного угля (Таджикистан)

Саймудасири Махмадшариф* МГРИ, Geolog.said@mail.ru),
Литвиненко А.К. (МГРИ, akl1954@yandex.ru)

Аннотация

Объект исследования расположен на 103 км автодороги Душанбе-Ходжент, на территории Айнинского района, вблизи посёлка Рават (39°12′25″ N, 68°33′59″ E).

Он представляет подземный пожар на месторождении угля Фан-Ягноб, в сильно минерализованных возгонах которого была установлена группа Tl-Pb-Bi-содержащих минералов. Размеры минералов от 50 до 250 мкм. Нашими исследованиями определено 6 фаз, относящихся к сульфатам, 4 из которых, вероятно, впервые установлены.

Ключевые слова

Рават, Кухи-Малик, Большой грот, горящие угли, сульфаты, талий, свинец, висмут

Теория

Объект исследования расположен в Центральном Таджикистане (рисунок 1А). Он представляет естественный пожар углей и распространён на площади более 4 га [3]. Самыми известными участками, которые упоминались в публикациях и отчетах носят название Большой грот, Кони навшодир (месторождения нашатыря) и Горячие копи (рисунок 1Б). Внутри самого крупного выхода газовых струй – Большой грот, может разместиться более 15 человек. В его глубокой части выходят струи газа, температура которого достигает 1100°С. В трещинах, образовавшихся в породах богатых различными химическими элементами, потоки газа во время выхода на поверхность резко охлаждаются и кристаллизуются в разнообразные минеральные соединения. Из каждого участка подземного пожара откуда поднимается дым, содержащий ядовитый газ, который убивает всё живое. Несмотря на это местные жители используют выходящие газы как лекарственное бальнеологическое средство, от которого сразу чувствуется, по отзывам посетивших, благотворный лечебный эффект**.**

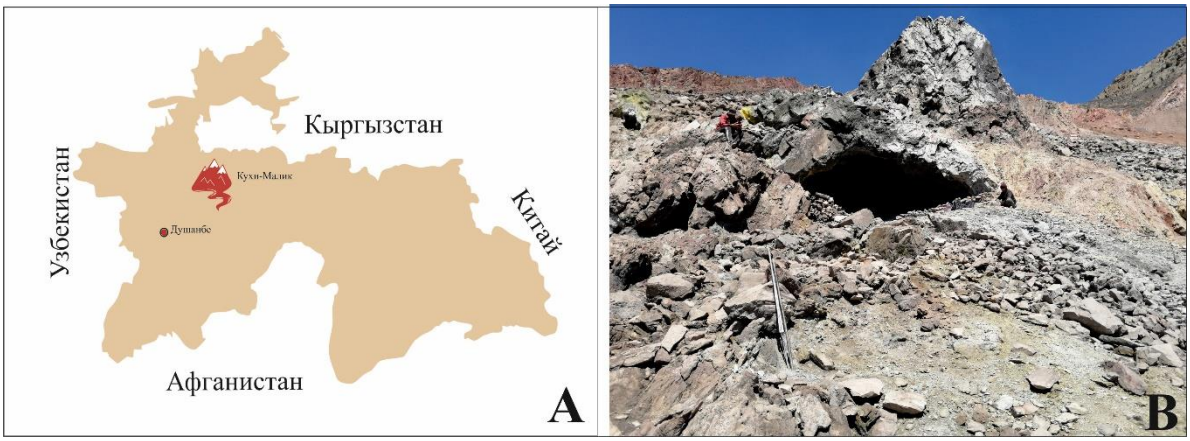


Рисунок 1. Местоположение объекта исследования. А). Гора Кухи-Малика относительно г.Душанбе; Б). Вход в Горячие Копи – самый богатый пункт современного минералообразования на Кухе-Малике

Месторождения каменного угля приурочено к Фан-Ягнобской синклинали, в строении которой принимают участие осадочные породы триасовой системы – самая ранняя;

угленосные толщи юры и перекрывающие их осадочные терригенные отложения меловой и палеогеновой систем [2, 4]. Угли Фан-Ягнобского месторождения характеризуется высокой металлоносностью и могут рассматриваться как комплексное сырьё на Sn, Ag, V, W, Cu. Коэффициенты концентрации последних в углях этого месторождения составляет боле 5 по отношению к РГФ (региональному геохимическому фону относительно средних содержаний микроэлементов в углях Центральной Азии). Коэффициенты концентрации Mo, Pb, Zn, Cr и Be составляют более 3 по отношению к РГФ [4]. Среднее содержание молибдена в угольных пластах №12, 13, и 14 (Почти полностью выгоревших на Кухи Маликском участке) на соседних Восточный и Западной площадях месторождения составляет 4.9 г/т при вариациях от 2.2 до 10.8 г/т [4].

В контурах Фан-Ягнобского месторождения известны несколько угольных подземных пожаров, расположенных на разных высотных отметках в обоих бортах долины реки Фон-Ягноб. Левобережные пожары в основном низко температурные, и в их возгонах преобладают квасцы, нашатырь, самородная сера и органические минералы. Подземные угольные пожары на правом борту реки Фан-дарья, в частности, в урочище Кухи-Малик, более высокотемпературные, и в их возгонах наблюдается значительное минеральное разнообразие. На Раватских пожарах с античных времен в плоть до средины 40-х годов прошлого столетия добывали нашатырь, серу, селитру, квасцы и купоросы, которые использовали для обработки кож, опыления виноградников, изготовления пороха и в медицине [1, 2, 3]. Здесь мы рассматриваем несколько фаз (вероятно, сульфатов), с повышенными содержаниями талия, свинца и висмута, которые, возможно, являются новыми минералами.

Исследованные минералы обнаружены (одним из авторов) в слабо раскрытых трещинах в алевролитах и песчаниках меловой системы. Минералы имеют микроскопические размеры от 50 до 250 мкм мкм (рисунок 2). Некоторые имеют хорошо сформированные кристаллографические очертания в форме тетрагональной пирамиды (рисунок 2А) или чешуйчатых сростков (рисунок 2В). Минералы под номерами 1 и 6 – прозрачные, оливково-зелёного, до бирюзового цвета; 2-5 – бесцветные, прозрачные, со стеклянным блеском. поднимающийся с помощью газа по трещинами из глубоких подземных пожаров угольных пластов, и проходящих через горные породы: известняки песчаники глинистые сланцы. Состав всех соединения изучен на микрозондовом анализаторе JCXA-733 фирмы JEOL, оборудованным энергодисперсионным Si(Li)-детектором с системой анализа INCA Energy 350 (Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва) при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе зонда 1 нА и диаметре пучка 1 мкм (рисунок 3).

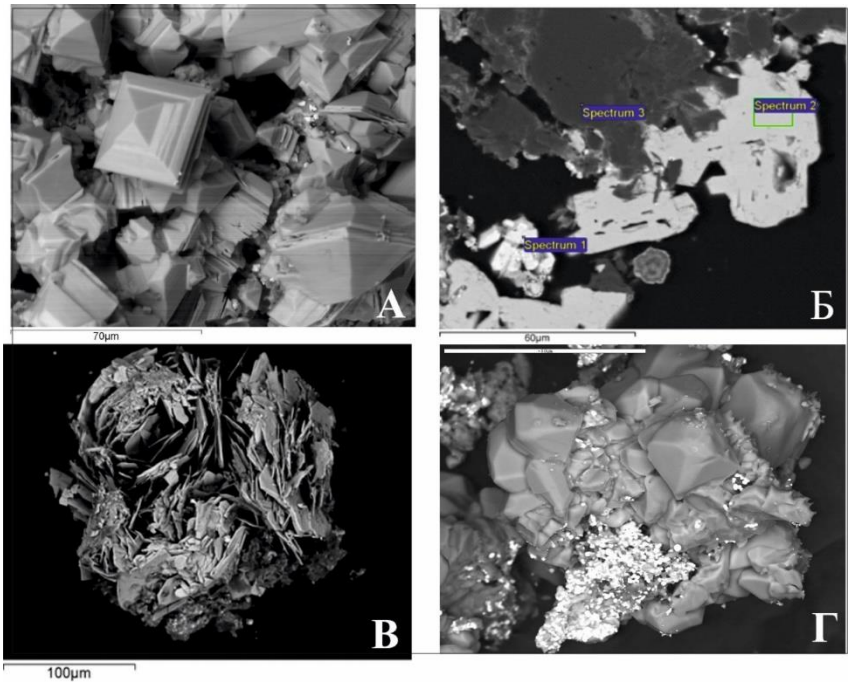


Рисунок 2**.** Фото минералов под ЭСМ JCXA-733 в режиме BSE. А, Б, В – объекты исследования, Г – фальгарит сросток кристаллов с хасановитом – белый, бесформенный

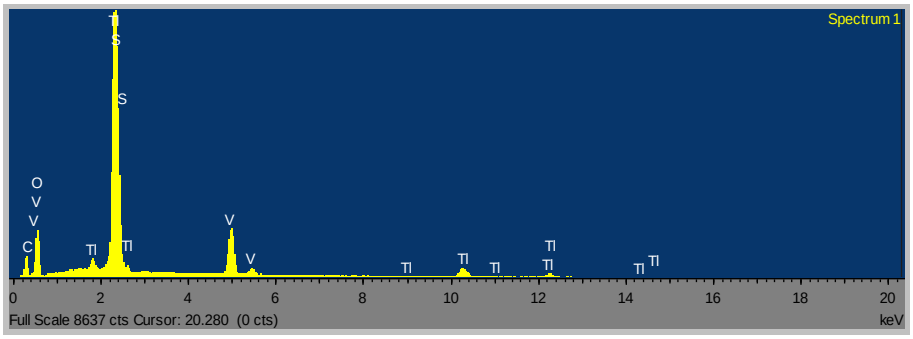


Рисунок 3. Энергодисперсионный спектр рассматриваемого минерала с повешенными содержаниями талий

В составе исследованных фаз были установлены высокие содержания S до 19, K до 17, Ca до 5, Mo до 25, V до 18, Cd до 0.3, Tl до 53, Pb до 17, Bi до 27 % (таблица)

Таблица 1. Химический состав минералов из возгонов

Элементы	1	2	3	4	5	6
Na	0.00	0.00	0.00	0.34	0.52	2.86
S	13.77	11.31	15.17	14.08	19.03	16.17
K	0.43	0.00	4.52	5.33	16.76	10.58
Ca	0.00	0.00	0.00	5.18	0.00	0.00
Cu	0.00	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00
Mo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.38
V	14.51	12.5	0.00	0.1	18.33	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00

Tl	39.92	50.51	53.54	2.02	2.59	1.88
Pb	0.00	0.00	0.00	16.8	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	26.87	0.00	0.00
O	31.37	26.71	25.94	28.94	43.71	40.29
Сумма	100	101.03	99.96	100.17	100.94	97.16

Примечание. 1,2,3,4 –возможно новый минерал, 5 и 6 – фальгарит и хасановит [5, 7]

Выводы

Авторами установлены 6 минеральных фаз сульфатов Tl, Pb, Bi, Mo, V, четыре из которых, вероятно, ранее не были известны. Возгоны от пожаров Фан-Ягнобского угольного месторождения являются природной фабрикой кристаллизации новых и редких минералов. Минералообразование на Большом гроте обусловлено контрастом температур на барьере от 1100°С до 40

Библиография

1. Вадило П.С. Подземный пожар в Центральном Таджикистане // Природа. 1958. № 8. С. 88–91.

2. Ермаков Н.П. Пасруд-Ягнобское месторождение углей и горящие копи г. Кан-Таг // К геологии каменноугольных месторождений Таджикистана (под ред. А.Р. Бурачека и П.П. Чуенко). Материалы Таджикско-Памирской экспедиции 1933 г. Вып. XII. Л: Химтеорет, 1935. С. 47–66.

3. Новиков В.П., Супрычев В.В., Салихов Ф.С. Некоторые геохимические особенности гипергенного минералообразования в условиях современного угольного пожара на примере ФанЯгнобского месторождения // Минералогия Таджикистана. 1989. № 8. С. 107–118.

4. Охунов Р.В., Ёров З.Ё., Негматов И.И. Атлас-справочник угольного месторождения ФонЯгноб // Душанбе. 2017. 170 с.

5. Мираков М. А., Паутов Л. А., Сайдра О. И., Махмадшариф С., Карпенко В. Ю. Хасановит KNa(MoO2)(SO4)2-Новый минерал из возгонов природного подземного пожара на фан-ягнобском угольном месторождении, Таджикистан //ЗРМО.2023.19-36 с.

6. Фозилов Дж.Н., Алидодов Б.А. Элементы-примеси в углях каменноугольного месторождения Фан-Ягноб // Изв. АН Респ. Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. 2017. Т. 167(2). С. 101–110.

7. Pautov L. A., Mirakov M A., Siidra O. I., Faiziev A. R., Nazarchuk E. V, Karpenko V. Yu and Makhmadsharif Saimudasir. Falgarite, K4(VO)3(SO4)5, a new mineral from sublimates of a natural underground coal fire at the tract of Kukhi-Malik, Fan-Yagnob coal deposit, Tajikistan// Mineralogical Magazine (2020), 1–8

Типоморфные особенности ювелирных турмалинов Малханского пегматитового поля из жилы Иркутянка

Шелементьева А.Ю.* (Геммологический Центр МГУ, shelementieva@gem-center.ru), Ярапова О.В. (Геммологический Центр МГУ, yarapova@gem-center.ru)

Аннотация

В данной работе приведены данные исследований 5 образцов турмалина, найденных на жиле Иркутянка Малханского пегматитового поля в 2022 году. Образцы были изучены методами оптической и электронной микроскопии, а также методом LA-ICP-MS. Сделаны выводы о химическом составе образцов, а также предположения и выводы об аномальном содержании висмута и свинца в образцах, исследуемых турмалинов.

Ключевые слова

Турмалин, Малханское пегматитовое поле, фторэльбаит

Теория

В соответствии с действующей номенклатурой общая кристаллохимическая формула минералов надгруппы турмалина может быть представлена как $^{[9]}X^{[6]}Y_3{}^{[6]}Z_6\ (^{[4]}T_6O_{18})(^{[3]}BO_3)_3V_3W$ (Henry et al., 2011). По состоянию на 01.01.2025 г. надгруппа объединяла 39 членов со следующими видообразующими компонентами (The New IMA List of Minerals, http://cnmnc.units.it/):

X = Na, K, Ca и вакансия (□);

Y = Li, Mg, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Al, V^{3+}, Cr^{3+}, Fe^{3+}, Ti;

Z = Mg, Fe^{2+}, Al, V^{3+}, Cr^{3+}, Fe^{3+};

T = Si, Al;

V = O, OH;

Z = O, OH, F.



Рисунок 1. Образцы исследуемых турмалинов из жилы Иркутянка Малханского пегматитового поля. Ширина поля зрения 6,5 см

В июне 2022 г. одному из авторов данной статьи (Шелементьевой А.Ю.) удалось побывать на нескольких жилах Малханского пегматитового поля в Забайкалье, отрабатываемых ООО «Технология».

Во время полевых работ было отобрано несколько образцов для дальнейших исследований. Для изучения было выбрано 5 образцов с жилы Иркутянка. Образец Т1 классического для Малхана ярко-розового цвета, образец Т2 полихромный с желтой серединой, розовой и прозрачной каймой, а также образцы Т3-Т5 необычного светло-зеленого «мятного» цвета. (рис.1)

Краткие сведения о месте находки.

Малханское пегматитовое поле расположено в Красночикойском районе Забайкальского края и занимает площадь около 60 км^2 на южных склонах Малханского хребта, в междуречье правых притоков реки Чикой – рек Могзон, Скакунья и Большая Речка. В геологическом отношении Малханское пегматитовое поле находится в юго-западной краевой части Малхано-Яблоновой структурно-формационной зоны, относящейся к каледонскому этапу складчатости (Загорский, Перетяжко, 2008).

Жила «Иркутянка» известна с 2018 г. Представляет собой клинообразное тело до 390 м по простиранию и от 5 до 12 м в поперечнике. Продуктивная часть с миаролами ювелирного турмалина представлена альбитовым и кварц-альбитовым пегматитом. Размеры миарол с турмалином колеблются в широких пределах обладают разнообразной формой. Распределение миарол и турмалина в продуктивной зоне крайне неравномерное. Кристаллы турмалина варьируют от нескольких мм до 5 см по призме. Кроме традиционных для Малхана «цветных» разностей турмалина в ней нами обнаружены однотонные полупрозрачные кристаллы нежно-зелёной («мятной») окраски (рис.1).

Методы и результаты исследований

Количественные анализы выполнены на электронном сканирующем микроскопе TESCAN VEGA 3 при ускоряющем напряжении 15 кВ. Средние содержания Li и B в каждом образце определены с помощью атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, измерения проводились на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Elan DRC-e. Лазерная абляция: NWR-213 (New Wave Research). Градуировку проводили по твердым стандартным образцам NIST SRM 610 и NIST SRM 620. Расчет содержания элементов проводился с нормированием на 100% суммы по оксидам**.**

Заполнение структурных позиций в химических формулах осуществлялось поэтапно в соответствии с процедурой, указанной в действующей номенклатуре турмалинов (Henry et al., 2011). Сначала Na и Ca помещались в позицию X. Доля вакансии (□) в этой позиции рассчитывалась по стехиометрическому соотношению, исходя из уравнения Na + Ca + □ = 1 а.ф. Отнесение того или иного состава к конкретному минеральному виду осуществлялось в соответствии с действующей номенклатурой турмалинов (Henry et al., 2011) и утвержденными КНМНК ММА правилами о доминирующей валентности (Bosi et al., 2019). Сначала по преобладающему в позиции X компоненту определялась принадлежность минерала к группе щелочных турмалинов (Na> Ca и Na > □) или турмалинов с доминирующей вакансией (□ > Na и □ > Ca) (рис.2а). Затем принимался в расчет доминирующий анион в позиции W^- F^-, OH^- или O^{2-}. На последнем этапе по результатам заселенности позиции Y рассчитывался доминирующий минал, определяющий формулу конечного члена соответствующего минерального вида в надгруппе турмалина.

Все исследуемые турмалины содержат Li (0,76-0,94 а.ф.) и Al (7,76-8,11 а.ф.) в октаэдрических позициях. Другие октаэдрические катионы (Mn, Fe, Ti) содержат менее 1 а.ф. Турмалины не показывают недостатка Si (5,90–6,00 а.ф.) и представлены видами с преобладанием F (0,78–0,83 а.ф.) (рис.2б).

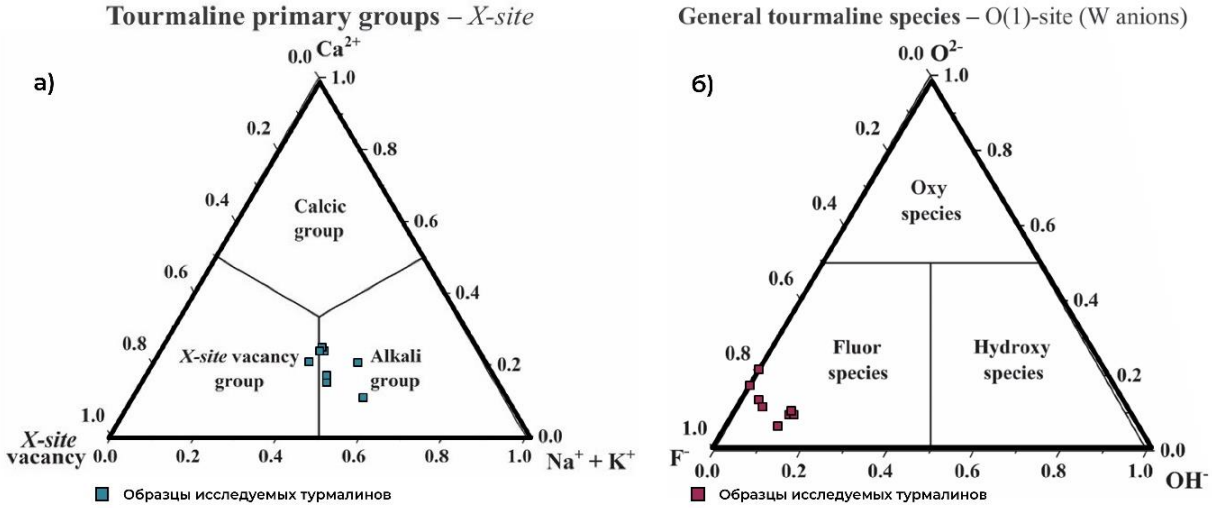


Рисунок.2. а) Соотношение катионов и вакансии (□) в позиции X в минералах надгруппы турмалина из жилы Иркутянка, б) Соотношение анионов, занимающих позицию W в минералах надгруппы турмалина из жилы Иркутянка

В итоге, нами установлены составы, попадающие в поля следующих двух минеральных видов:

Фторэльбаит Na(Li1.5Al1.5)Al6(Si6O18)(BO3)3(OH)3F

Фторроссманит □(LiAl2)Al6(Si6O18)(BO3)3(OH)3F

Стоит отметить, что эльбаит и фторэльбаит являются распространенными минеральными видами не только на Малханском пегматитовом поле, но и в других месторождениях турмалина. Фторроссманит же является эндемиком Малхана и утвержден в качестве нового минерального вида в 2022 году. [2]

В исследуемых образцах турмалина было отмечено повышенное содержание свинца (до 0,5 масс %) и висмута (до 0,7 масс %) Наибольшее количество свинца отмечено в образце Т1, наибольшее количество висмута в образцах Т4 и Т5. (рис.3). На Малханском хребте висмут и висмутосодержащие минералы уже были описаны в отдельных жилах. Минерал висмутоколумбит был открыт в альбит-пегматитовой жиле Данбуритовая, а богатые Bi и Pb турмалины были отмечены в пегматитовой жиле Западная-1. [3]

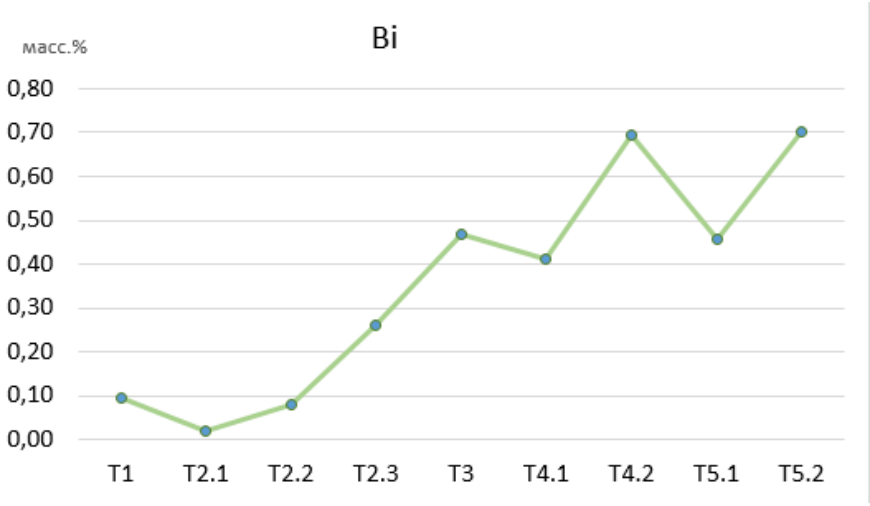


Рисунок.3 Содержание висмута в исследуемых образцах турмалинов (масс.%).

Выводы

Таким образом, авторами изучено 5 образцов турмалина из жилы Иркутянка Малханского пегматитового поля. большинство турмалинов по своему составу относятся к ряду фторэльбаитов. В одном зональном кристалле турмалина (T2) присутствует зона, по составу отвечающая фторроссманиту, который является эндемиком Малханского пегматитового поля. В исследуемых образцах отмечено повышенное содержание Pb и Bi, что может являться типоморфным свойством. Верещагин О.С. и др. в своей статье выразили предположение о том, что трехвалентные катионы также могут занимать X-позицию турмалина. Можно предсказать, что общая схема классификации турмалинов, основанная на занятости X-позиции, будет включать не только вакансии, одновалентные (например,Na, K) и двухвалентные (например, Ca, Pb) катионы, но и трехвалентные (например, Bi) катионы. [4]

Библиография

1. Загорский В.Е., Перетяжко И.С. (2008) Малханское месторождение турмалина в Забайкалье. Минералогический альманах, 13b, 4–39.
2. Касаткин А.В., Верещагин О.С., Горелова Л.А., Белаковский Д.И.. Восемь минеральных видов в одном кристалле: уникальная зональность полихромного турмалина из жилы крутая (Малханское пегматитовое поле, Забайкалье) МИНЕРАЛОГИЯ, 2024, том 10, № 2, с. 5– 25
3. Перетяжко И.С. Условия формирования минерализованных полостей (миарол) в гранитных пегматитах и грнаитах//Петрология, 2010, Т.18, №2, С.195-222.
4. Henry D.J., Novák M., Hawthorne F.C., Ertl, A., Dutrow B.L., Uher P., Pezzotta F. (2011) Nomenclature of the tourmaline supergroup minerals. American Mineralogist, 96, 895–913.
5. Vereshchagin O.S., Kasatkin A.V., Škoda R. (2022) New data on Bi-, Pb-bearing and Mn-rich gem tourmaline from the Malkhan pegmatite district (Transbaikalia). Zapiski Rossiyskogo Mineralogicheskogo Obshchestva (Proceedings of the Russian Mineralogical Society), 6, 46–57.

Сравнение свойств “радужных” лунных камней с Мадагаскара с лунными камнями из других месторождений

Ярапова О.В.* (Геммологический Центр МГУ, yarapova@gem-center.ru),
Шелементьев Ю.Б. (Геммологический Центр МГУ, yuri@gem-center.ru),
Шелементьева А.Ю. (Геммологический Центр МГУ, shelementieva@gem-center.ru)

Аннотация

В данной работе изучены свойства “радужных” лунных камней из Мадагаскара в сравнении со свойствами других лунных камней, доступных на рынке. Исследованы микроскопические особенности, люминесценция и химический состав.

Ключевые слова

Лунный камень, лабрадорит, люминесценция, химический анализ, rainbow moonstone

Теория

Лунные камни – ювелирные разновидности полевых шпатов, проявляющие оптические эффекты, такие как адуляресценция. На структурном уровне у таких образцов наблюдаются тонкие структуры распада твердых растворов, что и является причиной эффекта лунного камня. Наряду с традиционным лунным камнем, относящемуся к адуляру, эффект лунного камня может проявляться у санидина, ортоклаза, микроклина, альбита и олигоклаза [3]. Кроме того, в последнее время появились ограненные лунные камни с радужным эффектом, такие разновидности на рынке называют “rainbow moonstone”, то есть “радужный лунный камень” [4, 5]. В качестве источника указывается Мадагаскар. Такой “радужный” лунный камень демонстрирует оптический эффект (рис. 1-а), который отличается от традиционного лунного камня наличием разноцветной игры света. Авторами было исследовано 13 образцов “радужных” лунных камней с Мадагаскара, 2 “радужных” лунных камня со Шри-Ланки, 5 лунных камней со Шри-Ланки, 6 лунных камней из Индии и 2 лунных камня из России.

Микроскопическое исследование “радужных” лунных камней с Мадагаскара в поляризованном свете выявило полисинтетическое двойникование (рис. 1-б). Предполагается, что это служит причиной “радужного” эффекта образцов. Также данные образцы могут содержать и тонкие структуры распада твердых растворов, однако в микроскоп они не видны.

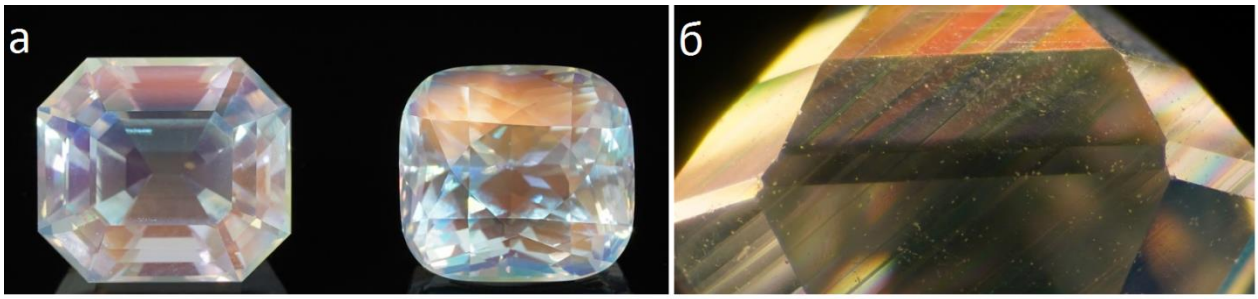


Рисунок. 1. а – “Радужные” лунные камни с Мадагаскара. Ширина поля зрения 3,5 см.
б – Полисинтетическое двойникование в образце “радужного” лунного камня с Мадагаскара. Фотография в поляризованном свете. Ширина поля зрения 1 см

Изучение химического состава с помощью LA-ICP-MS показало, что “радужные” лунные камни с Мадагаскара являются лабрадором – промежуточным членом изоморфного ряда альбит-анортит. Содержание Ca варьируется от 6,79 до 7,39 масс. %, Na – от 3,49 до 3,83

масс. %, K – от 0,17 до 0,2 масс. %. Такой состав “радужных” лунных камней согласуется с литературными данными [5]. Среди элементов-примесей в данных образцах встречаются Sr, Fe, Ba, в меньшей степени Ga, Ti, Pb, Mn, Mg, REE.

Образцы “радужных” лунных камней со Шри-Ланки являются адуляром (ортоклазом). Содержание K варьируется от 5,11 до 5,23 масс. %, Na – от 4,42 до 4,81 масс. %, Ca – от 0,51 до 0,52 масс. %. Элементы-примеси в этих образцах: Fe, Ba, Rb, Ti, в меньшей степени Ga, Li, Pb, REE.

Лунные камни со Шри-Ланки с классической иризацией по составу отвечают двухкомпонентному K-Na полевому шпату. Содержание Na варьируется от 5,59 до 6,64 масс. %, Ca – от 1,32 до 1,35 масс. %, K – от 0,16 до 2 масс. %. Среди элементов-примесей отмечаются Sr, Fe, Ba, в меньшей степени Ga, Ti, Li, Mg, Pb.

Лунные камни из Индии относятся к адуляру. Содержание K варьируется от 8,71 до 11,1 масс. %, Na – от 1,84 до 2,1 масс. %, Ca – не более 0,31 масс. %. Также в состав образцов входят Fe, Ba, Rb, в меньшей степени Ga, Ti, Pb, Li, Mg, REE.

Лунные камни из России являются лабрадором. Содержание Ca варьируется от 6,87 масс. % до 7,03 масс. %, Na – от 3,47 до 3,52 масс. %, K – от 0,34 до 0,36 масс. %. Элементы примеси в данных образцах: Sr, Fe, в меньшей степени Ti, Pb, Li, Be, Mn, Mg, REE.

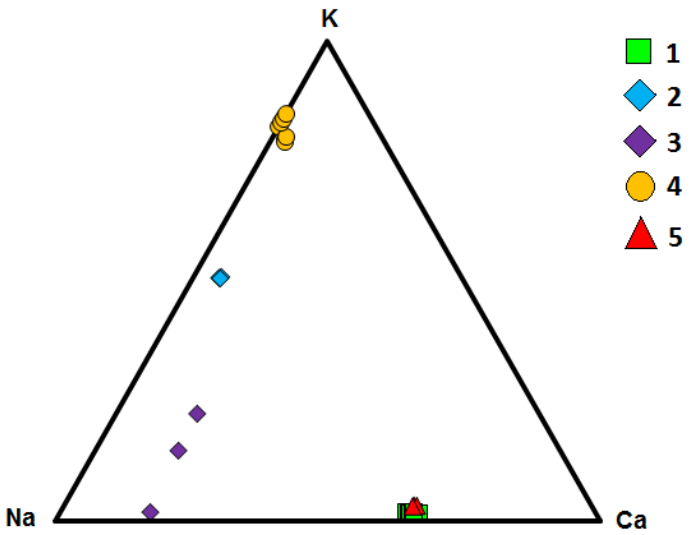


Рисунок. 2. Диаграмма колебаний химического состава изученных образцов “радужных” лунных камней с Мадагаскара (1) и Шри-Ланки (2), а также лунных камней со Шри-Ланки (3), Индии (4) и России (5)

Исследуемые полевые шпаты различаются по содержанию калия, натрия и кальция. В то время как классические лунные камни являются двухкомпонентными K-Na полевыми шпатами, “радужные” лунные камни являются чистыми плагиоклазами. На рис. 2. представлены валовые составы, но известно, что полевые шпаты при низкой температуре распадаются на две фазы.

Для мадагаскарских “радужных” лунных камней характерны следующие цвета люминесценции (рис. 3): при длине волны 225 нм проявляется розовый цвет люминесценции, при длине волны 254 нм – розовый, при длине волны 365 нм – голубой. На рис. 4 приведен типичный спектр люминесценции “радужного” полевого шпата. Полоса голубого свечения уходит в УФ область, за пределы чувствительности нашего прибора. Полоса розового свечения широкая, с условным максимумом 709 нм.

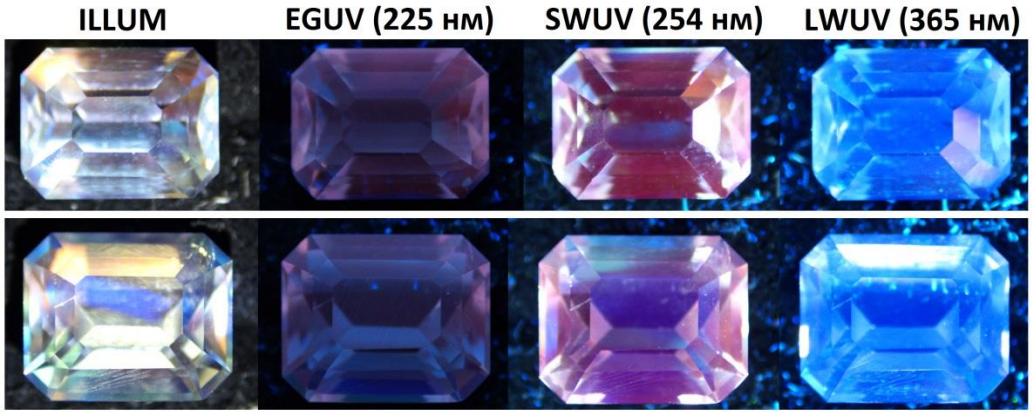


Рисунок 3. Характерные цвета люминесценции для “радужных” лунных камней с Мадагаскара. EGUV – 225 нм, SWUV – 254 нм, LWUV – 365 нм, ILLUM – обычное освещение. Ширина поля зрения 6 см

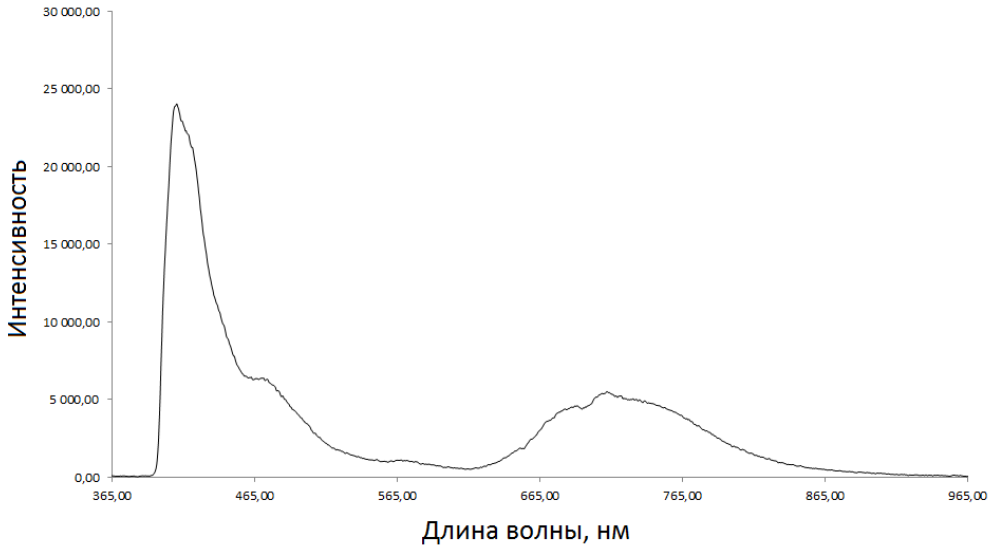


Рисунок 4. Спектр ФЛ “радужного” лунного камня с Мадагаскара, полученный на приборе Aurora Diamond Inspector S1 при комнатной температуре с длиной волны возбуждения 365 нм

Отдельные образцы проявляют зональную люминесценцию: при длине волны 254 встречаются комбинации розового и голубого, розового и желтого цветов люминесценции. “Радужные” лунные камни (адуляр) со Шри-Ланки также люминесцируют: при длинах волн 225 и 254 нм цвета люминесценции совпадают с “радужными” лунными камнями с Мадагаскара, однако при длине волны 365 нм демонстрируются бледно-розовый и бледно-фиолетовый, а не голубой цвет люминесценции.

Цвета люминесценции лунных камней со Шри-Ланки согласуются с цветами “радужных” лунных камней с Мадагаскара, однако при длине волны 365 нм может проявляться желтая люминесценция отдельных зон или структур минерала. Лунные камни из Индии (адуляр) при длине волны 225 нм цвета люминесценции варьируют от голубого до фиолетового, интенсивность люминесценции низкая, однако при длине волны 225 нм отмечается и сильная люминесценция с практически белым цветом. При длине волны 254 нм редко проявляется фиолетовая люминесценция. Лунные камни из России (лабрадор) проявляют те же цвета люминесценции, что и мадагаскарские “радужные” лунные камни.

Голубая люминесценция может быть связана со структурой Al-O-Al, в то время как розовая – с примесью Fe^{3+} [1, 2]. Однако люминесценция не является типоморфным признаком мадагаскарских “радужных“ лунных камней и может проявляться в других разновидностях лунного камня. В качестве типоморфного признака можно выделить сочетание элементов-примесей, определяемых методом LA-ICP-MS.

Выводы

Лунные камни с Мадагаскара, проявляющие радужный эффект, отличаются от традиционных лунных камней не только по внешнему виду, но и по химическому составу. Они относятся к лабрадору. Люминесценция исследованных образцов проявляется в виде двух бесструктурных полос в голубой и розовой частях видимого спектра. Плоскости полисинтетического двойникования проявляются в поляризованном свете и могут являться причиной интерференции света и радужного эффекта.

Библиография

1. Горобец Б. С., Рогожин А. А. 2001. Спектры люминесценции минералов: справочник. М.: ВИМС. 312 с.
2. Соломонов В. И. и др. 2022. Люминесцентные характеристики полевых шпатов. Известия УГГУ. Вып. 3 (67). С. 21–27. DOI 10.21440/2307-2091-2022-3-21-27.
3. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней (ювелирных, поделочных, декоративно-облицовочных). 1978 Мингео СССР, Вып. 18. Иризирующие полевые шпаты. - 67 с.
4. Ito C. 2012. Rainbow moonstone from Madagascar. Gems & Gemology, Vol. 48, No. 3, pp. 223–225.
5. Stone-Sundberg J. 2024. New high-quality rainbow moonstone from Madagascar. Gems & Gemology, Vol. 60, No. 1, p. 102.

О специфике геохимических исследований кимберлитов

Зинчук М.Н. (ЗЯНЦ АН РС (Я), nnzinchuk@rambler.ru),*
Зинчук Н.Н. (ЗЯНЦ АН РС (Я), nnzinchuk@rambler,ru)

Аннотация

Анализ химического и геохимического состава кимберлитовых и конвергентных им пород показал вариации в содержании как петрогенных, так и акцессорных компонентов. По химическому составу породы из изученных на Сибирской платформе диатрем отвечают семейству ультраосновных пород с высокими содержаниями магния и повышенными значениями отношения Mg к Fe^{2+}. Выделяется три петрогеохимические группы кимберлитов: низко-, умеренно- и высокотитанистые. Кимберлитам каждой из этих групп свойственны также характерные величины отношений изотопов Nb, Sr, Pb, легких (Be, B, Li), а также REE и HFSE элементов, что позволило выявить вариации состава мантийных источников, времени и режима процессов кимберлитообразования).

Ключевые слова

Кимберлиты, химический и геохимический состав

Теория

Анализ химического и геохимического состава кимберлитовых и конвергентных им пород позволяет констатировать [1-3] заметные вариации в содержании петрогенных компонентов, которые определяются как эндогенными, так и экзогенными факторами. К особенностям химизма кимберлитовых пород следует отнести повышенную магнезиальность (обычно более 30 мас. % MgO) и очень высокую степень насыщенности летучими (CO_2 и H_2O), примерно равные количества магнезии и кремнезема (отношение SiO_2/MgO обычно в пределах 0,9 – 1,1), большой размах концентраций TiO_2 (от долей процента до 6 мас.%, иногда более) при обычном отношении $TiO_2/K_2O>1$ в кимберлитах первой группы и $TiO_2/K_2O<0,5$ в кимберлитах второй группы, широко варьирующие значения Ti/Zr (20-200), Zr/Nb (2-3, в кимберлитах II группы менее 1).

Результаты

Петрогеохимические исследования позволяют конкретизировать диагностику пород, предположить их мантийные источники и сопоставить с кимберлитами первой и второй групп Южной Африки, для чего используются диаграммы $K_2O–TiO_2$, $Al_2O_3–CaO$ и некоторые другие. В целом по химическому составу кимберлиты всех полей как южной, так и северной частей Сибирской платформы (СП) отвечают семейству ультраосновных пород, что подтверждается высоким содержанием магния и повышенными значениями отношения магния к железу. Эта тенденция сохраняется на СП как в выветрелых кимберлитах, так и в интенсивно карбонатизированных их разностях и пикритах. В последних, а также в карбонатитах Орто-Ыаргинского поля, фиксируются пониженные (по сравнению с кларками для ультраосновных пород) концентрации Si, Fe, Mg, Cr, Ni при повышении доли Ti, Al, K, P, Sr, Zr, Nb, Ta и др. элементов, свойственных щелочным породам. Кроме проявлений отмеченного Орто-Ыаргинского поля заметно обособляются по вещественному составу брекчиевые породы трубок и аномальных объектов трубочного типа Биригиндинского и, частично, Ары-Мастахского полей, которые обнаруживают карбонатитовые тенденции (их ведущие минералы: кальцит, сидерит, магнетит, апатит, пирохлор, часто бадделеит, циркон и др., высокое содержание CaO, CO_2, MnO, P_2O_5, при пониженном количестве SiO_2 и TiO_2); по указанным признакам они существенно отличаются от кимберлитов и не могут

рассматриваться в качестве потенциальных коренных месторождений алмазов. Собственно кимберлитовые породы отличаются, наряду с наиболее высокими содержаниями Mg, Cr и Ni, наибольшими значениями отношений Mg/Fe и Ni/Co, что при величине более 12, наряду с повышенной долей тяжелых редких элементов, показывает принадлежность кимберлитовых пород к алмазоносным разновидностям.

Сравнение микроэлементного состава кимберлитов различной продуктивности, включая распределение редкоземельных элементов (рисунок 1), показывает сходство спектров поведения легких редкоземельных элементов и различия по размаху концентраций тяжелых редкоземельных элементов в промышленно алмазоносных кимберлитовых телах (Нюрбинская, Юбилейная и др.). Несколько отличается спайдеграмма кимберлитов трубки Зарница по пологому распределению легких РЗЭ (Eu, Gd, Dy, Ho, Y, Er, Yb, Lu). Заметно «отскакивают» по снижению концентраций Rb, Th, U, Nb, Ta, Pb и некоторых других элементов породы из некоторых трубок Анабарской группы (аномалии 17/1, 71/63 и др.), а по увеличению Ba и Pb – 70/89. В целом можно отметить более пологие спектры распределения элементов в породах трубок Прианабарья, по сравнению с кимберлитовыми телами промышленно алмазоносных районов [3-5].

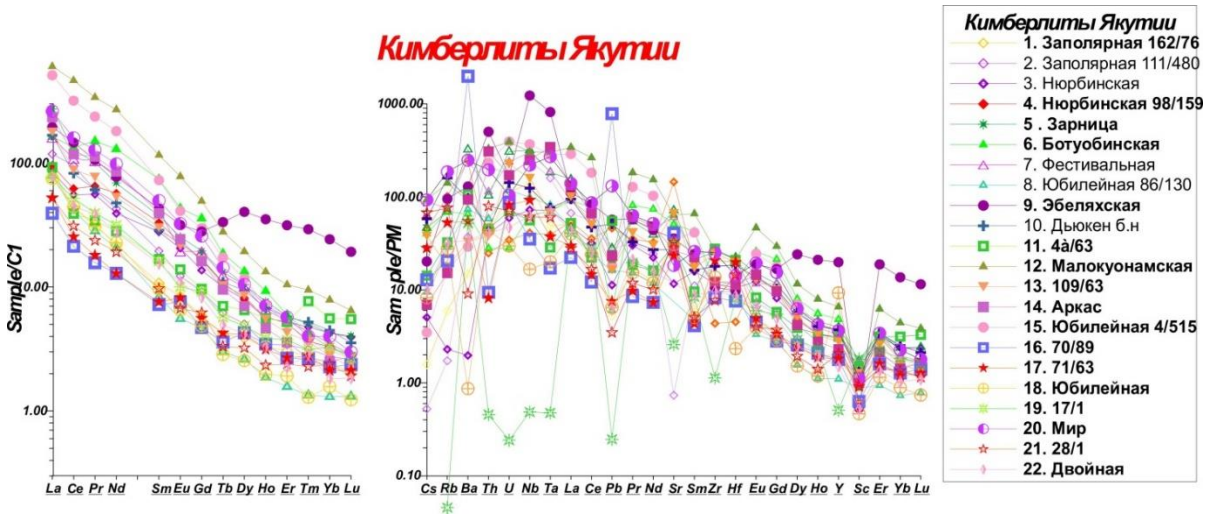


Рисунок 1. Распределение редкоземельных элементов в кимберлитовых породах Сибирской платформы

И еще одна тенденция - серпентинизированные кимберлиты обеднены LIL-элементами. В индикаторных минералах кимберлитов (ИМК) распределение редких и редкоземельных элементов обнаруживает различные тенденции, что можно наблюдать на примере перидотитовых минералов из кимберлитовой трубки Удачная [6-8]. В моноклинных пироксенах распределение имеет обычно пологий характер спектров, в то время как для гранатов и других минералов они характеризуются заметным размахом концентраций элементов, хотя в отдельных образцах могут проявляться обратные тенденции. Чаще пологие S-образные REE спектры характеризуют клинопиксены и гранаты из деформированных истощенных перидотитов (обр. UD-3), при слабом обогащении U и Sr, минимумы Zr более выражены для граната, левая часть мулькомпонентного спектра почти плоская. В клинопироксенах часто фиксируется небольшое обогащение литофилами (LILE) и легкими редкими землями. В спектре клинопироксена из порфирокластического перидотита UD-11 наблюдаются пики повышенных значений U, Ta и Nb. Клинопироксенам из лерцолитов на REE диаграмме свойственны спектры с одновременным уменьшением La/Ybn и общим

повышением уровня редких элементов. С уровнем редких земель коррелируют также минимум по концентрации Ba и небольшой пик Sr. У гранатов заметны положительные пики Pb и U.

Анализ распределения несовместимых редких элементов в породах и минералах из зернистых перидотитов, не имеющих признаков модального метасоматизма в виде новообразованных минералов, показал, что как по уровню содержаний, так и по характеру распределения элементов ксенолиты показывают последовательный переход от низких «первичных» содержаний к содержаниям и распределениям в метасоматизированных ксенолитах [8, 9]. Эта последовательность объясняется метасоматическим воздействием на мантийное вещество водно-углекислых флюидов, а также, возможно, карбонатитовых расплавов или расплавов, сформировавшихся в островодужной обстановке. Метасоматическая проработка мантийной литосферы происходила во время общего метаморфизма, соответствующего этапу кратонизации, и проявилась в большинстве случаев лишь в «скрытой» геохимической форме. В период тектономагматического кимберлитового цикла под континентальной литосферной плитой возникали очаги расплавов, давшие начало ассоциации мегакрист, а также преобразующие вещество астеносферы и нижних частей литосферной плиты.

Поведение индикаторных несовместимых редких элементов (REE, Y, Nb, Hf, Zr, Ti) в гранатах и клинопироксенах из деформированных лерцолитов (астеносферное вещество) и из литосферных метасоматитов реакционного Ca-типа отражает геохимические различия мантийного метасоматизма в верхней части астеносферы и в низах литосферы и указывает на их возможную связь с единым глубинным источником. Различия в характере строения, минералогии и геохимии некоторых кимберлитовых трубок позволяют предположить, что в мантийной литосфере (даже в пределах куста трубок) могли существовать неоднородности и локальные зоны метасоматоза и просачивания. Особенности распределения химических элементов при выветривании кимберлитов (КВ) рассмотрено при изучении верхних частей многих диатрем, что можно рассмотреть на примере трубки имени XXIII съезда КПСС, для которой характерна высокая подвижность Fe_2O_3, Al_2O_3, TiO_2, MgO и CaO. В суммарном балансе вещества здесь наибольшей подвижностью и способностью к выносу характеризуются (в г/см^3): CaO (от 0,4796 до 0,0841), MgO (от 0,4133 до 0,0466) и CO_2 (от 0,5520 до 0,0523). Тенденция к накоплению свойственна: Fe_2O_3 (от 0,0953 до 0,3590), TiO_2 (от 0,0112 до 0,0544), Al_2O_3 (от 0,0742 до 0,2627) и SiO_2 (от 0,4796 до 0,5374). Увеличение концентрации характерно для Sc, Ga, Mn, Nb, V, Cu, Zr, Co, Cr и La. Тенденцией к выносу обладают Pb и Cs. Максимум содержания в средних частях профилей выветривания отмечен для Be, Pb, Ni, Zn и Sr. Ассоциативный анализ этих пород позволяет выделить следующие парагенетические ассоциации: Be-Sc-Mg-Cu-V-Cr-Co-Zr-Nb-Mn и Zn-Ni. В средних частях диатремы наблюдаются положительные аномалии содержания Ga и Co. Установлены следующие устойчивые парагенетические ассоциации: Cu-Nb-Pb-Ga-Sc, Co-Cr-Zn-Pb-Sr, Be-Zn, Mo-V и Ni-Na.

Выводы

Для КВ кимберлитов отмечены широкие пределы колебания основных породообразующих оксидов (в мас. %): SiO_2 (3,30-45,14); TiO_2 (0,036-5,50); Al_2O_3 (0,75-17,20); Fe_2O_3 (0,005-27,54); FeO (0,50-54,08); MgO (0,075-23,51); CaO (1,20-29,12); CO_2 (2,99-34,37). Для КВ каждого кимберлитового тела обычно характерен свой комплекс породообразующих элементов, что связано во многом со степенью выветрелости пород. Для наиболее химически гипергенно переработанных пород (типа трубки имени XXIII съезда КПСС) типоморфными можно считать совместные сочетания MnO, Na_2O, K_2O, P_2O_5 и TiO_2. Для малых по размеру диатрем (типа трубки Дачная) характерно сочетание Al_2O_3 в комбинации с TiO_2, K_2O, Na_2O,

P_2O_5 и F. Каждому конкретному профилю КВ кимберлитов обычно соответствует свой комплекс акцессорных элементов. К постоянной части этого ряда можно отнести Nb-V-La-Mn (накопление) Pb-Cs-Ba-Sr (вынос). Элементы, характерные для кимберлитов и родственных им пород (Co, Ni, Be, Cu, Zr, Zn, Ga, Sc, P,B и др.) позволяют считать эти ассоциации типоморфными для измененных (в том числе и выветрелых) кимберлитовых пород.

Библиография

1. Афанасьев В.П., Елисеев А.П., Надолинный В.А., Зинчук Н.Н. и др. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов У и УП разновидностей (по классификации Ю.Л.Орлова) // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. 2000. №-5. С.79-97.
2. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Минерагения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1987. №-1. С.90-96.
3. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Харькив А.Д., Соколов В.Н. Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минерагения зоны гипергенеза. М.: ИГЕМ АН СССР. 1980. С.45-54.
4. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Логвинова А.М., Зинчук Н.Н. и др. Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. 2000. Т.41. №-12. С.1729-1741.
5. Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геол.-минерал. наук. ИГМ СО РАН. Новосибирск. 1994. 25 с.
6. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Геологическая интерпретация результатов изучения глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. 2001. №-12. С.45-51.
7. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия геология. 2003. №-2. С.57-68.
8. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. М.: Недра. 2001. 198 с.
9. Rosen O.M., Serenko V.P., Spetsius Z.V., Manakov A.V., Zinchuk N.N. Yakutian kimberlite position in the Sibirian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. 2002. V.43. №-1. pp.3-26.

Петрологические особенности кимберлитов

Зинчук Н.Н. (ЗЯНЦ АН РС (Я), nnzinchuk@rambler.ru)*

Аннотация

Проведен анализ петрологических особенностей кимберлитов и диагностируемых в них ксенолитов глубинных пород, показавший доминирующее значение и разнообразие превалирующих в диатремах перидотитов, ассоциирующих с эклогитами, пироксенитами, гроспидитами и другими мантийными образованиями. Анализ построенных TP-диаграмм на основе методов мономинеральной термобарометрии показал неоднородное строение глубоких горизонтов большинства кимберлитовых полей Сибирской платформы.

Ключевые слова

Кимберлиты, ксенолиты, петрология, Сибирская платформа

Теория

Кимберлитовые породы древних платформ мира характеризуются большим разнообразием по размеру, морфологии, глубине заложения очагов, внутреннему строению, особенностям состава заполняющих пород, содержанию и составу первичных (глубинных) минералов, составу основной массы кимберлитов, степени и характеру переработки последних постмагматическими растворами, содержанию, морфологии и физическим свойствам алмазов и индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) и другим признакам. Часть перечисленных особенностей кимберлитов обусловлена проявлением эндогенных факторов, а часть – экзогенных.

Рузультаты

От глубины формирования магматических очагов, состава пород верхней мантии зависят содержания инертных компонентов кимберлитов (TiO_2, Cr_2O_3, Al_2O_3, FeO, P_2O_5, частично K_2O и Na_2O), ИМК и алмазов, содержания и состав ксенолитов глубинных пород и некоторые другие параметры [1-3]. Экзогенные факторы определяют масштабы и направленность вторичных изменений кимберлитов, содержание подвижных оксидов и ксенолитов и в определенной степени размеры и морфологию конкретных кимберлитовых тел. По кимберлитовым полям Сибирской платформы (СП) подтверждена [4] принадлежность пород (38 трубок 13 полей) к кимберлитам с учетом дискриминантных отношений (K_2O–TiO_2; SiO_2/MgO–Ti/Zr; Nb/Zr и др.) и изотопного состава Nd, Sr в породах, составов породообразующих минералов (слюда, перовскит). Отклонения отдельных параметров составов (Zr > 450 ppm в породах, каймы тетраферрифлогопита и др.) могут быть связаны с условиями кристаллизации расплавов или метасоматическими изменениями. Выделено три петрогеохимические группы кимберлитов: низкотитанистые (TiO_2 < 1 мас.%, Zr 44–77 ppm, Ce 21–70 ppm) – Накынское поле (НКП), а также трубка Надежная (Чомурдахское поле-ЧКП), умереннотитанистые (TiO_2 1.0–2.5 мас.%, Zr 50–280 ppm, Ce 58–240 ppm) – южные поля (Мирнинское-МКП, Алакит-Мархинское -АМКП), некоторые трубки северных полей (Дама, Дьянга, Мгришница и др.), высокотитанистые (TiO_2 > 2.5 мас.%, Zr 125–690 ppm, Ce 100–284 ppm) – большинство трубок северных полей провинции (рисунок 1).

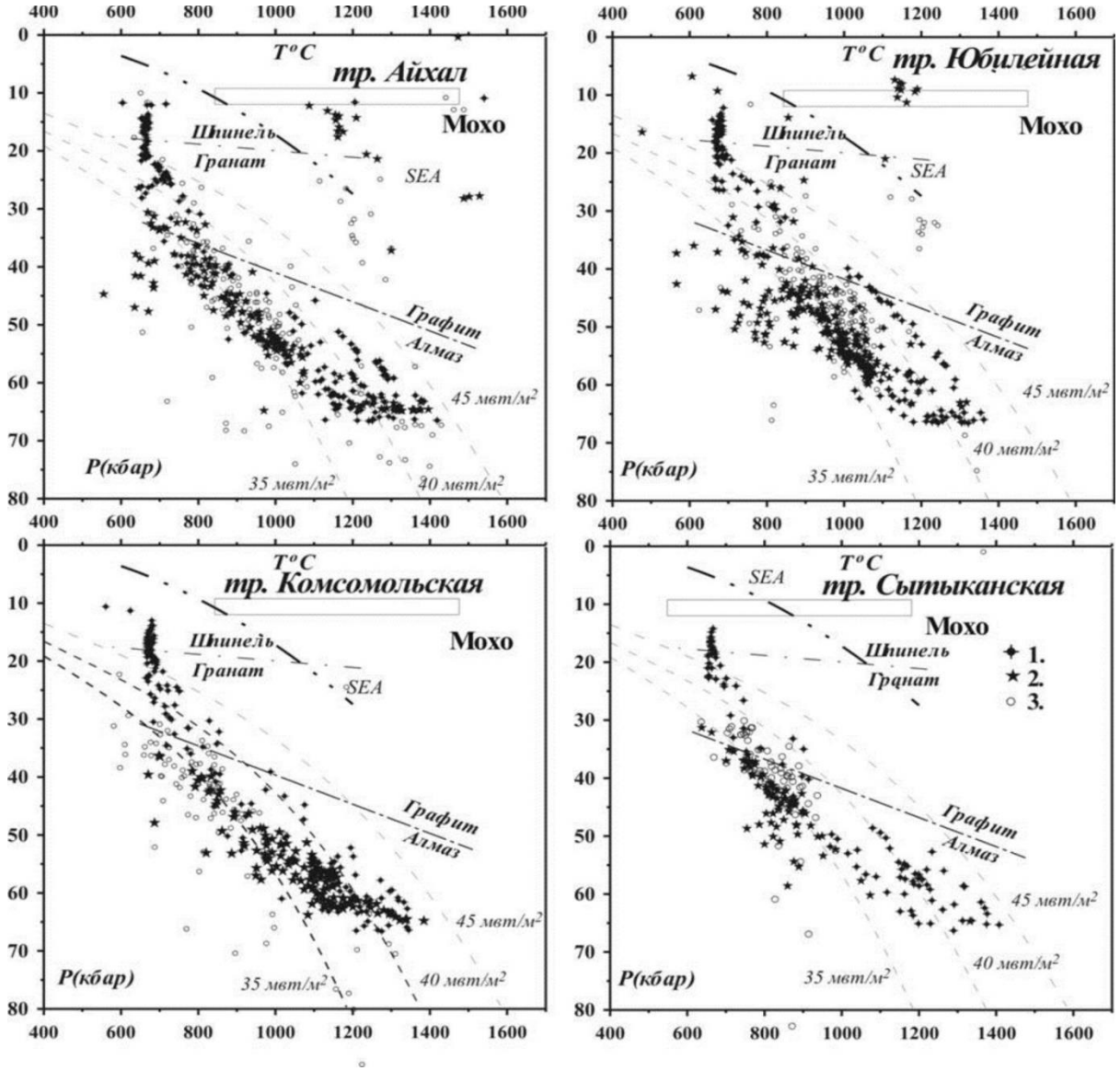


Рисунок 1. PT-диаграмма для мантийных пород под трубками Алакит-Мархинского поля

Кимберлитам каждой группы свойственны также характерные величины отношений изотопов Nd, Sr, Pb, легких (Be, B, Li), а также REE и HFSE элементов [5]. Новый тип низкотитанистых алмазоносных кимберлитов с характерными геохимическими особенностями (низкие содержания REE, HFSE, высокий – Be/Nd и др.) установлен в НКП. BSE или слабо обогащенная мантия I типа – источник низкотитанистых кимберлитов НКП (εNd около 0, –0,2), для трубки Ботуобинская – слабо деплетированная мантия. Источник умеренно-титанистых и высокотитанистых кимберлитов находился в области деплетированной мантии (εNd от +3 до +5.Установлен ряд геохимических критериев диагностики алмазоносносных объектов СП: а) устойчивое умеренное содержанием ∑HREE (НКП, МКП) в низкотитанистых и умереннотитанистых кимберлитах; б) «накынский» тип алмазоносных кимберлитов может быть эффективно идентифицирован с использованием статистических моделей (дискриминации, классификации с использованием порядковых переменных, множественной регрессии); в) предложена диаграмма Ni/Be–Y/Be (основана на особенностях структуры геохимических связей), которая позволяет отделять [6] поля высоко-

и среднеалмазоносных кимберлитов (НКП, МКП) от слабоалмазоносных проявлений (Куойкское и др.). Осадочно-вулканогенные образования верхних частей кимберлитовых диатрем имеют высокие содержания CaO и CO_2 за счет значительного обьёма обломков карбонатного состава, при этом в них отмечаются пониженные содержания TiO_2, K_2O, P_2O_5 и ∑Fe. В некоторых диатремах (Интернациональная, Мир и др.) с глубиной снижается количество SiO_2 и Al_2O_3 и возрастает содержание MgO и H_2O+, что обусловлено уменьшением здесь роли терригенного материала [7-9].

Выводы

Изложенные выше материалы в целом подтверждают слоистое строение мантийных разрезов под трубками и конкретизируют обобщенный разрез литосферной мантии восточной части СП с вариациями состава в субмеридиональном направлении. По оценкам PT-параметров для трубки Обнаженная (северная часть субпровинции) получены температуры от 800 до 1110°C, давление от 30 до 40 кбар, что находится за пределами поля стабильности алмазов, при этом для эклогитов характерны температуры от 950 до 1110°C, для перидотитов - 900-1050°C, а для пироксенитов – 800-1100°C. Мантия под центральной частью субпровинции (трубки Юбилейная и Удачная) отличается тем, что степень истощения растет с глубиной, а тепловой поток соответствует 35-40 мв/м^2. Перидотитам свойственны метасоматические ассоциации с многими неравновесными минералами. Среди особенностей мантии под южной частью субпровинции (МКП) следует отметить присутствие высокомагнезиальных гранатовых перидотитов и пироксенитов в трубке кристалломорфология и физические свойства алмазов дифференцированы на уровне субпровинции, поля и каждой трубки. Индивидуальные особенности состава и физических свойств ИМК трубок выявляются на статистическом уровне. Неоднородность распределения глубинных ксенолитов приводит к аналогичным свойствам алмазов, более выраженной в горизонтальных сечениях трубок по сравнению с вертикальными разрезами. Обычно ранние фазы внедрения кимберлитов имеют различную алмазоносность. Зафиксирована особенность повышенной алмазоносности кимберлитовых пород более поздних фаз внедрения, причем эти фазы чаще всего приурочены к центральным участкам диатрем. Снижение содержания алмазов в периферических зонах трубок связана также с повышенным количеством здесь материала вмещающих диатремы терригенно-карбонатных или карбонатных пород. Ксенолиты вмещающих пород при попадании в магматический расплав вызывают одновременно уменьшение основности магмы и понижение её температуры, вследствие чего раскристаллизация расплава в системе вместе с ксенолитами начинается раньше кристаллизации самого магматического раствора без включений ксенолитов. Первые фазы внедрения кимберлитовых расплавов должны преодолеть сильное противодействие вмещающих пород и в максимальной степени брекчируются. Последующие внедрения кимберлитовых расплавов не прорывают, а обтекают породы предыдущих фаз внедрения и брекчируются уже в меньшей степени. Процесс формирования автолитовых кимберлитовых брекчий способствует метастабильной сохранности алмазов, что обьясняет часто встречающуюся вертикальную зональность распределения алмазов в кимберлитовых диатремах. Популяционная модель формирования кимберлитовых диатрем позволяет прогнозировать степень распространенности автолитовых кимберлитовых брекчий в серии последовательного внедрения других типов кимберлитовых пород. Вязкостная дифференциация кимберлитовых расплавов проходила без химического взаимодействия ксенолитов с расплавом и не зависела от состава ксенолитов. В целом проблема взаимоотношений фрагментов мантийного вещества и вмещающих их кимберлитов остается в числе стержневых в современной петрологии, поскольку может пролить дополнительный свет на процессы формирования разнообразных, особо глубинных, расплавов под древними

платформами. Большой интерес представляет оценка количественной роли различных мантийных парагенезисов в материнских кимберлитах с учетом избирательного захвата глубинного материала протокимберлитовыми расплавами, особенностей транспортировки захваченного материала к поверхности, устойчивости алмазов в глубинных выплавках и т.д. Иными словами, следует рассматривать те параметры и процессы, анализ которых может помочь углубить понимание механизмов возникновения продуктивности кимберлитов. На этой основе удастся усовершенствовать, особенно в количественном отношении по элементному составу, существующие критерии алмазоносности и, соответственно, методы прогнозирования и поисков новых месторождений.

Библиография

1. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Минерагения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1987. №-1. С.90-96.
2. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Харькив А.Д., Соколов В.Н. Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минерагения зоны гипергенеза. М.: ИГЕМ АН СССР.-1980.-С.45-54.
3. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Логвинова А.М., Зинчук Н.Н. и др. Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. 2000. Т.41. №-12. С.1729-1741.
4. Богатиков О.А., Кононова В.А., Голубева Ю.Ю., Зинчук Н.Н. и др. Петрогеохимические и изотопные вариации состава кимберлитов Якутии и их причины // Геохимия. 2004. №-9. С.915-939.
5. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Бюллетень МОИП. Отдел геологич. 2001. Т.76. №-1. С.45-53.
6. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия геология. 2003. №-2. С.57-68.
7. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н., Кузьмин В.А. Морфогенетические разновидности каолинита в корах выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корах выветривания различных петрохимических типов пород // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2006. №-5. С.19-25.
8. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. М.: Недра. 2001. 198 с.
9. Rosen O.M., Serenko V.P., Spetsius Z.V., Manakov A.V., Zinchuk N.N. Yakutian kimberlite position in the Sibirian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. 2002. V.43. №-1. P.3-26.

Элементы прогнозно-геохимической оценки медно-никелевого месторождения Кун-Манье по вторичным ореолам рассеяния (участок Малый Курумкан)

Иванов В.В.* (МГРИ, ivanov.vladimir05@mail.ru),
Игнатов П.А. (МГРИ, petrignatov@gmail.com),
Красных А.В. (МКАО «ХАЙЛЭНД ГОЛД, Andrey.Krasnykh@highlandgold.com)

Аннотация

Cu-Ni с PGE месторождение Кун-Манье, расположенное на восточном фланге Пристанового орогена юго-восточного обрамления Сибирской платформы, по запасам никеля – одно из крупнейших в России (2). Месторождение открыто в 1997 г., на 2023 г. разведано большинство его участков. На данный момент весьма актуально решение следующей задачи: увеличение ресурсной базы уже известных участков, а также поиск нового промышленного месторождения в районе Кун-Манье. Для решения данной задачи использованы результаты геохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния, имеющиеся публикации, и методические пособия по площадным геохимическим поискам. Основной целью автор ставит разработку критериев прогнозно-геохимической оценки Cu-Ni месторождения Кун-Манье. Для эталонного участка Малый Курумкан статистически рассчитаны параметры распределения рудных элементов, построены моноэлементные геохимические карты, изучена структура аномальных геохимических полей.

Ключевые слова

Cu-Ni месторождение Кун-Манье, вторичные ореолы, геохимические параметры, участок Малый Курумкан

Теория

Район Cu-Ni с PGE месторождения Кун-Маньё расположен на восточном фланге Пристанового орогена юго-восточного обрамления Сибирской платформы, по запасам никеля– одно из крупнейших в России (3). В структурном отношении эта территория приурочена к области сочленения разнородных по строению крупных раннедокембрийских тектонических блоков Южно-Алданской и Становой систем (1). Геологическое строение территории является крайне сложным, что обусловлено длительностью развития, метаморфизмом, складчатостью и гранитизацией пород рамы, многократным внедрением больших объемов магм разного состава и многоэтапностью структурно-тектонических и динамометаморфических процессов. Геолого-структурная позиция силлов и даек мафит-ультрамафитов Кун-Маньёнского рудного поля и района, представленная цепочками тел, протяженностью до 30 км, определена Верхнемайской зоной шовных дислокаций, заложившихся на границе Джугджурского и Туксанийского блоков архейского фундамента. Силлы и дайки мафит-ультрамафитов этого комплекса и генетически связанные с ними проявления сульфидной Cu-Ni с PGE минерализации расположены на борту Верхнемайского трогового прогиба и контролируются глубинной зоной Майского разлома и оперяющими дизъюнктивами.

Эталонным участком для разработки критериев прогнозно-геохимической оценки Cu-Ni месторождения Кун-Манье выбран участок Малый Курумкан. Вторичные ореолы рассеяния участка опробовались по сети 200 х 50 м.

Обработка геохимических данных выполнена в соответствии с инструкцией (4) с использованием программного обеспечения Micromine Origin & Beyond и Microsoft Excel. В Microsoft Excel проведены все расчеты и построены графики. Программное обеспечение Micromine Origin & Beyond использовано для пространственного отображения аномалий

геохимического поля рудных элементов, а также для сравнения и анализа графических данных.

В качестве рудных элементов выбраны Cu, Co, Ni, так между элементами наблюдается высокая степень корреляции.

Основными параметрами, характеризующими степень аномальности распределения содержаний рудных элементов в пределах исследуемого участка, являются геохимический фон ($C_ф$), минимально-аномальное содержание ($C_{ма}$), количество проб, равных или превышающих рассчитанное минимально-аномальное содержание, максимальное содержание (C_{max}), коэффициент концентрации (CRn).

За геохимический фон принято наиболее вероятное содержание химического элемента в породах, типичных для данной площади, которое равно среднему геометрическому (Сгеом) для логарифмически-нормального распределения содержаний или среднему арифметическому (Сср) для нормального распределения содержаний. Для оценки характера распределения использовано медианное содержание (Сме) (4) и проверены графическим методом с построением гистограмм распределений содержаний (5). Для распределений содержаний, подчиняющихся логарифмически-нормальному закону распределения, верно: Сср > Сме ≈ Сгеом. А для распределений содержаний, подчиняющихся нормальному закону распределения, верно: Сср ≈ Сме ≈ Сгеом. В качестве характеристики дисперсии геохимического поля использованы стандартный множитель (ε), для логарифмически-нормального распределения содержаний, и стандартное отклонение (σ), для нормального распределения содержаний.

Для рудных элементов расчитаны аномальные содержания (таблица 1). Третье минимально-аномальное содержание ($C_{ма3}$), которое соответствует отклонению в три стандартных отклонения вверх от геохимического фона, принято за основной показатель выделения аномалий геохимического поля.

Таблица 1. Статистические параметры распределения рудных элементов

	Co	**Cu**	**Ni**
ед. изм.	**г/т**	**г/т**	**г/т**
C_{max}	175.0	1790.1	6816.0
$C_{ср}$	9.51	34.32	46.06
$C_{ме}$	7.75	21.04	19.70
$C_{геом}$	**7.57**	**22.94**	**22.32**
$C_{ма1}$	14.5	47.8	51.4
$C_{ма2}$	27.8	99.5	118.6
$C_{ма3}$	53.4	207.2	273.3
$n_{Сма1}$	101	84	77
$n_{Сма2}$	13	20	26
$n_{Сма3}$	4	6	6

Зональность геохимического поля исследована по стандартной методике (6) с использованием программного обеспечения НЮ-2. В качестве входных данных использованы средние содержания Cu, Ni, Co в выборке сечений вторичных ореолов рассеяния на различных уровнях. Для избавления от помех, вызванных неравномерным распределением рудных элементов, осреднение проводилось в 100 метровых блоках.

Выявлен следующий ряд зональности: Cu – Ni – Co. Выявленный ряд зональности геохимических полей рудных элементов в целом не противоречит представлениям о зональности Cu-Ni месторождения. Так как ряд геохимической зональности соответствует ряду мобильности химических элементов в рудообразующем процессе, и в ряду зональности химические элементы располагаются в порядке увеличения способности к миграции (2). Можно сделать вывод, что для вторичных ореолов рассеяния выявленный ряд геохимической зональности характеризует степень смещения относительно первичного ореола.

На рисунках 1 (а-в) изображены аномальные геохимические поля рудных элементов на топооснове. Контуры аномалий построены по статистическим параметрам распределения рудных элементов (таблица 1). На рисунке 1 (г) подложкой является геологическая карта: фиолетовым цветом изображены тела ультрамафитов, вмещающие медно-никелевое оруденение. Аномальные геохимические поля рудных элементов оконтуривают рудное тело, что заметно на рисунке 1 (г).

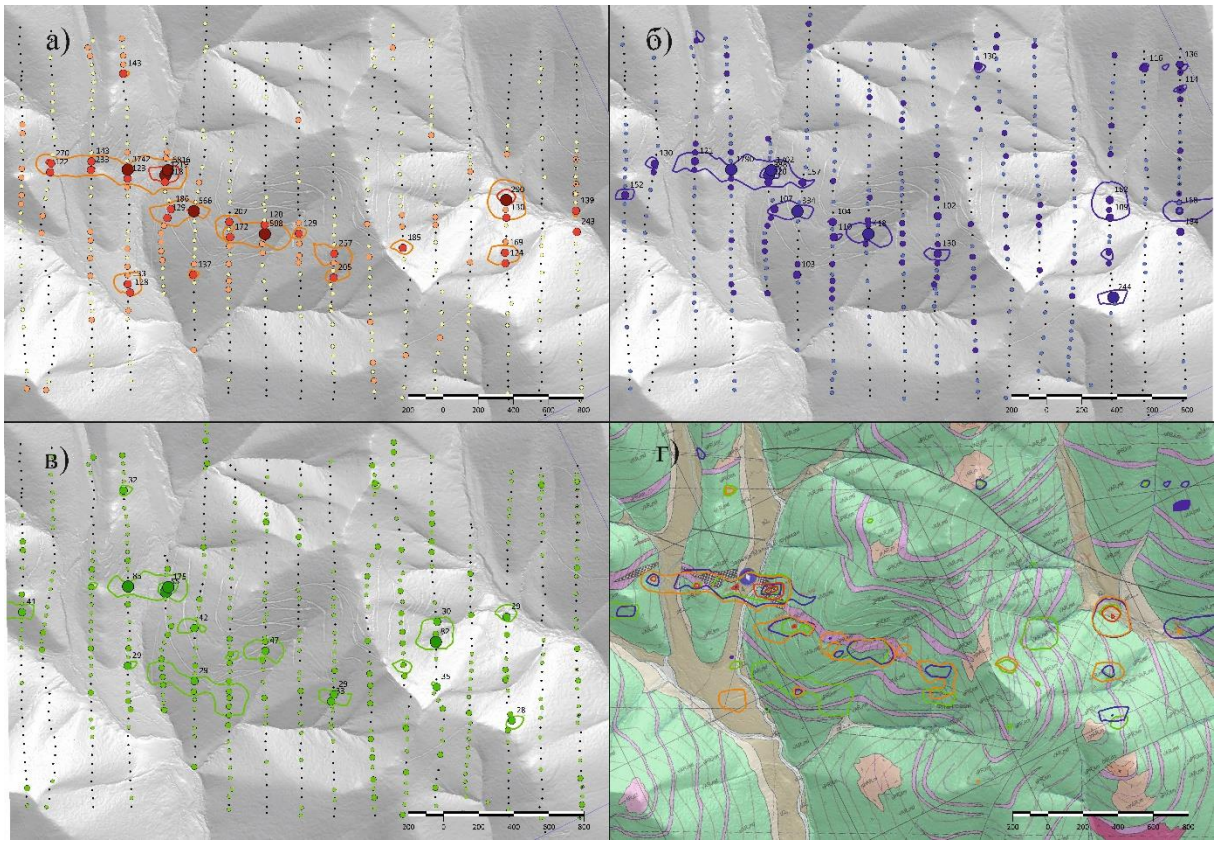


Рисунок 1. Модель аномального геохиического поля рудного тела участка Малый Курумкан (а – аномальное геохимическое поле Ni; б – аномальное геохимическое поле Cu; в – аномальное геохимическое поле Co; г – схематическое изображение пересечения аномальных геохимических полей рудных элементов)

Выводы

Для эталонного участка Малый Курумкан статистически рассчитаны параметры распределения рудных элементов, построены моноэлементные геохимические карты, изучена структура аномальных геохимических полей.

Библиография

1. Багринцев А.В., Маркова Н.С., и др. Технико-экономические обоснование постоянных разведочных кондиций и Отчет с подсчетом запасов месторождения КунМанье по состоянию на 01.01.2021. Лицензия БЛГ 15883 ТЭ от 09.06.2015. Отчет по договору с АО «Кун-Манье» № 02/19 от 14.05.2019. В двух томах, 16 книгах, 18 папках: 942 л. текста, 206 рис., 304 табл., текст. прил. 32/2077 л., граф. прил. 53/933л, библ. 77. ООО «ОРЕОЛЛ», Москва, 2021. ФГБУ «Росгеолфонд»; Амурский филиал ФБУ ТФГИ по Дальневосточному Федеральному округу.

2. Григоров С.А. Локализация таксонов геохимического поля ореолообразующей и рудообразующей системы в масштабах 1:1 000 000 – 1:2000 (структурная геохимия). // М.: ИМГРЭ, 2018. 147 с.

3. Гурьянов В.А., Петухова Л.Л., Абражевич А.В., Вельма А.М., Чубаров В.М., Тихомирова А.И. Геологическая позиция, минералы редких и благородных металлов в рудах медно-никелевого месторождения Кун-Маньё (Юго-восточное обрамление сибирской платформы) // Тихоокеан. геология. 2022. Т 41. №6. С.

4. Морозов М.В., Трушин С.И., Осецкий А.И. и др. Инструкция по площадным геохимическим поисковым работам. // СПб.: АО«Полиметалл УК», «ЛЕМА», 2023. 167 с.

5. Поротов Г.С. Математические методы моделирования в геологии: Учебник // Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2006. 223 с. + вклейка

6. Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. и др. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. // М.: Недра, 1990. 335 с.

Петрохимические особенности ультрабазитов Пайерского блока Войкарского массива (Полярный Урал)

Красовская Б.П.* (МГРИ, b3lk@list.ru),
Должанская Т.Ю. (МГРИ, dolzhanskaiati@mgri.ru)

Аннотация

Войкарский массив, расположенный в пределах Тагило-Магнитогорского синклинория Урала, имеет неоднородное строение. Один из его блоков – Пайерский - перспективно рудоносный, и хромитовое оруденение в нём, преимущественно, связано с дунит-гарцбургитовой серией. Ультрабазиты различаются петрохимическими особенностями, и эти различия могут служить одним из поисковых признаков при изысканиях на данной площади.

Ключевые слова

Войкарский массив, хромитоносность, ультрабазиты, дуниты

Теория

Войкарский массив входит в состав Тагило-Магнитогорского синклинория, на северо-западе обрамлен западной мегазоной Урала, а на юго-востоке перекрыт платформенными отложениями Западно-Сибирской плиты. Войкарский массив расположен в 15 км южнее известного и достаточно изученного массива Рай-Из [1].

Войкарский массив - самый южный в цепочке офиолитовых массивов, протягивающейся вдоль восточного склона Полярного Урала почти на 200 км. В его структуре выделяют три покрова или блока, средний, наиболее мощный из которых, – Пайерский блок. (рис.1.)

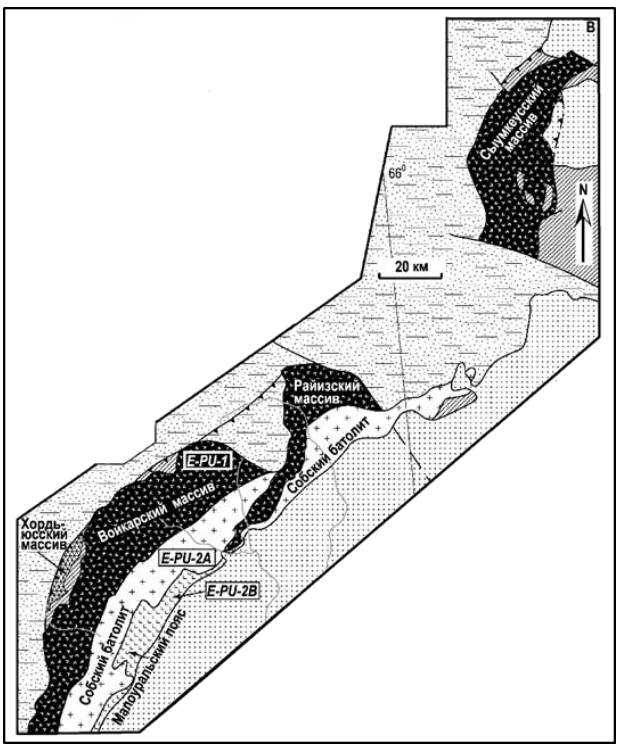


Рисунок 1. Войкарский массив в структурах Полярного Урала (по Кузнецову, 2013) [2]

Пайерский блок образован тектонизированными ультрабазитами средне-позднеордовикского возраста, которые интрудировали средне-позднерифеские метабазальты и сланцы. Ультрабазиты Пайерского блока расчленены на три комплекса: дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый, преимущественно развитый на юго-востоке, дунит-гарцбургитовый и гарцбургитовый [4].

Объектами изучения настоящей работы являются дуниты дунит-гарцбургитового-комплекса, с которым многие исследователи связывают хромитовое оруденение [2].

Дуниты характеризуются от желтоватой до светло-зеленой окраской, зачастую с узнаваемой «караваевидной» отдельностью, интенсивно выветрены (рис.2).



Рисунок 2 Дуниты дунит-гарцбургитового комплекса Пайерского блока.
Фото автора, 2024

Дуниты состоят из оливина, серпентинита и хромита. Оливин наблюдается в виде изометричных и удлиненных зерен размером 0,5 - 2 мм. Отдельные зерна оливина имеют правильные кристаллографические формы (шестиугольники), но, в основном, их очертания неровные. Структура – петельчатая. Серпентин в интерстициях имеет прожилковую, шнурообразную структуру. По мере приближения к рудной зоне содержание серпентина увеличивается, а сохранность реликтов оливина уменьшается. Шпинель представлена зернами размером 0,2-2 мм, с округлыми и правильными шестигранными формами, с отчетливо выраженными следами ожелезнения в центральной части подавляющей части зерен.

Хромитовые руды в описанных нами ультрабазитах могут быть разделены на убоговкрапленные до средневкрапленных. Это подтверждается и другими исследователями [3].

В изученных нами «желтых» хромитоносных дунитах обнаруживается зональность по окраске и количеству хромита; околорудные «зеленые», всегда содержащие хромит, вмещающие «желтые», среди которых можно выделить: 1) со средней вкрапленностью, 2) с убогой вкрапленностью, 3) без хромита (рис.3).

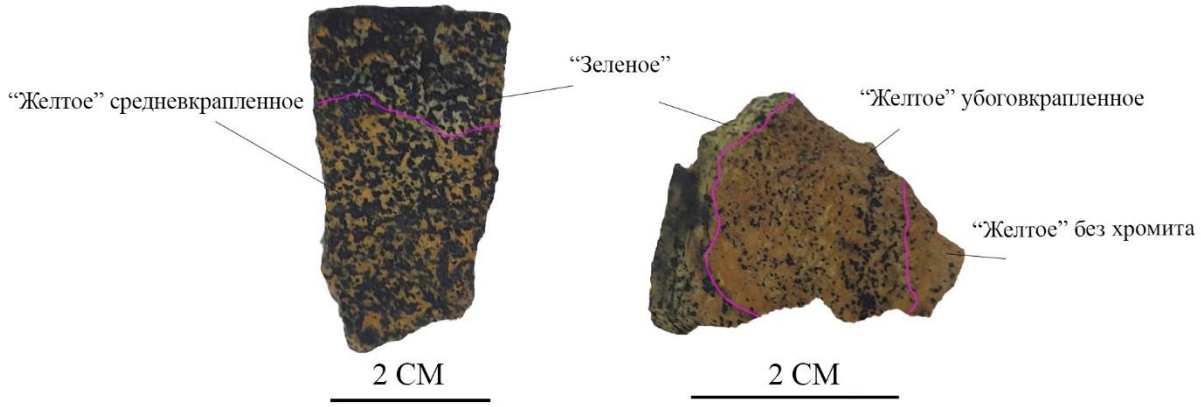
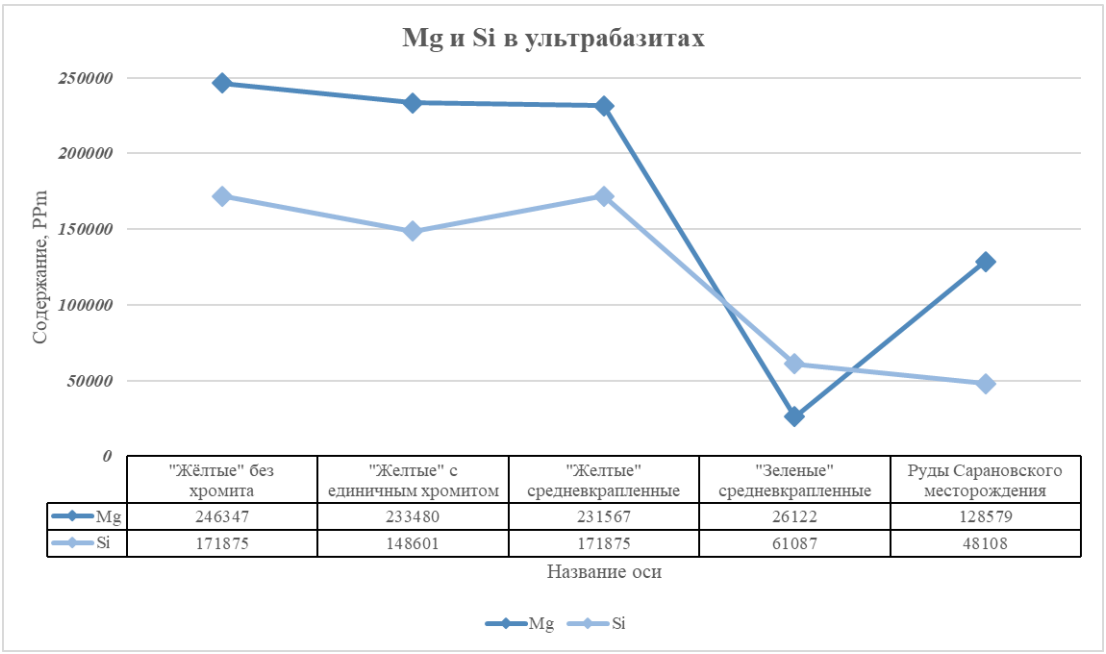


Рисунок 3. Вкрапленные (а, б) и массивные (в, г) хромитовые руды Пайерского блока Фото автора, 2025

Изучение петрохимического состава ультрабазитов разного состава, окраски, с хромитом и без него позволило установить некоторые закономерности в составе петрогенных химических элементов в них (рис. 4). И прежде всего, чёткую корреляцию магния и кремния. В «зелёных» ультрабазитах оба элементы дают минимальные значения по сравнению с «жёлтыми» и рудосодержащими типами. Заметим, количество и кремния, и магния в «зелёных» ультрабазитах соответствует их величине в хромитовых рудах знаменитого Сарановского месторождения. При этом количество кальция в рудоносных породах падает до первых сотен ppm, а в «зелёных» разностях и рудах Сарановского месторождения резко возрастает до первых тысяч и более (30000 – 35000 ppm).



	"Жёлтые" без хромита	"Желтые" с единичным хромитом	"Желтые" средневкрапленные	"Зеленые" средневкрапленные	Руды Сарановского месторождения
Mg	246347	233480	231567	26122	128579
Si	171875	148601	171875	61087	48108

Рисунок 4. Средние содержания петрогенных элементов в ультрабазитах Пайерского блока Войкарского массива (ppm), (РФА, МГРИ, 2025)

Выводы

В результате исследования установлен ряд закономерностей в неоднородном строении ультрабазитовых тел, явном отличии рудоносных зон от безхромитовых типов пород. Тем

самым уточнены критерии локализации высокохромистого оруденения в дунит-гарцбургитовом структурно-вещественном комплексе Пайерского блока Войкарского массива.

Библиография

1. Иванов К. С., Н. В. Вахрушева, П. Б. Ширяев, С. И. Дриль, А. Е. Степанов. О природе хараматолоуской структуры и соотношении Войкаро-Сыньинского и Рай-Изского ультрамафитовых массивов Полярного Урала. Геодинамика и тектонофизика. Т.15. №3. 2024.
2. Кузнецов С.К. и др. Минералогические особенности хромовых руд на Полярном Урале. Известия Коми научного центра УрО РАН. Выпуск 2(14). Сыктывкар, 2013. С.73-83.
3. Прудников И.А., Гайкович М.М., Зублюк Е.В. Особенности геологического строения крупных дунитовых тел в составе дунит-гарцбургитового комплекса Войкаро-Сыньинского массива. ФГБУ «ВИМС». Разведка и охрана недр. 2020. №2. С.25-32.
4. Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В. Генезис подиформных хромититов – обзор моделей // Вестник Уральского отделения РМО. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2019. № 16. С. 136-151.

Экспериментальные исследования структурных и физико-механических параметров минералов и горных пород

Кочанов А.Н.* (Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, kochanov@mail.ru)

Аннотация

Приведены результаты исследований микротрещин с применением методов оптической и растровой электронной микроскопии. С помощью атомно-силовой микроскопии выполнен анализ микрорельефа поверхности образцов гранита и кварцита, а оценка упругих и прочностных параметров минералов и образцов горных пород осуществлена методом микро- и наноиндентирования.

Отмечается, что экспериментальные методы позволяют получить и количественно оценить структурно-механические параметры минералов и горных пород на разных масштабных уровнях, что особенно актуально в связи с развитием современных методов анализа и обработки цифровой информации.

Ключевые слова

Микротрещина, микрорельеф поверхности, эксперимент, минерал

Теория

1. Изучению микротрещин в горных породах, закономерностям их образования и эволюции при внешних воздействиях посвящены многочисленный исследования [1, 7, 8]. В большинстве случаях микротрещины присутствуют в горных породах изначально с момента их образования и в зависимости от структурных особенностей горных пород существует свой характерный размер микротрещин. Содержание кварца оказывает значительное влияние на образование микротрещин.

2. Для изучения параметров микротрещин моделирование их образования осуществлялось в образцах горных пород в условиях взрывного воздействия [3]. С помощью оптической и электронной микроскопии выполнен анализ параметров микротрещин, который показал, что минимальная величина раскрытия трещин составляет порядка 0,1 мкм. На рисунке 1 представлено оптическое изображение микротрещины в граните с величиной раскрытия ~ 0,03 мм. По данным электронной микроскопии величина раскрытия микротрещины для условий эксперимента в кварците составляет ~ 0,3 мкм.

а б

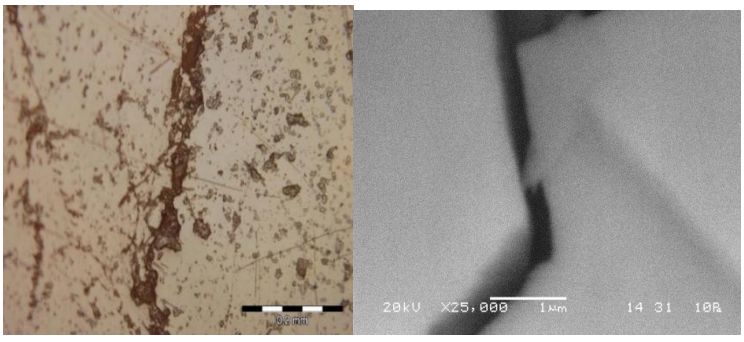


Рисунок 1. Вид микротрещин в граните по данным оптической (а) и электронной микроскопии (б)

- Для исследований микрорельефа образцов гранита и кварцита использовался сканирующий зондовый микроскоп СММ-2000», изготовитель АО «Завод ПРОТОН», г.

Зеленоград. Кадры топографии поверхности получены в режиме атомно-силовой микроскопии (АСМ). В качестве зондов использованы кантилеверы с радиусом закругления острия 10 нм марки «CSG-01» (Швейцария). Достигаемое разрешение – до 4 нм по латеральным размерам рельефа и до 0,02 нм по высотам рельефа. АСМ это метод изучения строения и свойств поверхности твёрдых тел с субнанометровым пространственным разрешением

По результатам исследований получены изображения рельефа, которые для большей иллюстративности представлены в 3D-виде (Рис.2). Размер кадра 8х8 мкм, разброс высот для гранита составляет 1,35 мкм, для кварцита – 1,2 мкм.

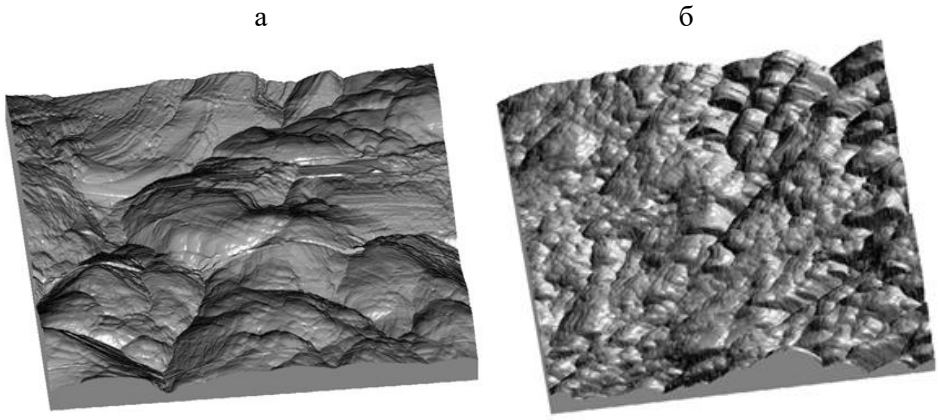


Рисунок 2. Вид рельефа поверхности гранита (а) и кварцита (б) по данным АСМ

Статистика распределения агломератов зёрен по диаметру для гранита по данным АСМ следующая: частицы, попавшие в поле кадра, имеют диаметры примерно от 850 нм до 3,2 мкм с медианным значением около 1,96 мкм, для кварцита соответственно от 650 нм до 3,2 мкм с медианным значением около 1,52 мкм (Рис. 3)

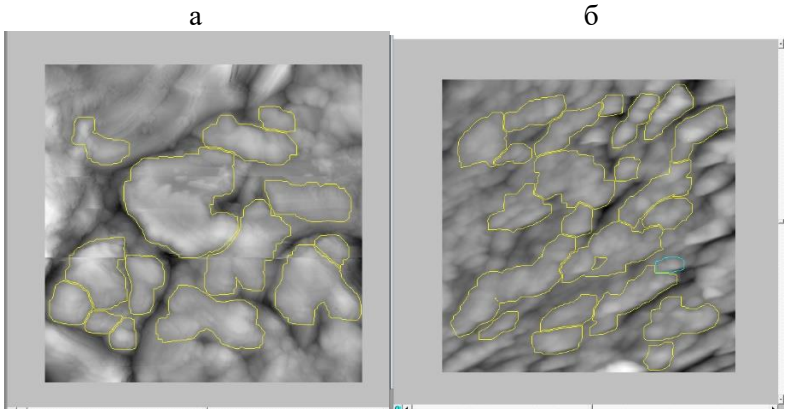


Рисунок 3. Распределение по размерам агломератов зерен гранита (а) и кварцита (б) (данные АСМ)

Для оценки микроструктурной неоднородности, физических и механических свойств горных пород и отдельных слагающих их минералов используются современные прецизионные методы исследования минералов — микро- и наноиндентирование [4]. Основные результаты применения этого метода для оценки физико-механических свойств отдельных минералов и их границ, горных пород представлены в работах [2,5,6]. Построены

карты распределения механических свойств и показана их корреляция с морфологией исследованных образцов. В качестве примера на рисунке 4 представлена область картирования для железистого кварцита и основные результаты определения твердости и модуля Юнга. Сила вдавливания составляла 5 мН.

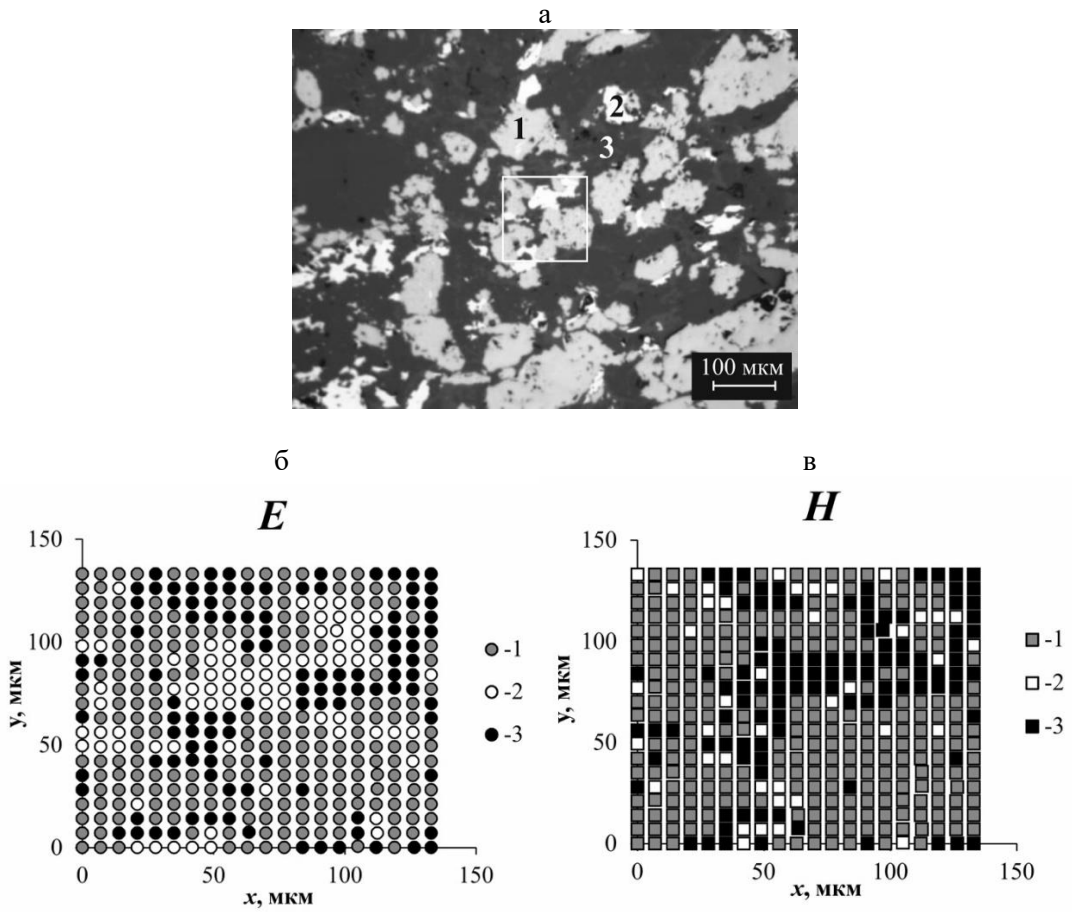


Рисунок 4. Картирование физико-механических свойств железистого кварцита: а) Оптическое изображение (Прямоугольником выделена область картирования); б) Карта распределения модуля Юнга – E; в) Карта распределения твердости – H. 1, 2 и 3 – отдельные фазы кварцита (магнетит, гематит, кварц)

Выводы

В ходе исследований с применением методов оптической, электронной, атомно-силовой микроскопии и микро- и наноиндентирования получены изображения микротрещин, выполнена оценка3D изображений рельефа поверхности образцов, даны статистические оценки размеров агломератов зерен горных пород. Данные по картированию механических свойств методом микро- и наноиндентирования могут быть использованы для построения распределений параметров физико-механических свойств по образцу, а коэффициент вариации значений по твердости или модулю упругости может служить для оценки степени неоднородности горной породы на микроуровне. Исследования показали перспективность использования этих методов для оценки структурных и физико-механических параметров горных пород применительно к различным задачам в области геологических и горных наук. Экспериментальные методы позволяют получить и количественно оценить структурно-механические параметры минералов и горных пород на разных масштабных уровнях, что

особенно актуально в связи с развитием современных методов анализа и обработки цифровой информации.

Благодарности

Автор благодарит за проведение исследований в режиме АСМ инженер-лаборанта АО «Завод ПРОТОН» Логинову А. С, начальника лаборатории атомной модификации и анализа поверхности полупроводников Национального исследовательского университета МИЭТ Логинова Б.А.

Библиография

1. Веттегрень В.И., Пономарев А.В., Мамалимов Р.И., Щербаков И.П. Нанотрещины при разрушении кварца. // Физика Земли. 2020. №6. С.106-112.
2. Викторов С.Д., Головин Ю.И., Кочанов А.Н., Тюрин А.И. и др. Оценка прочностных и деформационных характеристик минеральных компонентов горных пород методом микро- и наноиндентирования // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. №4. С.46-54.
3. Викторов С.Д., Кочанов А.Н. Развитие микротрещин при динамическом разрушении горных пород// Известия РАН. Серия физическая. 2014. Т.78. № 4. С. 388-391.
4. Головин Ю. И. Наноиндентирование и механические свойства материалов в субмикро- и наношкале. Недавние результаты и достижения (Обзор) Физика твердого тела, **63**:1 (2021). С.3–42.
5. Головин Ю.И., Тюрин А.И., Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Пирожкова Т.С. Размерные эффекты и картирование физико-механических свойств отдельных фаз и межфазных границ поликристаллических материалов// Известия РАН. Сер. Физическая.2018. Т.82. №7. С.945-950.
6. Кочанов А.Н., Головин Ю.М., Тюрин А.И., Пирожкова Т.С. Петрофизические исследования свойств минералов и горных пород / Тезисы докладов XIY Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле. М.: МГРИ.2019. Т2. С.293-296.
7. Кочанов А.Н., Бунин И.Ж., Малинникова О.Н. Экспериментальное исследование механизма образования микродефектов в горных породах при воздействии высоковольтных наносекундных импульсов // Изв. РАН сер. Физ. 2021.Т. 85, №9. С. 1282-1286.
8. Anders M. H., Laubach S. E., Scholz Ch. H. Microfractures: A review // Journal of Structural Geology, 2014. Vol. 69 pp. 377-394.

Петрографические и петрохимические особенности гранитоидов Тигертышского комплекса Ипчульского рудного узла

Михалко Н.П. (ФГБУ «ВИМС», mikhalko.np@vims-geo.ru),*
Тертышная К.М. (ФГБУ «ВИМС», tertyshnaya.km@vims-geo.ru)

Аннотация

В данной работе приводится краткая сравнительная характеристика петрографических и петрохимических свойств интрузивных пород кислого состава Ипчульского рудного узла. Анализы были выполнены методом спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) (50 проб).

Ключевые слова

Инконгруэнтное плавление, монцонитовая структура, альбитизация

Теория

Гранитоиды Ипчульского рудного узла представлены порфировыми гранитами, лейкогранитами тигертышского комплекса (γ_1, $l\gamma_{2\text{-}3}Є_3\text{-}O_1t$); сиенитами и, в пределах Ипчульского месторождения, гранодиоритами когтахского комплекса ($\nu_1;\mu_2;\xi_3Є2k$).

Гранитоиды руч. Макаровский мелкозернистые, полностью альбитизированы, как на магматическом, так и на постмагматическом этапе. Повсеместно преобладают монцонитовые структуры, часто в виде псевдопертитов плагиоклаза в КПШ. Во многих кристаллах плагиоклаза отсутствует полисинтетическое двойникование, что говорит о разрыве смесимости и его состав реализуется чередованием доменов альбита и анортита (Н. К. Кромаренко, 1975). Кристаллизация породы проходила в три этапа: 1) раннемагматический – выделение из расплава акцессорных минералов, первичного кварца и плагиоклаза, затем на 2) промежуточном этапе происходило инконгруэнтное замещение плагиоклаза и кварца с выделением калиевого полевого шпата (Рис. 1) и на финальном этапе (позднемагматическом) происходило раскисление плагиоклаза до $An_{20\text{-}25}$ с последующем его расширением (Рис. 2).

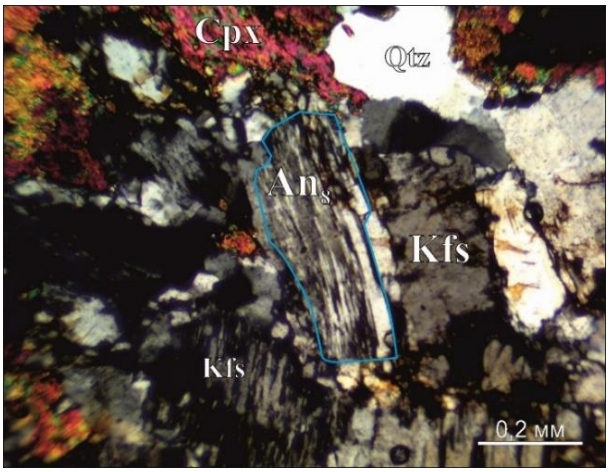


Рисунок 1. Деформированный в результате расширения кристалл кислого плагиоклаза

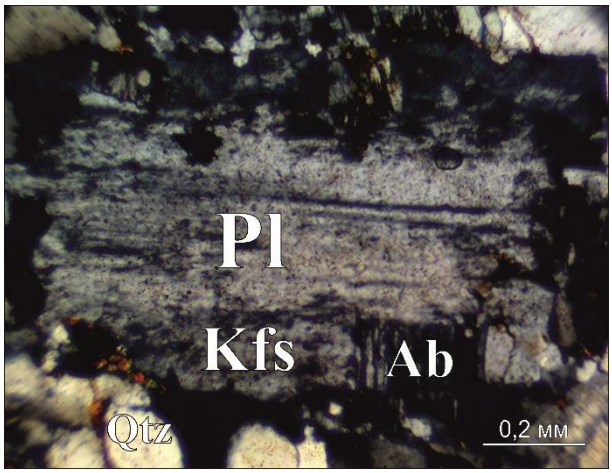


Рисунок 2. Элемент монцонитовой структуры замещения плагиоклаза КПШ

Гранитоиды руч. Ипчул имеют порфировую структуру, вкрапленники представлены раннемагматическими кварцем и плагиоклазом. В альбитизированных кристаллах

плагиоклаза наблюдается теневая зональность (Рис. 3). Выделяется отсутствие монцонитовых структур, что говорит о пересыщенности породы кремнеземом. В породе отсутствуют пертиты распада, что свидетельствует о высоком давлении воды. Кристаллизация породы также проходила в три этапа: на первой раннемагматической стадии после акцессорных минералов выделяются плагиоклаз и кварц, затем на второй, промежуточной стадии, образуются мелкие зерна кварца II-ой генерации и КПШ (Рис. 4), заполняющие интерстиции между крупными вкрапленниками, и на третьей, завершающей стадии – позднемагматическом этапе, происходит раскисление плагиоклаза до An_{20}. Данные гранитоиды соответствуют поздним рудогенным выплавкам из остаточного расплава (Силлитоу 2010). Граниты тегиртышского комплекса в структурном плане огибают гранодиориты когтахского комплекса из чего можно предположить, что граниты являются продуктом поздней дифференциации расплава из которого сформировались габбро и гранодиориты когтахского комплекса. Гранодиориты имеют средне-крупнозернистый облик, крупные изометричные зерна кварца образуют «цепочки», интерстиции между которыми заполнены таблицами плагиоклаза и КПШ. В породе присутствуют элементы монцонитовой структуры (реликтовые включения Pl в Kfs), в отличии от гранитов.

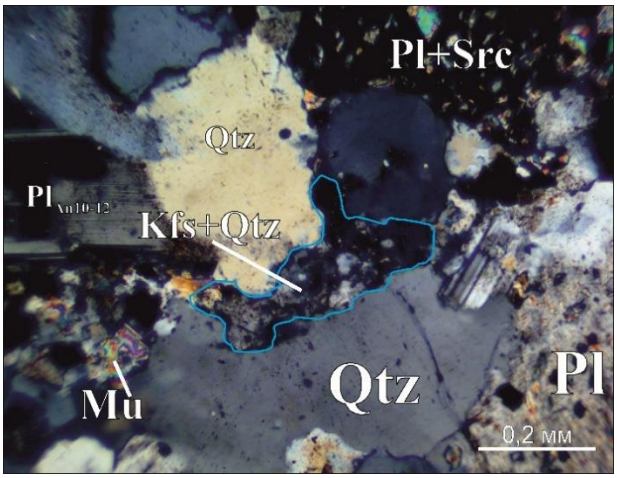


Рисунок 3. Кварц и КПШ поздней генерации без элементов монцонитовой структуры

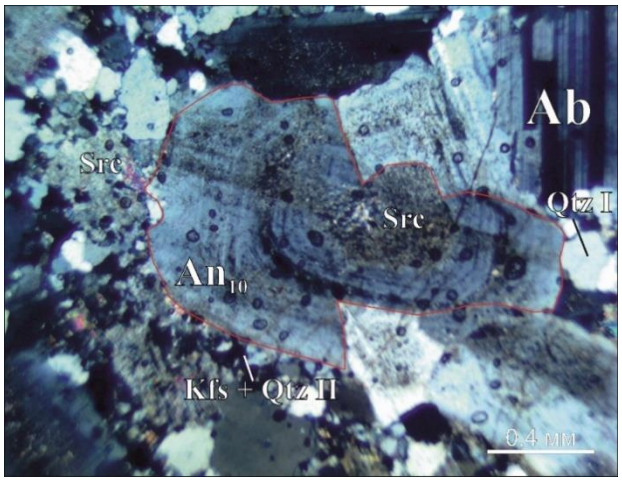


Рисунок 4. Крупные вкрапленники плагиоклаза 1-ой генерации

Для петрохимической типизации гранитоидов Ипчульского рудного узла использовались работы Б. Чаппела и А. Уайта, Б. Фроста, Дж. Пирса, А.Н. Заварицкого. Б. Чаппел и А. Уайт выделили два различных типа гранитов: граниты S-типа (sedimentary–осадочные) и I-типа (igneous–изверженные) со следующими критериями типизации: содержание Na_2O, значение индекса ASI, который вычисляется по формуле $I_{ASI}= Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$. С целью реконструкции геодинамической обстановки формирования гранитоидов Ипчульского рудного узла применены диаграммы Дж. Пирса (Pearce et al., 1984), использующие соотношения Rb-Y-Nb и Rb-Ta-Nb.

По результатам анализов методом ICP-MS было установлено, что во всех гранитах Ипчульского РУ распределение РЗЭ носит в основном нисходящий характер (Рис. 5), в свою очередь в гранодиоритах наблюдается слабое восходящее распределение РЗЭ, близкое к хондриту. Повышенное содержание HREE объясняется слабой дифференциацией расплава и (или) высокой степенью частичного плавления. В гранитоидах р. Макаровского менее выражена разница в содержании тяжелых и легких РЗЭ, отмечается их повешенное содержание относительное гранитов руч. Ипчульский.

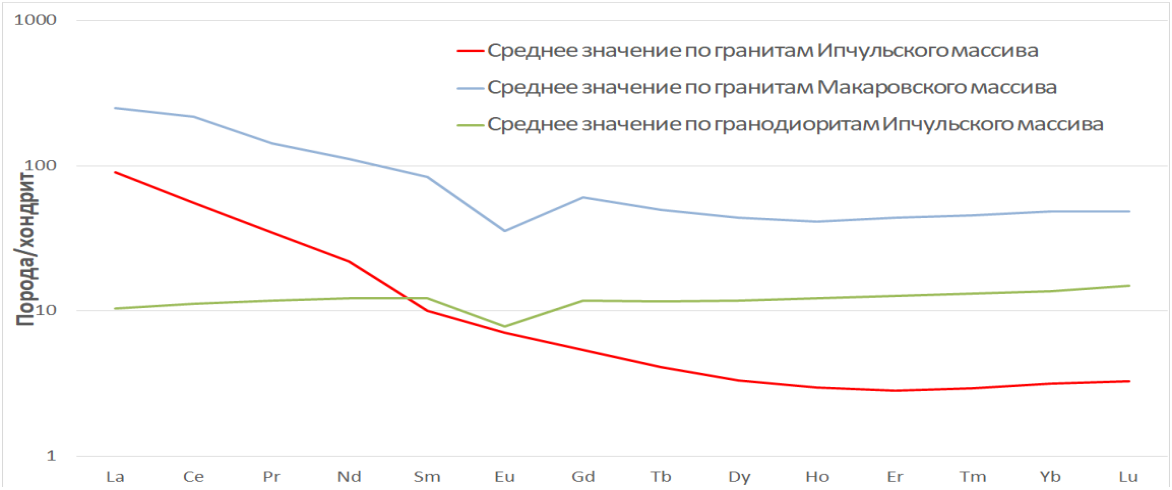


Рисунок 5. Распределение редкоземельных элементов в гранитоидах Ипчульского рудного узла, нормированные на хондрит С1 по [Sun, McDonough, 1989]

На спайдерграмме (Рис. 6) в гранитах показаны: общая отрицательная аномалия по Pb, повышенное содержание высокозарядных элементов (HFSE), эти элементы наименее подвижны при наложенных процессах (Скляров 2001). В гранитах р. Макаровский отмечается положительная аномалия по Pr и отрицательная Sr. Отмечаются незначительные различия гранитов и гранодиоритов р. Ипчульский выраженные в виде отрицательной аномалии по Th, что говорит об их происхождении из разных магматических источников.

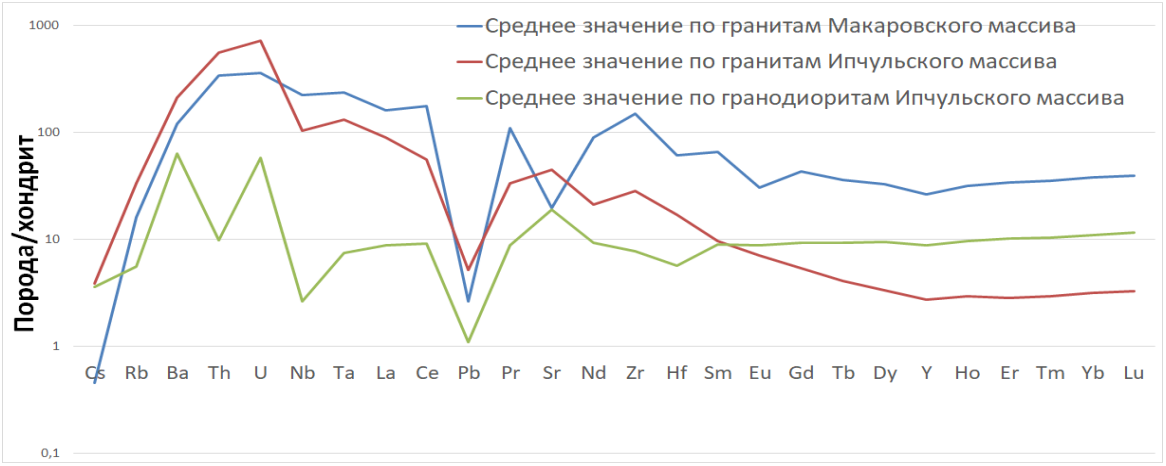


Рисунок 6. Мультиэлементная спайдер-диаграмма для гранитоидов Ипчульского рудного узла. Нормализация на хондрит по [Sun, McDonough, 1989]

По результатам анализа распределения РЗЭ в гранитоидах Ипчульского РУ сделан вывод о том, что гранитоиды Макаровского и Ипчульского участков должны быть отнесены к одному комплексу, гранодиориты и граниты Ипчульского участка являются производными одной магмы.

Выводы

Порфировидные граниты Ипчульского участка, связанные с молибденовым оруденением по ряду критериев сильно отличаются от гранитоидов р. Макаровского:

1) по структурному критерию – более крупнозернистая порода с порфировидным обликом в отличие от мелкозернистых однородных гранитов ручья Макаровский;

2) по генетическому критерию – отсутствие монцонитовых структур и пертитов распада говорит о высоком P_{H2O} (5 кбар), и, как следствие, большей насыщенности флюидным компонентом расплава, и о более низкой температуре кристаллизации Ипчульских гранитоидов по сравнению с Макаровскими;

3) по петрохимическому критерию – в Ипчульских гранитах более выражен нисходящий характер распределения РЗЭ, отсутствуют какие-либо аномалии, в отличии от Макаровских гранитов, где четко выражен минимум по Eu^{+2}.

Библиография

1. Демина Л.И., Короновский Н.В. Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. – М.: Кн. дом «Университет», 2011. – 234 с.
2. Костицин Ю.А. Накопление редких элементов в гранитах. // Природа. – 2000. №№ 1, 2. С. 23-30 (1) и С. 26-32 (2)
3. Крамаренко Н. К. Фазовый состав, пластинчатое строение и иризация плагиоклазов. Киев, Наукова думка, 1975.
4. Силлитоу Р. Меднопорфировые системы. Econ.Geology, 2010, v.105, pp.3-41
5. Скляров Е.В. Интерпритация геохимических данных. – М. Интермет Инжиниринг, 2001 – 288 с.
6. Метасоматизм и метасоматические породы. Москва: Научный мир, 1998 г. 492 с.

Редкоземельно-графитовая минерализация пикритов Ариадненского массива ультрабазитов (Приморье)

Молчанов В.П.* (ДВГИ ДВО РАН, vpmol@mail.ru),
Голич А.Н. (ДВГИ ДВО РАН, agolich@mail.ru),
Иванников С.И. (ИХ ДВО РАН, fyajkfqn@mail.ru)

Аннотация

На юге Дальнего Востока России в пределах Сихотэ-Алинского орогенного пояса выявлены металлоносные (титан, золото, платина и др.) позднемезозойские интрузии ультрабазит-базитов. Во внешнем контуре одной из них, Ариадненской установлены эксплозивные дайки брекчий щелочных пикритов, характеризующейся довольно высокой степенью углеродизации и обогащением редкоземельными элементами (РЗЭ). Суммарное содержание лантаноидов, среди которых доминируют легкие РЗЭ, положительно коррелируют с концентрациями Ba, Sr, Zr, V, Cr, Ni, Nb, Zn, а так же самородного углерода в виде графита.

Изотопно-углеродный анализ углеродистого вещества указывает на его мантийное происхождение. Предполагается, что ассоциация графита с РЗЭ, может служить в качестве индикатора при прогнозной оценке общего рудного потенциала ультраосновного магматизма.

Ключевые слова

Редкоземельные элементы, минералогия, геохимия, изотопия, пикриты

Источники финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-17-00093 (https://rscf.ru/project/23-17-00093).

Теория

В последние годы на юге Дальнего Востока России в пределах западного сегмента Сихотэ-Алинского орогенного пояса установлены углеродизированные (до 1,5-2,0 мас. %) массивы ультрабазит-базитов, аккумулирующие значительные ресурсы благородных и редких металлов [2]. Одним из модельных металлоносных объектов может послужить Ариадненский массив, в околоинтрузивной зоне которого выявлены дайки брекчий пикритов, обогащенные графитом и редкоземельными металлами.

В геологическом строении изученной площади принимают участие среднеюрские турбидиты и микститы (субдукционный меланж) аккреционной призмы с включениями позднепалеозойских и раннемезозойских океанических кремней, сланцев, известняков и базальтов. Вулканогенно-осадочные породы прорваны Ариадненской интрузией ультраосновного состава, юго-западная часть которой сложена ультраосновными породами первой фазы - перидотитами и оливиновыми пироксенитами, постепенно переходящими к центру в ильменитовые и амфиболовые габбро. На северо-востоке интрузии преобладают диориты, монцодиориты и сиениты второй фазы. Ко второй фазе отнесены также немногочисленные маломощные дайки диабазов, сиенитов, трахибазальтов и пикритов в интрузии первой фазы[2]. К юго-восточному экзоконтакту плутона приурочено несколько даек флюидоэксплозивных брекчий пикритов (с запада на восток): Малиновская, Магнитная, Карбонатитовая, послужившие предметом детальных минералого-геохимических и изотопных исследований.

Брекчии пикритов, несущие обломки вмещающих осадочных пород и ультрабазитов, представляют собой серовато-зеленоватые породы порфировой структуры и массивной

текстуры. Основная масса состоит из микролитов пироксена и вулканического стекла с вкрапленниками оливина, пироксена и рудного минерала. Изредка в основной массе пироксен проявляется в виде лейстовидных зерен, интенсивно замещаемых керсутитом, флогопитом и карбонатом. Кроме того, в породе отмечаются и прожилки вторичного кальцита, иногда рассекающие по спайности порфиробласты флогопита. Рудные минералы представлены монацитом, реже магнетитом.

Состав пикритов характеризуется довольно высокой железистостью и глиноземистостью. Это умерено-высокощелочные породы отличающиеся высокими концентрациями титана (TiO_2 до 5,0 мас. %) и кальция (CaO до 16,0 мас. %). Для пикритов типично высокие суммарные содержания (до 1600 ppm) редкоземельных элементов (РЗЭ), полого-наклонный тренд их распределения и отсутствие ярко выраженных аномалий (рис. 1а). Нормированные к хондриту графики распределения редкоземельных элементов характеризуются выдержанным обогащением легких РЗЭ (La, Ce, Pr, Nd) по отношению к тяжелым лантаноидам. На мультиэлементной диаграмме (рис. 1б) пикриты образуют единую серию с общему минимуму по K, Kf и максимуму по Th и Pb. Распределение некогерентных литофильных элементов свидетельствует об обогащении пикритовкрупноионными (Cs, Rb, Sr, Ba) литофилами и обеднении высокозарядными (Nb, Ta, Hf, Zr). Об этом же свидетельствует в целом повышенные отношения Ba/La, Ba/Nb, Rb/Y, La/Nb. В целом, содержания Ba, Sr, V, Cr, Ni, Zr в пикритах Ариадненского массива обнаруживают положительную корреляцию с суммой РЗЭ, а также концентрациями углерода в виде графита.

С целью установления природы довольно высокой углеродизации пород (содержания углерода по данным элементного анализа достигают 1-1,5 мас. %) изучено углеродистое вещество пикритов, а точнее изотопный состав углерода графита. Установлено, что углеродно-изотопные характеристики графитов сдвинуты в сторону мантийного источника [3], характеризуясь низкими значениями $\delta^{13}C$. Так, изотопный состав пикритов Малиновской дайки варьируют в интервале от -7,7 до -7,9 ‰, для Магнитной дайки от -8,3 до -8,5 ‰, а для Карбонатитовой от -9,1 до -9,4 ‰. Полученные данные по изотопии углерода графита пикритов позволяют полагать, что в формировании сингенетичной им редкоземельной минерализации принимали участие флюиды мантийного происхождения.

Для выяснения механизма формирования редкоземельно-графитовой минерализации пикритов предлагается рассмотреть модель, основанную на предположении об их первичном магматическом генезисе. О тесных связях углерода и РЗЭ в мантии свидетельствуют находки фрагментов нанопленок редкоземельных металлов на поверхности алмазов. Помимо этих пленок, там же установлено присутствие примазок первичных включений монацита [1]. Предполагается, что обогащение редкоземельными элементами пикритов связано с флюидоэксплозивными процессами, приведшими к отделению летучих компонентов, насыщенных разнообразными летучими углеродистыми соединениями (CO, CO_2, CH_4, C_2H_4, C_2H_5 и др.), азотом, водородом, и редкоземельными металлами от рудоносных флюидов. Водородно-метановый газовый режим способствовал кристаллизации редкоземельных минералов с растворенным в них углеродом в виде графита.

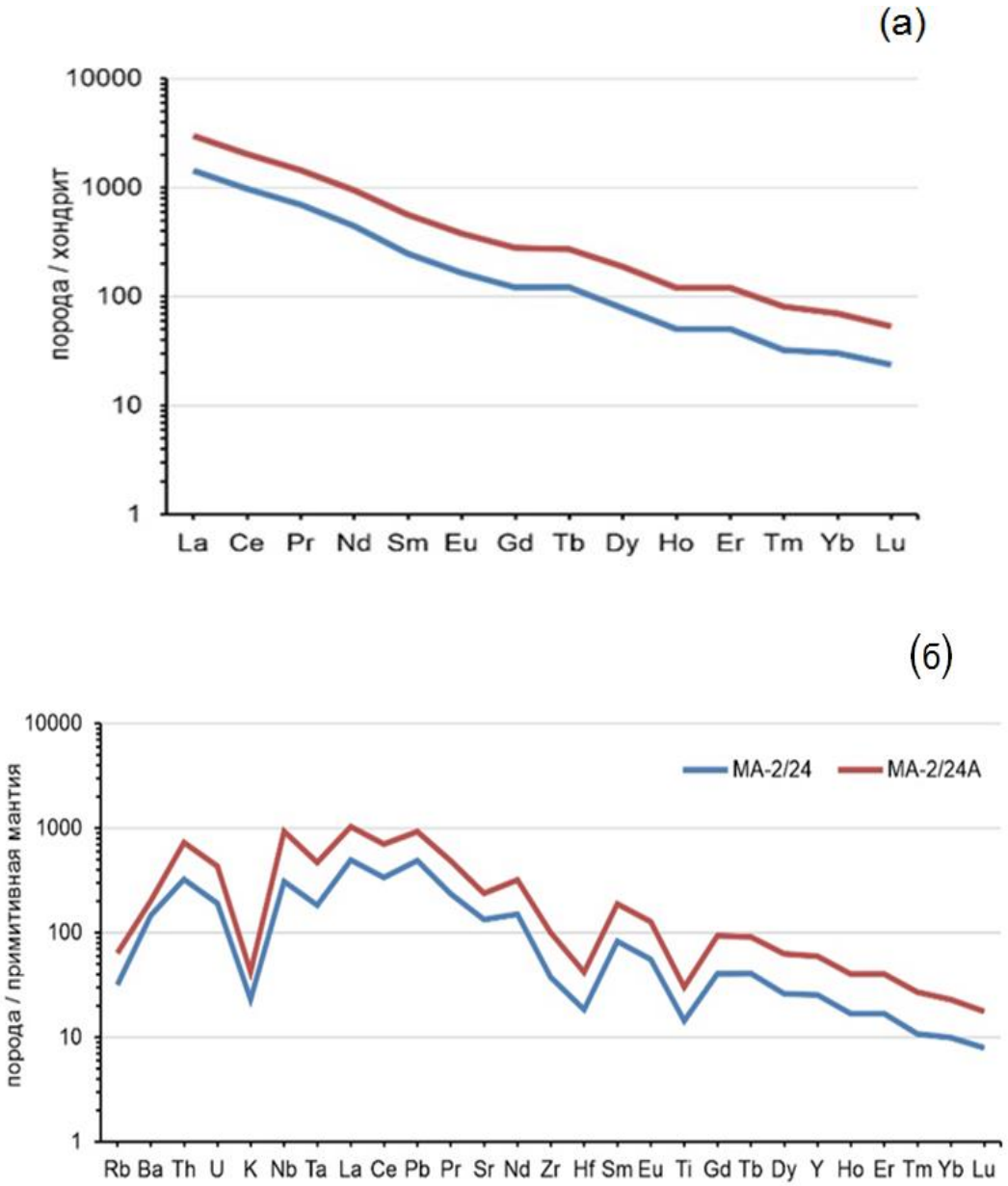


Рисунок 1 (а, б). Графики распределения редкоземельных элементов Карбонатитовой дайки (а), нормированных по хондриту, редких и рассеянных (б) – по примитивной мантии [4]

Выводы

Выполненные исследования позволили установить присутствие в дайках слюдистых пикритов Ариадненского массива ультрабазитов промышленно перспективной редкоземельно-графитовой минерализации. При этом изотопный состав графита соответствует мантийному источнику рудного вещества. Представляется, что обогащение этих пород редкоземельными элементами имеют определенное прогнозное значение при поиске рудных объектов ариадненского типа. С другой стороны, при совершенствовании технологии извлечения РЗЭ -содержащие пикриты могут сами стать в будущем доступными для промышленного освоения.

Библиография

1. Макеев А.Б., Филиппов В.Н. Металлические пленки на природных алмазах (месторождение Ичетью, Средний Тиман) // ДАН. 1999. Т. 368, № 6. С.808–812.

2. Ханчук А.И., Молчанов В.П. Рудоносность позднемезозойского Ариадненского массива ультрабазитов, базитов и гранитоидов (Сихоте-Алинский орогенный пояс) // Тихоокеанская геология. 2023. Т. 42, № 6. С. 5–19. DOI: 10.30911/0207-4028-2023-42-6-5-19.

3. Luque F., Crespo Feo, E., Barrenechea, J., Ortega L. Carbon isotopes of graphite: Implications on fluid history // Geoscience Frontiers. 2012. No 3. P. 197-207.

4. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geological Society, London, Special Publications. 1989. V. 42, № 1. P. 313-345.

Происхождение поднятия Крозе (Индийский океан) по данным изучения минералогических и геохимических особенностей вулканитов острова Поссесьон

Сущевская Н.М.* (ГЕОХИ РАН, nadsus@gmail.com),
Шишкина Т.А. (ГЕОХИ РАН, t.shishkina@geokhi.ru),
Щербаков В.Д. (МГУ им. М.В. Ломоносова, vasiliy7@gmail.com)

Аннотация

Использование современных методов исследования составов минералов и пород острова Поссесьон, включая изотопную геохимию, позволило установить особенности формирования подводного поднятия Крозе, расположенного в западной части Индийского океана, а также выявить специфику кристаллизации магм в условиях сформированной океанической коры. Установлено, что образование восточной части поднятия Крозе происходило под влиянием горячей точки Крозе-Марион, которую можно рассматривать как сателитную от крупного Африканского плюма, существенно повлиявшего на всю историю Южного океана.

Ключевые слова

Океанические острова, горячие точки, оливин, клинопироксен, источники магм

Источники финансирования

Работа выполнена по Госзаданию ГЕОХИ РАН.

Теория

Установление петрологических и геохимических характеристик подводных поднятий, связанных с присутствием горячих точек, расположенных в западной части Индийского океана (Крозе, Конрад, Афанасия Никитина), важны для понимания процессов образования океанической литосферы в этом регионе. Начало их формирования происходило 89-50 млн лет назад вблизи спрединговых зон при неоднократных перемещениях рифтовых зон и при воздействии глубинных плюмов или горячих точек.

Поднятие Крозе, состоящее из нескольких вулканических построек (Пиг, Пингвин, Восточный, Поссесьон и др.), расположено в юго-западной части Индийского океана, в 200-300 км к югу от Юго-Западного Индийского хребта (ЮЗИХ). Нами были исследованы новые образцы лав острова Поссесьон, слагающие вулканическую постройку в западной части плато с возрастом около 9 млн лет. Цель данной работы: в результате комплексных петролого-геохимических исследований выявить источники и условия происхождения вулканических пород, слагающих остров, а также показать взаимосвязь данной постройки с расположенными вблизи южной части Африки поднятиями, что важно для истории развития западной части Индийского океана.

Выбранный для исследования наименее измененный образец представляет собой оливин-клинопироксен-порфировый базальт, содержание вкрапленников в котором достигает 20%. Вкрапленники оливина (~35%) и клинопироксена (~60%) представлены субидиоморфными зернами размером до 0.5 мм, а шпинели (~5%) размером до 200 мкм. Вкрапленники в основном встречаются в виде отдельных кристаллов, но наблюдаются и сростки. Основная масса базальта сложена микролитами клинопироксена, плагиоклаза, оливина и магнетита. Содержание главных компонентов в изученном образце в масс% следующее: 42.04 SiO_2, 3.34 TiO_2, 11.81 Al_2O_3, 0.196 MnO, 12.99 FeO-t, 10.68 MgO, 12.07 CaO, 2.97 Na_2O, 1.29 K_2O, 0.67 P_2O_5, п.п.п. - 0.30. По классификации TAS эту породу можно отнести

к базанитам. Этот состав является типичным для вулканитов, изученных на островах поднятия Крозе, которые имеют субщелочную специфику (Breton et al., 2013; Meyzen et al., 2016).

В работе использовался комплекс современных высокоточных аналитических методов для определения составов минералов и пород: 1) сканирующий электронный микроскоп с полевым катодом (FEG SEM) TESCAN (ГЕОХИ РАН, аналитик К.Лоренц), 2) микроанализатор Jeol JXA-8230, (геологический факультет МГУ), 3) LA-ICP-MS (лазерная абляция с масс спектрометрией индуктивно-связанной плазмы на лазерной установке LSX-213 G2+ и масс-спектрометре высокого разрешения Element XR, ГЕОХИ РАН, аналитик М.О.Аносова), 4) многоколлекторный твердофазный масс-спектрометр TRITON (Thermo Scientific) в статическом режиме регистрации масс-спектров (Центр изотопных исследований ФГБУ «ВСЕГЕИ», С.-Петербург)/

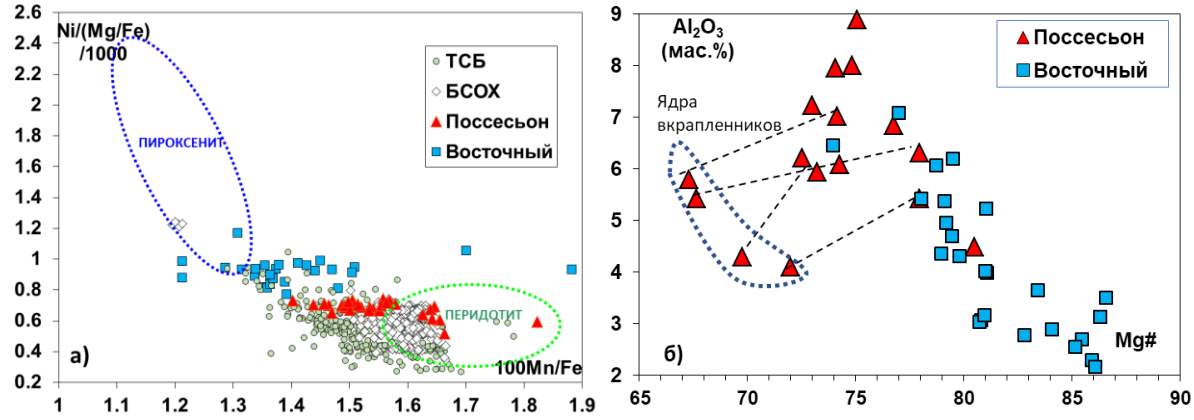


Рисунок 1. Вариации составов вкрапленников оливина (а) и клинопироксена (б) в базальтах о.Поссесьон в сравнении с другими объектами (базальты срединно-океанических хребтов (БСОХ, Sobolev et al., 2007), тройного сочленения Буве (ТСБ, Мигдисова и др., 2017), острова Восточный (Meyzen et al., 2016)

Вкрапленники оливина в лавах о.Поссесьон незональны, часто содержат включения хромшпинелида и имеют магнезиальность в диапазоне Fo_{75-85}, что пересекается с диапазоном составов оливина из вулканитов о. Восточный (Meyzen et al., 2016). Содержание Ni в оливинах о.Поссесьон закономерно варьирует с магнезиальностью и достигает около 2000 ppm NiO в наиболее магнезиальных разностях. При этом содержания Ni в оливинах о.Восточный выше, при одинаковой магнезиальности. На графике в координатах 100*Mn/Fe –Ni/Mg/Fe/1000 (рис. 1а) нанесены составы оливина в равновесии с перидотитовой и пироксенитовой мантией в соответствии с моделью Sobolev et al. (2007). Можно отметить, что составы оливина из лав о. Поссесьон и о. Восточный лежат на промежуточном тренде расплавов, образующихся из смеси плавящихся перидотитового и пироксенитового источников. Для о. Поссесьон этот тренд более сдвинут в сторону типично океанической мантии по сравнению с оливинами, формирующими о. Восточный.

Вкрапленники клинопироксена (Cpx) являются преобладающей фазой для лав о.Поссесьон. Важной особенностью является наличие обратной зональности в некоторых крупных вкрапленниках клинопироксена: когда более железистые ядра ($Mg\#_{68-72}$) могут быть окружены более магнезиальной каймой ($Mg\#_{80-75}$) (Рис.1б). В то же время часть вкрапленников клинопироксена незональна, и имеет магнезиальность в диапазоне $Mg\#_{80-75}$. Более железистые ядра Cpx отличаются пониженными концентрациями Al_2O_3, TiO_2, и повышенными Na_2O. Формы спектров распределения литофильных элементов в ядрах и каймах клинопироксенов близки. Более железистые ядра Cpx несколько обогащены Yb, Zr, Nb, Ta, Hf и обеднены Ti,

Ni, Sc по сравнению с более магнезиальными разностями. Наличие зональных вкрапленников клинопироксена свидетельствует о смешении различных порций магмы, возможно прошедших фракционирование на разных глубинах, при этом имеющих геохимически сходный источник.

Условия кристаллизации магм о.Поссесьон были определены с использованием ряда моделей. Температура равновесия оливин-шпинель, определенная по модели Coogan et al. (2014), варьирует в диапазоне 1200–1400°C. Моделирование кристаллизации родоночального расплава при помощи алгоритма MELTS (v. 1.0.0) показало, что кристаллизация раннего парагенезиса вкрапленников (оливин Fo_{83} – клинопироксен $Mg\#_{82}$) могла происходить в диапазоне давления 8-10 кбар и температуре 1300-1310°C.

Особое значение для классификации магматизма горячих точек имеет исследование геохимических, в том числе, изотопных характеристик пород. Установленные высокие значения Gd/Yb - 5.5 в лавах о.Поссесьон, отражают присутствие граната в плавящемся источнике в отличие от низких значений Gd/Yb, типичных для современных деплетированных толеитов ЮЗИХ, отражающих условия их выплавления в пределах шпинелевой фации перидотитовой мантии (Kamenetsky, Maas, 2002) (рис.2а).

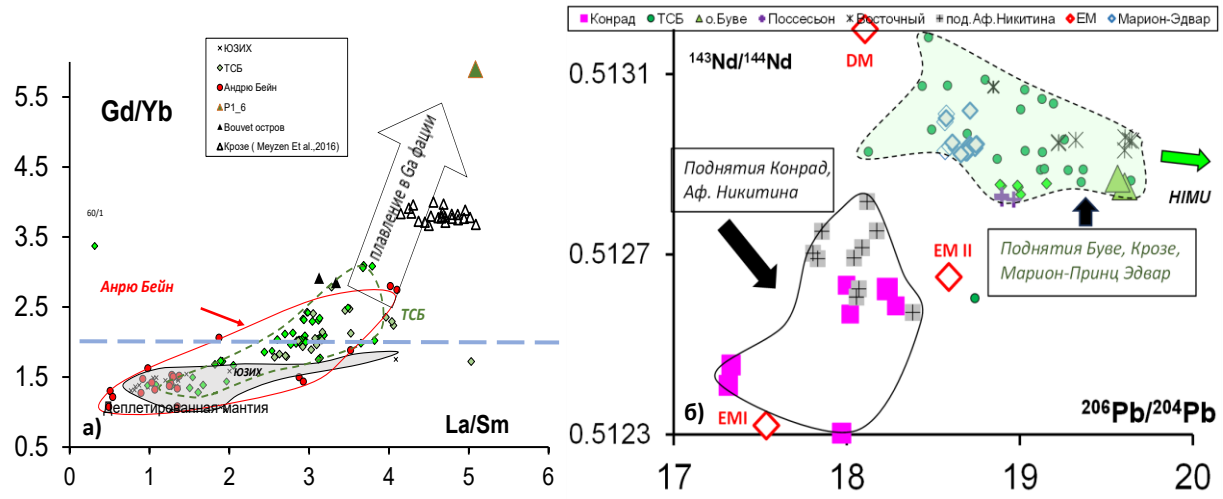


Рисунок 2. Геохимическая характеристика базальтов о. Поссесьон. а) La/Sm – Gd/Yb зависимости в магмах, производных плавления мантии в пределах (Sp) и (Ga) фаций глубинности; б) изотопные различия в характере обогащенного источника, включенного в процесс образования магм горячих точек западной части Индийского океана

По изотопным данным Nd, Sr, Pb поднятий западной части Индийского океана и южной Атлантики выделяется две области составов, крайние члены которых связаны с разными обогащенными компонентами (рис 2б). Одна область – это поднятия Буве, Крозе, Марион, а другая - поднятия Конрад, Аф. Никитина. Первые связаны с обогащенным модельным компонентом HIMU, вторые с – обогащенным источником типа EM-I.И в том и другом случае возможна примесь источников с обогащенными характеристиками EM (Сущевская и др., 2024). Образование поднятий происходило под влиянием Африканского суперплюма, начиная с мезозойского времени, когда он проявился в виде плюма Кару-Мод, приведшего к расколу Гондваны около 183 млн лет назад (Сущевская и др., 2024), а в дальнейшем соучаствовал в формировании горячих точек южной Атлантики и западной части Индийского океана. Обогащенный источник поднятия Крозе тяготеет к модельному источнику типа HIMU (с

высокими первичными отношениями U/Pb, U/Th), который отражает, главным образом, древнюю континентальную Гондванскую мантию.

Выводы

Наблюдаемая в лавах о.Поссесьон ассоциация вкрапленников оливин–клинопироксен-шпинель отражает более глубинные условия кристаллизации, по сравнению с типичными океаническими магмами, где распространена ассоциация оливин-плагиоклаз-клинопироксен. Фракционирование расплавов могло происходить в результате внедрения разных порций магмы при давлениях 8-10 кбар и температуре 1200 -1400°С, что подтверждает утолщенную литосферу во время формирования вулканической постройки.

Образование восточной части поднятия Крозе происходило под влиянием горячей точки Крозе-Марион, которую можно рассматривать как сателитную от крупного Африканского плюма, существенно повлиявшего на всю историю Южного океана. Сравнение геохимических особенностей магматизма, формирующих эти поднятия, показало большую гетерогенность обогащенных источников, проявленных в магмах поднятия Конрад по сравнению с Крозе, обогащенный источник которого близок к базальтам о. Буве и ТСБ. Геохимические характеристики обогащенных источников, включая данные по изотопам Sr, Nd, Pb с примесью компонента типа HIMU.

Библиография

1. Мигдисова и др. (2017) Мантийная гетерогенность в районе тройного сочленения Буве по составам оливиновых вкрапленников. *Геология и геофизика*, **58**, (11),1633—1648.

2. Сущевская и др. (2024) Формироапние океанической коры в пределах района рахломной зоны Эндрю-Бейн Юго-Западного Индийского хребта (по данным петролого-геохимического изучения) Геохимия,**69**, (1), 3-23.

3. Breton, T., Pichat, S., Moine, B., Moreira, M., Rose-Koga, E. F., Auclair, D., Bosq, C. & Wavrant, L.-M. (2013). Geochemical heterogeneities within the Crozet hotspot. Earth and Planetary Science Letters 376, 126–136.

4. Kamenetsky, Maas (2002). Mantle–melt evolution (dynamic source) in the origin of a single MORB suite: a perspective from magnesian glasses of Macquarie Island, *J. Petrol*. **43** (10), 1909–1922

5. Meyzen Christine Marie, et al.(2016) Magmatic Activity on a Motionless Plate: the Case of East Island, Crozet Archipelago (Indian Ocean) J. of Petrology **57**, (7), 1409–1436.

6. Sobolev et al.(2007) The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts. *Science.* 316, 412

Элементы-примеси в кристаллах касситерита месторождений олово-грейзенового промышленного типа

Чижова И.А.*. (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), tchijova@igem.ru), Петроченков Д.А. (МГРИ, p-d-a@mail.ru)

Аннотация

Установлены содержания, особенности распределения, корреляционные связи элементов-примесей в кристаллах касситерита оловорудных месторождений олово-грейзенового промышленного типа. Определена роль элементов в прозрачности и цвете касситерита.

Ключевые слова

Месторождения олова, касситерит, элементы-примеси, прозрачность и цвет кристаллов

Теория

Олово-грейзеновый промышленный тип месторождений достаточно широко распространен и успешно отрабатывается в различных регионах мира, включая Россию [1 – 3]. Месторождения размещены в мио- и эвгеосинклинальных складчатых системах мезозоид (север-восток и юго-восток Азии, Восточное Забайкалье), герценит (Средняя Азия, Казахстан и др.), реже – каледонид, байкалид, а также на срединных массивах, подвергшиеся тектоно-магматической активизации (Буриинский, Кокчетавский, Чешский массивы и др.). Грейзеновое оруденение возникает в процессе метасоматической переработки гранитов или сходных по составу пород – гранито-гнейсов, кристаллических сланцев, полимиктовых песчаников. Минеральный состав грейзенов разнообразен. Касситерит ассоциирует с кварцем, мусковитом иногда с топазом, флюоритом, турмалином, хлоритом, сидерофиллитом, цинвальдитом, лепидолитом. Из рудных минералов характерны касситерит, вольфрамит, станнин, берилл, встречаются молибденит, пирит, арсенопирит, леллингит, висмутин, халькопирит, сфалерит, реже – галенит.

В 10 кристаллах касситерита из месторождений олово-грейзенового типа Тигриное (Приморский край), Правоурмийское (Хабаровский край), Циновец, Крупка (Республика Чехия) размером от 5 до 24 мм методом ЛА-ИСП-МС установлены элементы-примеси. Аналитические исследования проведены с использованием научного оборудования ЦКП «Исследовательский химико-аналитический центр НИЦ «Курчатовский институт».

В кристаллах установлено 18 элементов–примесей с содержанием выше 1 мг/кг. Элементы Al, Cr, Mn, Ga, As, Ag, Pb, Bi, U фиксировались в отдельных измерениях с содержаниями преимущественно ниже 10 мг/кг и связаны с редкими микровключениями. Устойчивые повышенные содержания, превышающие 10 мг/кг, установлены для Sc, Ti, V, Fe, Zr, Nb, Hf, Ta, W (таблица). Содержания этих элементов обработаны математическими методами.

Относительно высокие содержания характерны для Ti, Fe, Zi, Nb, W; более низкие для Sc, V, Hf и Ta. При этом в отдельных кристаллах месторождений могут быть содержания как существенно более высокие, так и более низкие. Средние значения содержаний элементов в касситерите различных месторождений могут существенно различаться: Sc в 65, V в 44, Fe в 5, Nb в 14, Hf в 32, Ta в 130, W в 10 раз. Наиболее устойчивые содержания характерны для Ti и Zr, которые отличаются в 2 раза. Колебания содержаний элементов отражаются коэффициентами вариации: для Sc, V, Nb, Hf, Ta, W от 112 до 198%, для Ti и Zr от 42 до 45%. Для большинства элементов Sc, Ti, V, Nb, Hf, Ta и W распределение содержаний не

подчиняется нормальному закону. Нормальный закон распределения содержаний установлен только для Fe и Zr.

Таблица 1. Содержания элементов-примесей в кристаллах касситерита месторождений олово-грейзенового типа

Месторождение	Содержание элемента, мг/кг								
	Sc	Ti	V	Fe	Zr	Nb	Hf	Ta	W
Тигриное	652	1532	18	986	258	276	127	130	79
Правоурмийское	10	797	41	185	114	68	24	8	787
Циновец	17	1100	175	328	133	209	3	1	393
Крупка	13	1054	4	426	186	158	12	5	164

Установлены коррляционные связи: Sc положительные с Ti, V, Fe, Zr, Hf, Ta; Ti – положительные с Sc, Fe, Zr, Nb, Ta; V – положительные с Sc, отрицательные с Nb; Fe – положительные с Sc, Ti, Zr, Nb, Hf, Ta, отрицательные с V и W; Zr – положительные с Ti, Fe, Nb, Hf, Ta; Nb – положительные с Ti, Zr, Hf, Ta, W – отрицательные с V; Hf – положительные с Sc, Fe, Zr, Nb, Ta, W; Ta – положительные с Sc, Ti, Fe, Zr, Nb, Hf, W; W – положительные с Nb, Hf, Ta – отрицательные с Fe.

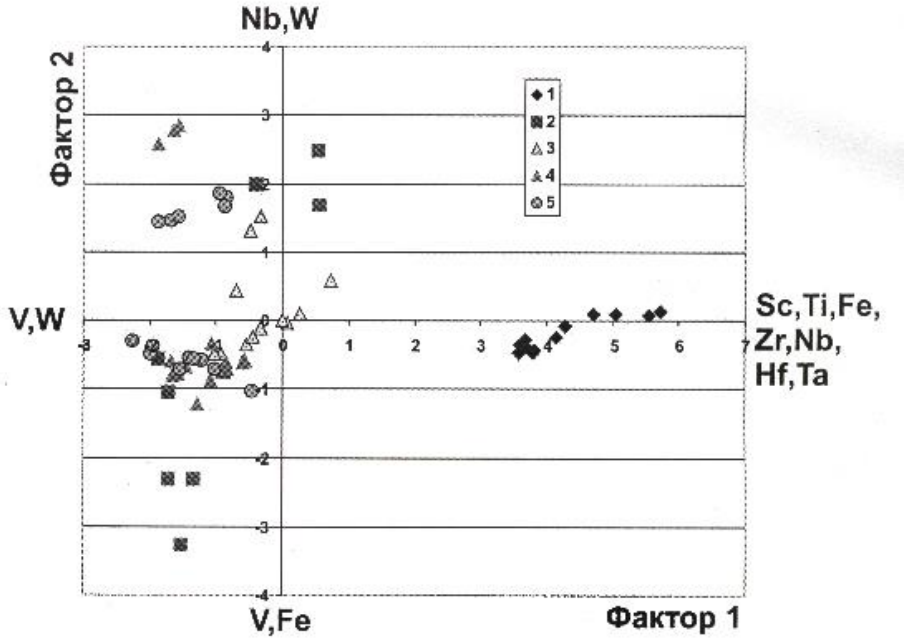
Сильные положительные корреляционные связи элементов могут свидетельствовать о нахождении их в одном минеральном включении; в разных минеральных включениях с близкими физико-химическими условиями кристаллизации одного этапа рудообразования; одновременном вхождении в структуру касситерита. Отрицательные корреляционные связи указывают на элементы-антагонисты.

Для касситерита в месторождениях олово-грейзенового типа фиксируется большое разнообразие корреляционных связей элементов, которые могут существенно различаться: в одних кристаллах могут быть положительными, в других отрицательными. Корреляционные связи в касситерите всех месторождений немногочислены: установлены положительные для Sc и Fe, Zr и Hf. Можно предположить, что Sc, Ti, Zr, Hf преимущественно входят в структуру касситерита; V – преимущественно в минеральные включения, а в кристаллах месторождений Тигриное, Правоурмийское (1) в структуру; Fe преимущественно входит в структуру касситерита (месторождения Тигриное, Циновец, Крупка, Правоурмийское (1)), в минеральные включения и в структуру (Правоурмийское (2)); Nb – преимущественно входит в минеральные включения, а в кристаллах месторождений Тигриное, Крупка в структуру; Ta, W – преимущественно входят в минеральные включения, а в месторождении Тигриное в структуру касситерита.

Факторы, определяющие прозрачность и цвет кристаллов касситерита, были изучены в работе [4]. В настоящей работе проведена оценка влияния элементов-примесей на эти характеристики.

Для выявления взаимосвязей между значениями содержаний элементов-примесей использовался факторный анализ, который позволил получить основные факторы, описывающие изменчивость выборки.

В один фактор объединяются сильно коррелирующие между собой переменные. В нашем случае получено2 фактора, описывающих суммарно 71% изменчивости. На рисунке четко видно, что месторождение Тигриное (1) существенно отличается от остальных. Для него характерны более высокие значения Sc, Ti, Fe, Zr, Nb, Hf, Ta, концентрирующиеся в правой части рисунка, и низкие V, W.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фактор 1 (54.8%)	Sc	Ti	V	Fe	Zr	Nb	Hf	Ta	W
	0.95	0.70	-0.21	0.87	0.86	0.57	0.89	0.91	-0.24

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фактор 2 (16.3%)	Sc	Ti	V	Fe	Zr	Nb	Hf	Ta	W
	-0.09	-0.04	-0.54	-0.29	0.20	0.61	-0.07	-0.01	0.81

Рисунок 1. Положение кристаллов касситерита месторождений грейзенового промышленного типа в пространстве факторов 1 и 2. Месторождения: 1 – Тигриное (12), 2 – Циновец (9), 3 – Крупка (12), 4 – Правоурминское 1 (15), 5 – Правоурминское 2 (15). В скобках указано число измерений в выборке

В непрозрачных зонах сумма элементов в 2 раза выше, чем в прозрачных, а сумма Fe и W более чем в 4 раза. При этом Fe в непрозрачных зонах выше в 1.5 раза, в то время как W в 33, что указывает на его ведущую роль. Содержания Ti, при высоких значениях, отличаются незначительно (в 1.2 раза). Содержания Sc, V, Hf, Ta невысокие, при этом содержания V в среднем в 3 раза выше в прозрачных зонах. Содержания Zr и Nb при относительно-высоких содержаниях выше в непрозрачных зонах в 1.6 и 2 раза соответственно. Таким образом, ведущую роль на прозрачность кристаллов оказывает W, при высоких содержаниях определенную роль играют Fe, Zr, Nb, Ta и не оказывают заметного влияния Sc, Ti, V, Hf.

В кристаллах касситерита месторождений олова грейзенового типа выделены зоны: черные непрозрачные, серые прозрачные, коричневые непрозрачные и оранжевые прозрачные. Распределение элементов в черных и серых зонах аналогично их распределению в прозрачных и непрозрачных зонах. Сумма элементов в черных зонах в 2.3 раза выше, чем в серых, а сумма Fe и W в 5.8 раза. При этом содержание Fe в серых зонах в 2.5 раза выше, чем в черных, а W наоборот в 55 раз выше в черных при высоких значениях. Содержания Sc, Ti, Zr, Hf близки. Содержания Nb в 8.5 раз выше в черных зонах, V наоборот в 3,4 раза в серых. Содержания Ta низкие при широком диапазоне значений. Насыщенность серого цвета определяется преимущественно содержаниями W. В коричневых зонах по сравнению с черными резко (в 8 раз) возрастают содержания Fe и снижается W (в 11 раз). Возрастают также содержания Ta (в 13 раз), но при низких содержаниях. Остальные элементы, а также их сумма, и сумма Fe, W остаются близкими. Ведущую роль в коричневом цвете играет Fe.

В оранжевых зонах снижается по сравнению с коричневыми сумма содержания элементов, Fe и W, что увеличивает прозрачность кристалла. Остаются высокими содержания Fe (501 мг/кг) и низкими W (12 мг/кг). Также снижается содержание других элементов и особенно Ta (в 65 раз). Таким образом, подтверждается ранее сделанный вывод [4] о ведущей роли Fe в красных оттенках касситерита.

Выводы

В касситерите месторождений олово-грейзенового типа установлено 18 элементов-примесей, содержания которых существенно различаются в различных кристаллах, что обусловлено физико-химическими условиями их роста. Характерными элементами являются Sc, Ti, V, Fe, Zr, Nb, Hf, Ta, W. Установлены корреляционные связи элементов, которые могут существенно отличаться в кристаллах различных месторождений. Прозрачность кристаллов определяется преимущественно W, при высоких содержаниях заметную роль оказывают Fe, Nb, Ta. Черный цвет определяется W, а красный Fe.

Библиография

1. Геология оловорудных месторождений СССР/ под ред. С.Ф. Лугова – Т.2. Оловорудные месторождения СССР. Кн. 1. – М.: Недра. 1986. – 249 с.
2. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации / Под ред. Е.И. Петрова. – М.: Роснедра. – 2021. – 586с.
3. Макеев Б.В., Политов В.К. Оловорудные месторождения зарубежных стран / Итоги науки и техники. – М.: ВИНИТИ. Сер. Рудные месторождения. 1991. – Т.23. – 192 с.
4. Петроченков Д.А. Коллекционные и ювелирные касситериты. М.: Горная книга. 2019 – 280с.

Минералого-геохимические особенности нефелина и астрофиллита из Хибино-Ловозёрского (Кольский полуостров) и Октябрьского (Восточное Приазовье) щелочных комплексов

Никитин Е. К.* (МГРИ, kanonenfutteri@yandex.ru),
Должанская Т.Ю. (МГРИ, dolzhanskaiati@mgri.ru)

Аннотация

Исследование посвящено типоморфным и геохимическим различиям нефелинов и астрофиллитов Хибино-Ловозёрского и Октябрьского щелочных массивов из коллекций Минералогического музея МГРИ.

Ключевые слова

Хибино-Ловоозёрский комплекс, Октябрьский массив, нефелин, астрофиллит

Теория

1. В коллекции Минералогического музея МГРИ представлено большое количество образцов из уникальнейших щелочных комплексов Кольского полуострова и Восточного Приазовья, из крупных щелочных массивов Сибири, Южной Гренландии, Памира. Нужно отметить, что метаморфические комплексы и щелочные массивы Кольского полуострова и Приазовья - традиционные регионы научного интереса сотрудников кафедры минералогии и Минералогического музея МГРИ, где детальные геолого-съёмочные и минералого-геохимические работы проводились более полувека (до середины 1990-х гг.). Прекрасные музейные коллекции позволяют сравнить особенности минерального состава щелочных пород и пегматитов разных комплексов, исследовать геохимические параметры минералов.

2. Хибино-Ловозёрский щелочной комплекс представляет собой один из сложных многофазных интрузий центрального типа. Он расположен в архейско-протерозойских метаморфических породах, и приурочен к зоне главного поперечного разлома Кольского полуострова. Причины формирования такого сложно построенного комплекса и этапы становления Хибинского и Ловозёрского массивов различными исследователями представляется по-разному, однако, всеми признается, что их характерной особенностью является кольцевое (в плане) строение. Комплексы пород, слагающие массивы, образуют как бы сложенные друг в друга дуги, открытые к востоку. Основная площадь массивов занята фойяитами (в центре) и хибинитами (по периферии), между которыми расположены породы так называемой “центральной дуги”: уртиты, луявриты, рисчорриты и другие разновидности; кроме интрузивных серий, в районе распространены нефелинсодержащие пегматиты [2, 3]. Все типы щелочных пород и пегматитов в числе главных породообразующих минералов содержат нефелин.

3. Октябрьский щелочной массив расположен в восточной части Приазовского мегаблока, сложенной породами гнейсово-магматитового комплекса с редкими пластовыми телами амфиболитов. Породы этого комплекса прорваны протерозойскими габбро-перидотитами и щелочными гранитами. Распространение гранитов контролируется региональными зонами разломов, с ними же связано развитие граносиенитовых массивов – Кальчикского, Кальмиусского, Еланчиикского и др. В северной части Кальчикского плутона располагается Октябрьский щелочной массив. В его геологическом строении участвуют следующие комплексы: основные и ультраосновные породы, щелочные граниты и граносиениты, щелочные сиениты, комплекс ультращелочных пород и щелочные пегматиты [5].

Все типы щелочных пород и пегматитов и Кольских, и Приазовских массивов, в числе главных породообразующих минералов, содержат нефелин, полевые шпаты, щелочные пироксены, биотит, и обильное количество разнообразных акцессорных и рудных минералов редких и редкоземельных металлов, среди которых - астрофиллит.

4. Нефелин относится к группе минералов, химический состав и внешние параметры которых могут меняться в зависимости от условий образования (рис.1.).

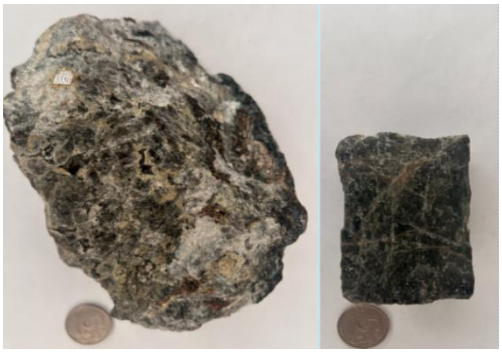


Рисунок 1. Щелочные пегматиты с нефелином: а) Хибинского массива, в ассоциации с апатитом и б) Октябрьского массива. Обр. из коллекции Минералогического музея МГРИ. Фото Никитин, 2025

Нефелин из Хибинского и Октябрьского массивов исследовался оптически и геохимически. Данные анализа содержания петрогенных элементов в нефелинах, позволяют сделать вывод, что образцы нефелинов Хибинского массива и Октябрьского массивов отличаются типохимизмом петрогенных компонентов: в различных типах щелочных пород различные количества алюминия и калия (табл.1, рис.2). Но в близких по составу нефелиновых сиенитах и пегматитах, как Хибинского, так и Октябрьского массива достаточно высокие показатели и глинозёма, и калия, причём почти равные.

Таблица 1. Средние содержания петрогенных химических элементов в нефелинах Хибинского и Октябрьского массивов (ppm)

	Хибины 1 (с апатитом)	Хибины 2	Приазовье
Al	68015	119603	119080
K	88925	8630	13430

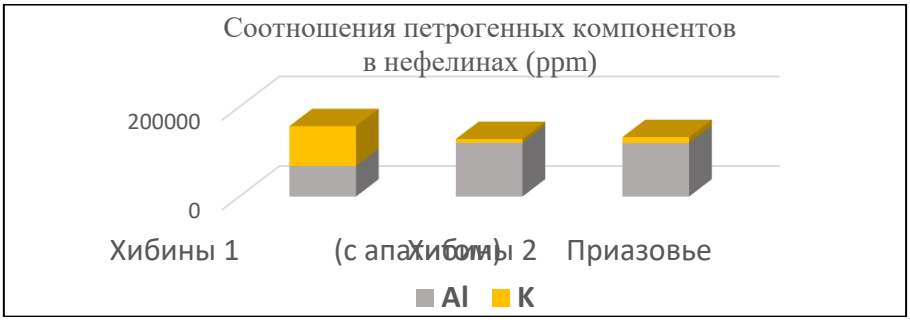


Рисунок 2. Средние содержания петрогенных химических элементов в нефелинах Хибинского и Октябрьского массивов (ppm) (по данным талб.1)

Существенное различие наблюдается в содержании алюминия и калия в нефелине апатит-нефелиновых ассоциаций рудных зон Хибинского месторождения [1]. Видимо, здесь происходит изоморфизм по схеме Si^{4+} на K^{1+}+(Al или Fe)$^{3+}$. В этих образцах нефелина выше количество калия, железа и стронция, чем в нефелине из нефелиновых сиенитах. По данным О.Ф. Гойчук и её коллег нефелины из пород и пегматитов Хибинского массива по своему химическому составу отчетливо делятся на две группы: нефелины нефелиновых сиенитов и нефелины мельтейгит-уртитов и апатито-нефелиновых пород и рисчорритов [2].

5. Астрофиллит двух рассмотренных массивов (рис.3.) имеет общепринятую формулу $(K,Na)_3(Fe,Mn)_7Ti_2[Si_4O_{12}]_2(O,OH,F)_7$ [4]. Исходя из полученных нами данных (РФА, МГРИ, 2025) в 2-х пробах минерал является нормально железистым астрофиллитом (не куплетскитом), так как повышенного значения марганца не выявлено (табл.2, рис.4).

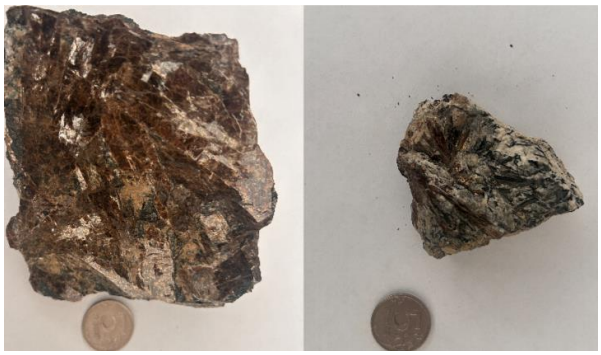


Рисунок 3. Астрофиллит: а) Хибинского массива и б) Октябрьского массива. Обр. из коллекции Минералогического музея МГРИ. Фото Никитин, 2025

Таблица 2. Средние содержания типоморфных химических элементов в астрофиллитах Хибинского и Октябрьского массивов (ppm)

	Al	Ti	Mn	Fe	Sr	Zr	Ba
Хибины (11)	12995	45333	34500	138501	791	3062	3368
Хибины (№3110)	6995	124338	18797	21562	64040	256	177879
Приазовье (14)	22099	31229	20981	88296	468	1589	2757

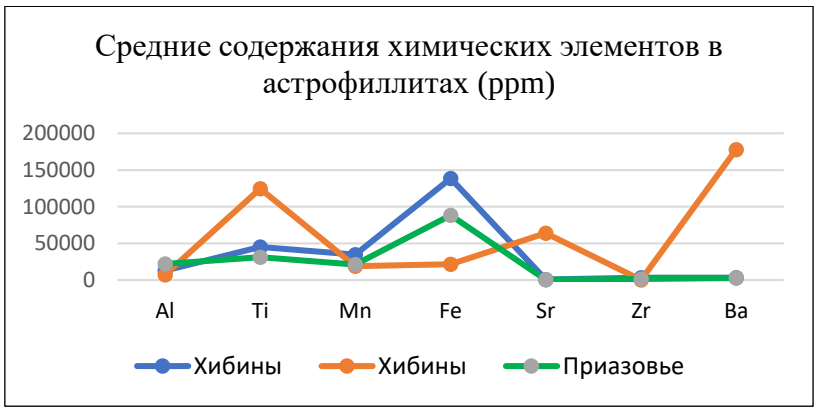


Рисунок 4. Средние содержания типоморфных химических элементов в астрофиллитах Хибинского и Октябрьского массивов (ppm) (по данным табл.2)

Высокожелезистые астрофиллиты характерны для щелочных гранитов [1]; в астрофиллитах из нефелиновых сиенитов и пегматитов отношение Fe/Mn изменяется в широких пределах, но не превышает 5-10. Соотношения Fe/Mn для проб астрофиллитов из Хибинского и Октябрьского массивов идентичны и составляют около 4.

6. Нашими исследованиями установлено безусловное совпадение количеств Ti, Sr и Zr (до сотен тысяч ppm) в астрофиллите из Хибин и Восточного Приазовья (табл.1). По данным Т.А. Яковлевской [4] Хибинский астрофиллит заметно обогащен Th, и обладает минимальными количествами SrO, BaO, ZrO_2 и Nb_2O_3. Обращают на себя внимание пробы высокобариевого астрофиллита. Эта разность минерала, кроме бария (до 177-180 тыс.ppm), обладает высокими содержаниями стронция и титана. Необходимо отметить, что подобные высокобариевые разности минерала лампрофиллита были не так давно выявлены в щелочных породах Хибинского массива и других массивах Кольского полуострова [1].

Выводы

В результате исследований типоморфных и типохимических параметров минералов щелочных пород двух известных щелочных массивов Кольского полуострова и Восточного Приазовья нами был выявлен ряд общих черт в составе как породообразующего нефелина, так и редкого акцессорного астрофиллита. Некоторые отличия в составе минералов этих известных сложных щелочных комплексов объясняется формированием минерала в той или иной парагенетической ассоциации. Кроме того, изучение минералов помогло в определении более точной геологической привязки исследованных музейных образцов.

Библиография

1. Азарова Ю.В. Генезис и типоморфизм минералов ряда лампрофиллит-баритолампрофиллит из Хибинского массива. Новые данные о минералах. М. 2014. Вып. 39. С. 66-72.
2. Гойчук О.Ф. и др. Нетипичные компоненты в составе нефелина из пород Хибинского массива по данным ИК спектроскопии. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 1. С. 24–38.
3. Когарко Л.Н. Геохимия суперкрупных месторождений Восточной Феноскандии (Кольский полуостров). Геохимия. 2021. Т.66. №11. С.1020-1034.
4. Яковлевкая Т.А. К характеристике астрофиллита и куплетскита. Труды ММ им. А.Е. Ферсмана. М.2018.
5. Донской А. Н. Нефелиновый комплекс Октябрьского щелочного массива. - Киев : Наук. думка, 1982. 151 с.
6. Пеков И.В. Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы. - М., Земля, 2001. 432 с..

Применение метода высокоточной гелиевой съёмки при поисках подземных литиеносных рассолов

Грызлов А.М.* (ООО «Новые геологические решения», grizlov@list.ru),
Толстоусов А.А.* (ООО «Новые геологические решения», info@ngr.group),
Наумов К.К.* (ООО «Новые геологические решения», info@ngr.group),
Чулкова В.В. (ООО «Новые геологические решения», chulkova_vv@mail.ru)

Аннотация

При поисках и разведке месторождений твёрдых полезных ископаемых (ТПИ) применяется обширный комплекс геолого-геофизических и геохимических исследований, включающий в себя прямые и косвенные методы.

В докладе изложены теоретические предпосылки метода гелиевой съёмки при поисках месторождений ТПИ. Приведен пример выполненной работы по поиску подземных литиеносных рассолов с основными результатами и рекомендациями по дальнейшим геологоразведочным работам.

Ключевые слова

Высокоточная гелиевая съемка, литиеносные рассолы, площадь Jama, гринфилд

Источники финансирования

Собственные средства.

Теория

Гелиевая съёмка - разновидность газовой съёмки, которая заключается в определении содержания газа-гелия в приповерхностном слое земли в разных средах (газ, вода, почва, коренные породы) и картировании содержания гелия по площади.

История возникновения гелиевой съёмки

Начало геологии гелия было положено в 1905 г. работами Кэди Х.П. и Макфарленда Д.Ф., обнаруживших при исследованиях низкокалорийных горючих газов Канзаса (США) значительные концентрации гелия. В последующие годы было выполнено огромное количество работ, как советскими, так и зарубежными геологами, посвящённое развитию метода гелиевой съёмки как прикладного для решения различных геологических задач. В 1968 г. в работе Якуцени В.П. «Геология гелия» были рассмотрены источники гелия на Земле, его миграция в недрах [1]. В работах А.Н. Еремеева [2] и Овчинникова Л.Н. [3] приведены результаты гелиевых съёмок, выполненных над различными рудными месторождениями, связанными с разломами. В 1979 г. Яницкий И.Н. «Гелиевая съёмка» [4]. В руководстве изложены методические основы водногелиевой съёмки - пробоотбор, аналитика, обработка результатов, построение карт, 1987г. ВИМС выпускает “Методические рекомендации по применению гелиевой съёмки для решения прикладных геологических задач” [5]. В рекомендациях изложены теоретические основы гелиевой съёмки, методика съёмки, решаемые геологические задачи – структурно-геологическое картирование, генезис подземных вод, прогноз различных типов полезных ископаемых. 1970-80-е годы. Многочисленные работы по гелиевой съёмке за рубежом, посвященные поисковым задачам – поиску урановых руд (Butt and Gole, 1986; Reimer et al., 1979a; Pogorski and Quirt, 1979), поиску УВ-залежей (Roberts, 1981, Holland and Emerson, 1979, Van den Boom, 1987).2002г. G. Etiope , G. Martinelli “Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview” [6]. Приведены экспериментальные данные по скорости миграции гелия через породы с различной проницаемостью.

В итоге к началу XXI века гелиевая съемка прочно заняла место как дополнительный метод геологического исследования, а газ-гелий как потенциальной индикатор целого ряда геологических объектов и явлений:

- индикатор повышенной радиоактивности горных пород (поиск урановых руд, радиоактивных углей, сланцев);
- индикатор повышенной газонасыщенности целевого разреза (УВ-термальные воды, подземные рассолы);
- индикатор повышенной проницаемости разреза (тектонические нарушения, трещинные системы и связанные с ними месторождения минерального сырья);
- индикатор напряженности массивов горных пород (прогноз сейсмических событий).

В 2011 г. на Томулахской площади в пределах западных флангов Октябрьского медно-никелевого месторождения была выполнена площадная наземная гелиевая съемка [7]. В 2004 г. специалистами ООО «Новые геологические решения» была разработана и внедрена технология высокоточной поверхностной гелиевой съёмки, которая имела ряд отличий от предшествующих технологий, главным из которых заключалось в то, что определение содержания гелия выполнялось непосредственно на месте.

Гелиевая съёмка в комплексе поисково-разведочных работ на литий выполнялась в Аргентине (Окрестности Солончака)

В настоящее время, за рубежом, до 60-70 % лития производится за счет эксплуатации рапы бессточных соляных озер с содержаниями 0,06— 0,5 % Li2O (гидроминеральный или саларный тип месторождения [8]).

В 2023 г. в районе одного из таких саларов Jama на севере Аргентины («литиевый треугольник») зарубежный филиалом ООО «Новые геологические решения» были проведены опытные работы по высокоточной гелиевой съёмке на поиск подземного литиеносного резервуара. Поиск был обусловлен тем, что разработка поверхностных саларов серьёзно нарушает экологию района и вызывает жалобы у местного населения.

Было отработано 2 профиля гелиевой съёмки с шагом 100 м по профилю и точностью измерений 0,01 ppm. Профили проходили через проектные скважины AJ DDH № 1 (рисунок 1) и AJ DDH № 2 (рисунок 2), причем профиль № 1 пересекал юго-восточную оконечность салара. До гелиевой съёмки с той же целью было выполнено несколько профилей методом сейсморазведки ЗСБ(показаны синим цветом).

Сопоставление результатов гелиевой съёмки и материалов зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) показало следующее:

- планируемое местоположение скважины AJ DDH № 1 благоприятно для обнаружения коллектора с рассолом, обогащенным литием, поскольку данные ЗСБ выявили и закартировали слой с низким удельным сопротивлением, который может быть связан только с рассолами, а гелиевая съемка зафиксировала повышенную гелиенасыщенность коллектора, что косвенно указывает на улучшенные коллекторские свойства резервуара;
- принимая во внимание общность процессов миграции и накопления мантийных компонентов - гелия и лития, а также содержание лития в поверхностных водах (рассолах) данного района, можно обоснованно предположить, что аномалия гелия в поверхностном слое (не связанная с глубинными разломами) будет сопровождать повышенное содержание лития в подземных высокоминерализованных водах.

В результате сопоставления результатов гелиевой съёмки с данными электроразведки ЗСБ можно сказать, что расположение скважины AJ DDH № 1 предпочтительнее, чем AJ DDH № 2 по следующим причинам:

- высокая гелионасыщенность пласта, что предполагает улучшенные коллекторские свойства, которые в свою очередь обеспечивают водонасыщенность пласта, а следовательно, потенциально и высокое содержание лития в рассоле;
- меньшую глубина залегания объекта.

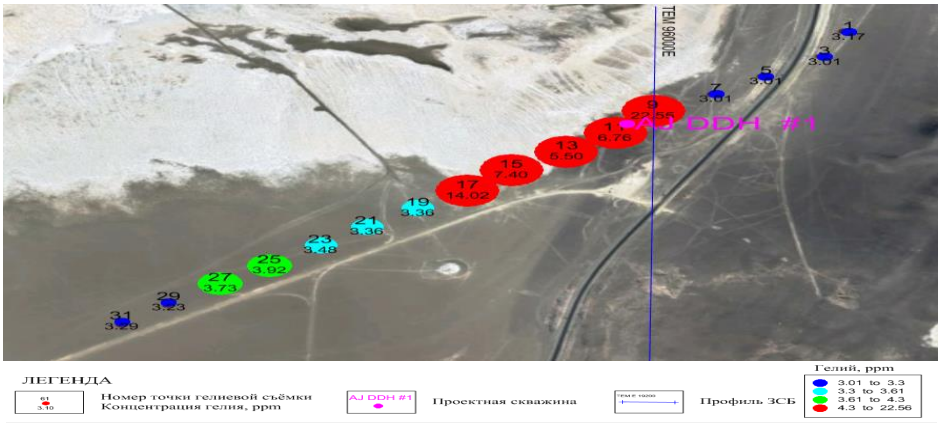


Рисунок 1. Профиль гелиевых концентраций № 1

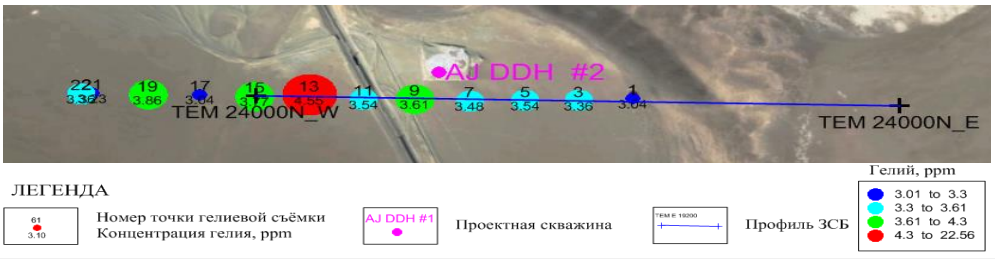


Рисунок 2. Профиль гелиевых концентраций № 2

Выводы

Высокоточная гелиевая съёмка показала потенциал для обнаружения подземных резервуаров сильноминерализованных вод с высоким содержанием лития. Метод является индикативным, быстрым в получении результатов, экономически целесообразным относительно прямых методов исследований.

Кроме того, метод является единственным возможным для больших территорий и являющихся заповедными зонами или частной территорией, на которых сложно и дорого получить и осуществить прямые методы для выявления зоны развития активных современных разломов, трещинных систем, в том числе унаследованных, с которыми могут быть связаны рудные тела.

Применимость метода можно рекомендовать при оценке гринфилдов для снижения рисков инвестора.

Благодарности

Оргкомитету XVII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

Библиография

1. Якуцени В.П. Геология гелия. Л., Недра, 1968.

2. Eremeev, A.N., Sokolov, V.A., Solovov, A.P. and Yanitskii, I.N., 1973. Application of helium surveying to structural mapping and ore deposit forecasting. In: M.J. Jones (ed.), Geochemistry Exploration 1972. lnstn. Min. Metall., London, pp. 183-192.

3. Ovchinnikov, L.N., Sokolov, V.A., Fridman, A.I. and Yanitskii, I.N., 1972. Gaseous geochemistry methods in structural mapping and prospecting for ore deposits. In: M.J. Jones (ed.), Geochemistry Exploration 1972. Instn. Min. Metall., London, pp. 177-183.

4. Яницкий И.Н. Гелиевая съемка. М., Недра, 1979.

5. Методические рекомендации по применению гелиеметрических исследований при решении геологических задач, М.. ВИМС, 1987.

6. Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview/Physics of the Earth and Planetary Interiors. G. Etiope, G. Martinelli, 2002.

7. Гелиевая съемка на Октябрьском месторождении (Томулахская площадь). «Актуальная геология». По заказу ООО «Норильскгеология», СПб, 2011.

8. Миронов Ю.Б. Эпохи формирования и типы месторождений лития зарубежных стран / Ю.Б. Миронов, А.М. Карпунин, В.З. Фукс// Региональная геология и металлогения. - 2022. - №92. - С.105-116.

Гранаты с необычным оптическим эффектом из корундовых проявлений Беломорского пояса (Балтийский щит)

Терехов Е.Н. (ГИН РАН, ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН terekhoff.zhenya@yandex.ru), Макеев А.Б. (ИГЕМ РАН, abmakeev@mail.ru)*

Аннотация

Гигантские гранаты, часто имеющие своеобразный оптический эффект в виде нимба, над полированными образцами, являются характерными спутниками корундовых проявлений Беломорского пояса. Их минеральная ассоциация указывает на амфиболитовую фацию метаморфизма пород. Наиболее вероятной фазой, ответственной за появление нимба над гранатовым шаром мы считаем включения амфибола. Размеры граната, а также необычный эффект астеризма, хотя и косвенно, но могут указывать на условия формирования корундовой минерализации в обстановке регионального растяжения при эксгумации глубинных пород. Изучение *этого граната, который находится в тесной ассоциации с корундовыми проявлениями, позволит, на наш взгляд, ближе подойти к решению вопроса о месте корундообразования в эволюции Беломорского подвижного пояса.*

Ключевые слова

Гранат, корунд, хлорит-корундофиллит, шар с нимбом, астеризм

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках госзадания ГИН РАН, ИФЗ РАН и ИГЕМ РАН

Гигантские кристаллы граната размером до 20 см, характерны почти для всех корундовых проявлений Беломорского подвижного пояса и благодаря своей хорошей визуализации, являются своеобразными маркерами и поисковым признаком этих объектов. В некоторых проявлениях эти гранаты окружены мягкой оболочкой из хлорита, развитого по амфиболу, что способствует относительно легкому их извлечению из породы. Среди этой части гранатов и встречаются разности с необычным оптическим эффектом. Так, над полированным шаром граната (диаметром 50-90 мм) при его освещении солнцем или искусственным светом виден «нимб» из белых скрещенных нитевидных осей под углами 60 и 120^{o}. Кажется, что оси висят над шаром на расстоянии 5-7 мм над поверхностью, однако на фотографии (рис. 1) они оказываются на его поверхности. За небольшим, но важным исключением, наблюдаемый эффект напоминает звезду астеризма в таких минералах как сапфир, рубин, шпинель, кварц, диопсид. Основная масса гранатов с необычным оптическим эффектом была добыта с площади проявления корунда Дядина Гора. Подобные гранаты, но с менее выраженным «нимбом» встречались на корундовых проявлениях Варацкое и Плотина, что позволяет надеяться на находки новых проявлений подобного экзотического вида коллекционного сырья. Следует отметить, что хлоритовая оболочка, не только облегчает добычу граната с сохранением его формы, но возможно ответственна и за образование указанного эффекта, так как гранаты без хлоритовой оболочки не имеют его.

Среди гранатов, имеющих широчайшее распространение в природе, известно только два месторождения с эффектом астеризма. На сегодняшний день их нашли в штате Айдахо в США и в Индии. Звездчатые гранаты обычно непрозрачны и имеют насыщенный коричневато-красный или красновато-черный цвет. Как и у всех звездчатых драгоценных камней, эффект звезды обусловлен включениями рутила. Чтобы получить эффект звезды, игольчатые кристаллы рутила должны иметь правильную ориентировку и отражать свет в виде многолучевой звезды. Но в нашем случае оптический эффект виден только у крупных шаров

(более 50 мм) и не на поверхности, а оторван от неё, и не в одном месте (выход оптической оси кристалла), а по всей поверхности, правда с разной интенсивностью свечения. «Отрыв» звезды от поверхности шара не описан (или нами не встречен) в литературе. Нет нимба и над маленькими гранатовыми шарами и кабошонами проявления Дядина Гора.



Рисунок 1. Гранатовый шар с нимбом (*а*), хлоритовая оболочка желваков граната (*б*)

В пределах Беломорского пояса за последние годы обнаружено достаточно большое количество проявлений корундовой минерализации, что подтверждает правило: если в районе известно хотя бы одно проявление корунда (рубина, сапфира), то со временем обязательно будут найдены и другие проявления, даже приуроченные к иным вмещающим породам и часто имеющим другой возраст минерализации (Терехов, Акимов, 2013).

Проявления корундовой минерализации, помимо собственно корунда представляют интерес и по ряду других причин. Так в их пределах найдены минералы не типичные для пород Беломорского пояса. Это сапфирин, ставролит, иоцит, розовая и зеленая шпинель, хегбомит, а для проявления Дядина Гора характерны маломощные жилы, сложенные скаполитом (Терехов, Левицкий, 1972). В дополнение к этому, только в пределах корундовых проявлений Беломорского пояса обнаружены породы и отдельные минералы, (чаще всего корунд) с аномальным обогащением изотопом ^{16}O. Значения $\delta^{18}O$ в этих породах в районе проявления корунда Хитостров достигают –27.3‰ (VSMOW), что значительно ниже, чем в любых других силикатных породах земного или космического происхождения (Высоцкий и др., 2014). Особенностью минералов беломорского комплекса, возможно так или иначе связанной с эффектом «нимба» у гранатового шара, является широкое развитие иризации особенно у плагиоклазов (олигоклаз – лунный камень в пегматитах) и у ортоамфибола – жедрита, так называемых перистиров (Серебряков и др., 1999). Эти образования, также как и корундовая минерализация формировались на стадии эксгумации и вероятно в условиях шоковой декомпрессии, что и привело к выделению необычных по составу флюидов (Скублов и др., 2020; Терехов, 2007). При этом астеризм в таких минералах как: сапфир, топаз, диопсид, гранат, кварц можно рассматривать как частный случай иризации.

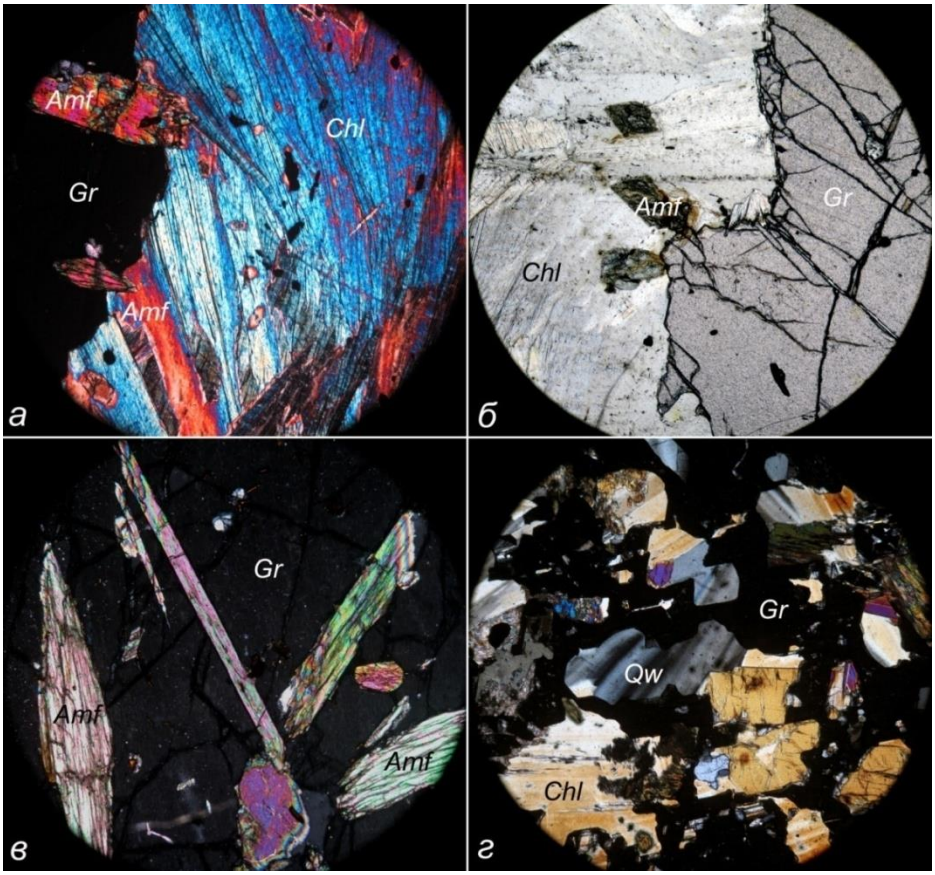


Рисунок 2. Изображения петрографических шлифов: *а* и *б* –краевая часть граната; *в* и *г* –центральная часть граната; *а, в, г* – николи ⊥; *б* – II; поле зрения – 4 мм. Gr – гранат, Amf – амфибол-актинолит, Chl – хлорит, Qw – кварц

Исследование петрографических (рис. 2) и электронно-микроскопических препаратов гранатовых желваков, химического состава матрицы и включений внутри граната (гроссуляр-пироп-альмандина) позволили диагностировать семнадцать минеральных видов. Наиболее распространены в гранате включения амфибола-актинолита и хлорита-корундофиллита. Меньшим распространением пользуются другие силикаты: ортопироксен – бронзит (4 анализа), клинопироксен – клиноэнстатит (1), альбит (3), силлиманит (1), каолинит (1); много мелких выделений кварца (7). Среди рудных акцессориев наиболее распространены: рутил (13), Fe-рутил (2), ильменит (1) высокоториевый монацит (7), апатит (4), циркон (2). Состав амфиболов и хлоритов одинаков и во включениях, и в оболочке. Включений больше в центральной части граната, а периферические части более чистые, вплоть до ювелирного качества (Макеев и др., 2024).

Не обнаружена и закономерная ориентировка кристаллов рутила в гранате, поэтому, наиболее вероятной фазой, ответственной за появление нимба над гранатовым шаром мы считаем неориентированные включения игольчатых кристаллов амфибола-актинолита. Именно амфибол может дать наблюдаемые углы осей нимба. Сам кубический гранат дал бы прямые углы нимба. Весьма вероятно, что это явление близко по природе к астеризму, связанному с включениями, например, рутила внутри некоторых минералов, но в отличие от классических примеров звезд астеризма, образованных тонкими ориентированными пластинками другого минерала, в нашем примере нет каких либо ориентированных минералов.

Выводы

Надповерхностный нимб не описан над шарами других минералов и пород. И вопрос о природе наблюдаемого оптического эффекта остаётся открытым. Гигантские размеры граната, а также необычный эффект астеризма, хотя и косвенно, указывают на условия формирования корундовой минерализации в обстановке регионального растяжения при эксгумации глубинных пород Беломорского пояса.

Библиография

1. Высоцкий С.В., Игнатьев А.В., Левицкий В.И. и др. (2014). Геохимия стабильных изотопов кислорода и водорода корундоносных пород и минералов Северной Карелии как индикатор необычных условий их формирования // *Геохимия*, (9). С. 843-853.

2. Макеев А.Б., Терехов Е.Н., Иванова Л.А. Галтованный шар из граната гроссуляр-пироп-альмандина с нимбом из скрещенных осей над ним // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. Двадцать пятая международная конференция. Москва, 30 сентября – 4 октября 2024 г. Материалы конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2024. С. 156-159.

3. Серебряков Н.С., Фришман Н.И., Кочетова Н.Л. (1999). Периститы из пегматита в Северной Карелии // *Записки ВМО*, (6). С. 90-97.

4. Скублов С.Г., Бушмин С.А., Кузнецов А.Б. и др. (2020). Изотопный состав кислорода в цирконе из корундсодержащих метасоматитов рудопроявления Дядина гора, Беломорский подвижный пояс // *ДАН. Науки о Земле,* 491(2). С. 71-76.

5. Терехов Е.Н., Левицкий В.И. (1991) Геолого-структурные закономерности размещения корундовой минерализации в Северо-Западном Беломорье // *Изв. Вузов. Геология и разведка,* (6). С. 3-14.

6. Терехов Е.Н. (2007). Особенности распределения РЗЭ в корундсодержащих и других метасоматитах периода подъема к поверхности метаморфических пород Беломорского пояса (Балтийский щит) // *Геохимия*, (4). С. 411-428.

7. Терехов Е.Н. Акимов А.П. (2013). Тектоническое положение и генезис месторождений ювелирного корунда Высокой Азии // *Литосфера*, (5). С. 141-159.

Морфология и особенности внутреннего строения алмазов «Альпака» и «Акула» коллекции редких форм АК «АЛРОСА» (ПАО)

Лодыгина В.Ю.* (Вилюйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), viktoria.lodygina@yandex.ru),
Монхоров Р.В.* (Вилюйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), MonhorovRV@alrosa.ru),
Бардухинов Л.Д. (Вилюйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), BardukhinovLD@alrosa.ru),
Демидова Л.А. (ЕСО АК «АЛРОСА» (ПАО), DemidovaLA@alrosa.ru)

Аннотация

Представлены результаты изучения уникальных по форме алмазов «Альпака» и «Акула» коллекции редких форм АЛРОСА. Были изучены минералогические и спектроскопические характеристики этих алмазов. Получены результаты КР-спектроскопии по включениям-облакам (Cloud). Сделаны выводы о взаимосвязи формы алмазов с неоднородностью их внутреннего строения.

Ключевые слова

Алмазы редких форм, морфология алмазов, фотолюминесценция, облачные (Cloud) включения

Теория

Незакономерное срастание алмазов в особо редкие формы - это образование единой структуры из двух или более соединенных кристаллов алмазов в сложные геометрические формы. Также стоит отметить особенности внутреннего строения алмазов типа Cloud (при возбуждении УФ лучами имеют зеленое или желто-зеленое свечение), характеризующиеся наличием облачных или туманных включений. Это мелкодисперсные включения, такие как пузырьки газа или микроскопические частицы минералов создающих неоднородную внутреннюю структуру (4).

Проведено исследование морфологии и внутреннего строения двух алмазов редких кристалломорфологических форм, добытых в Архангельской алмазоносной провинции. Коллекция редких форм АК “АЛРОСА” ПАО собирается с 2019 года. И в нее уже вошли такие алмазы как “Китайский фонарик”, “Матрешка”, “Шар” и другие. В данной работе были исследованы новые алмазы “Альпака” и “Акула”.

Изучение морфологии и внутреннего строения проводилось с помощью бинокулярного микроскопа Leica DFC 495, фотографирование - на Leica M205, оснащённого высочувствительной цифровой видеокамерой. Для визуального наблюдения цвета фотолюминесценции алмаз облучался лазером АИЛ-3 с длинной волны 337 нм.

Идентификация минеральных включений проведена методом комбинационного рассеяния (Рамановская спектроскопия). Съемка спектров комбинационного рассеяния включений в алмазах выполнена на КР-микроскопе Renishaw InVia (Великобритания). Источник возбуждения – твердотельный лазер КР – микроскопа, λ – 532 нм, мощность – 100 мВт. Использовалась отражательная голографическая дифракционная решетка 1800 лин/мм, измеряемый спектральный диапазон при возбуждающем излучении 532 нм составлял 0 ÷ 1800 см-1. Объектив 50х (Leica).

ИК–спектроскопические исследования (съёмка инфракрасных спектров) алмазов проводились на ИК-Фурье спектрометре Bruker VERTEX 70 в комплексе с ИК-микроскопом Hyperion 2000. Диапазон измерений: 400–5500 $см^{-1}$. Была выполнена съемка интегральных (со всего объёма кристалла) спектров. Нормирование спектров осуществлялось по поглощению в двухфононной области. По спектрам определялись концентрации С-, А-, В1-, В2-дефектов алмазов. Коэффициенты поглощения на частотах 1973 см-1 и 2500 см-1, соответственно,

$\alpha 1973 = 12{,}5$ см$^{-1}$ и $\alpha 2500 = 4{,}9$ см$^{-1}$ были выбраны в качестве параметров внутреннего стандарта.

Алмаз Альпака является прозрачным соломенно-желтым целым (неповрежденным) кристаллом 1 разновидности по классификации Ю. Л. Орлова. Представляет собой незакономерное срастание скрытослоистых кристаллов ромбододекаэдрического габитуса с единичными поверхностными и глубокими трещинами (Рис.1). На поверхности, преимущественно в местах срастания, проявлены четырехугольные фигуры травления. В объёме просматриваются цепочка мелкодисперсных темноцветных включений и туманные зоны включений-облаков (Cloud).

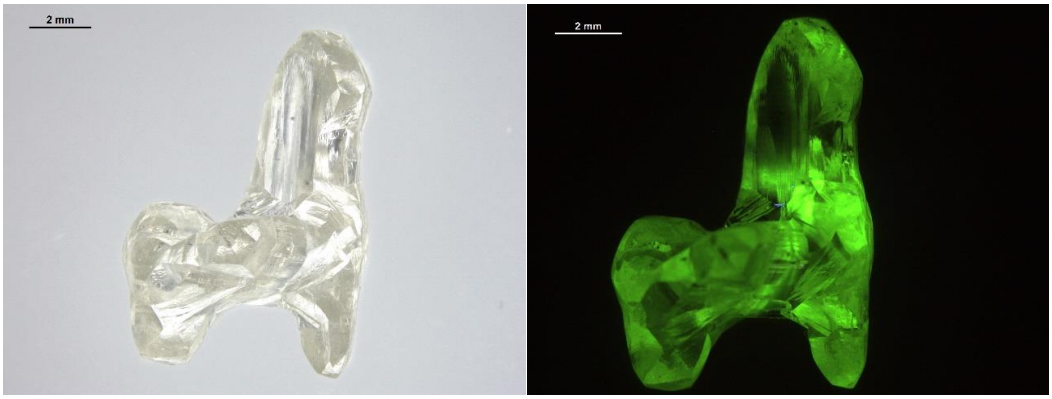


Рисунок 1. Внешний вид и фотолюминесценция алмаза «Альпака"

Акула по своей морфологии очень схожа с Альпакой. Представляет собой прозрачный целый незакономерный сросток соломенно-желтого цвета. По классификации Ю. Л. Орлова отнесен к 1 разновидности. По морфологическому типу отнесен к округлым ромбододекаэдрам со сноповидной штриховкой (Рис.2). Под верхним “плавником”, на поверхности, наблюдается часть шпинелевого прорастания в виде двойникового шва. В периферийной зоне содержатся точечные включения графита, а в центральной зоне расположены облачные Cloud включения.

В УФ лучах оба алмаза светятся ярко зеленым (неоновым) цветом. При этом отчетливо видны границы отдельных облачных включений.

Алмазы Альпака и Акула уникальное явление незакономерного полигонального срастания индивидов, предположительно ромбододекаэдрического и кубического габитуса для Альпаки, и ромбододекаэдрического и октаэдрического для Акулы. В Альпаке можно насчитать более 6 отдельных индивидов, связанных ростовыми перемычками, а в Акуле более 4 индивидов. Нами предполагается, что механизм роста происходил из нескольких точек зародышеобразования, которые росли и растворялись параллельно в одинаковых условиях пока не соприкоснулись. Округлые формы, особенно “оплавленные” части “плавника и хвоста” Акулы и участки “лап” Альпаки обусловлены процессами растворения (2).

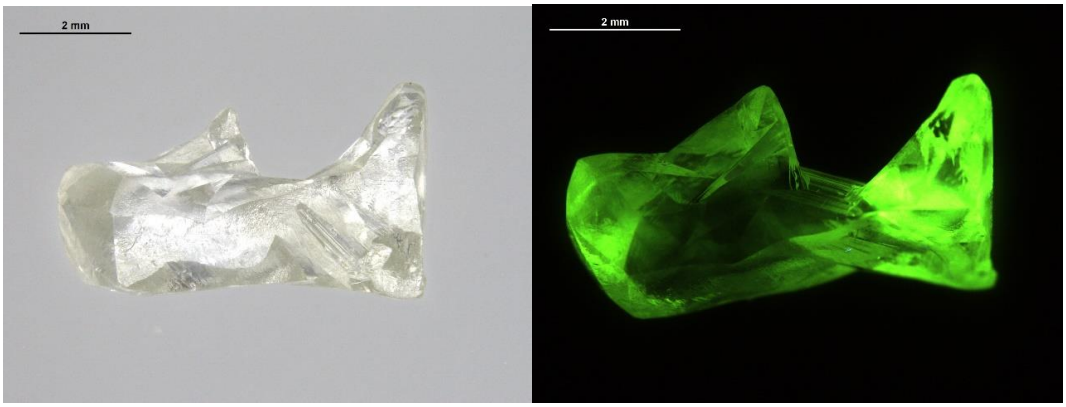


Рисунок 2. Внешний вид и фотолюминесценция алмаза «Акула»

По данным ИК спектроскопии исследуемые алмазы содержат повышенное количество азота (более 1000 ppm) при низкой его агрегации (менее 20%), также необходимо отметить высокое содержание примеси водорода в изученных кристаллах (более 6 см$^{-1}$).

Облачные или туманные замутнения в объёмах, изучаемых алмазов, обнаруживаются как в относительно свободном пространстве, так и по осям срастания индивидов.

Методом КР-спектроскопии (Рис.3) в Альпаке удалось установить, что одним из Cloud включений являются иглообразные включения кальцита (Рис.4) и микроскопические зерна графита. Это может указывать на существенную роль карбонатного расплава или флюида в процессе кристаллизации данных индивидов (3).

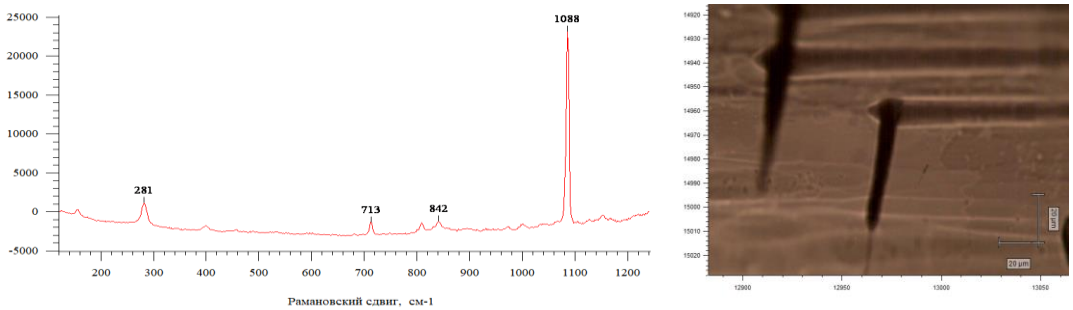


Рисунок 3. КР-спектр включения-кальцита и облик включений кальцита при увеличении x50

Выводы

Предположительно, алмазы с включениями Cloud формируются, когда кристаллизация прерывается либо замедляется, при этом внутренняя структура из-за захвата микроскопических частиц ростовой среды становится неоднородной. Учитывая сходство внешних морфологических признаков и особенностей внутреннего строения Альпаки и Акулы можно предположить, что их кристаллизация проходила при одинаковых условиях.

На начальном этапе процесс зародышеобразования для каждого индивида проходил при нормальных стабильных условиях при высоком давлении и температуре. Затем при резком изменении концентрации флюидов (пересыщение среды алмазообразования) нарушилась равномерность роста алмазов. При этом карбонатный расплав, газы или жидкости захватывались в процессе роста в новых (при высокой скорости роста) условиях. Предположительно на этом же этапе происходило “столкновение” кристаллов и их дальнейшее срастание.

Нами предполагается возможность многократного повторения стадий кристаллизации, что позволит объяснить уникальность внешней морфологии и особенности внутреннего строения в виде облачных включений (1). Так как внешний слой алмазов без облачных дефектов, следовательно, завершающий этап роста проходил в равновесных стабильных условиях.

Сложный процесс формирования алмазов редких форм типа Cloud делает их фундаментальными и уникальными образцами для более глубокого изучения геологических процессов.

Библиография

1. Васильев Е.А. // Записки Горного института. 2021. Т. 250. С. 481-491.
2. Khokhryakov A.F., Palyanov Y.N. // American Mineralogist. 2007. Vol. 92. № 5-6. P. 909-917.
3. Konogorova D. V., Kovalchuk O. E., and Bardukhinov L. D., // Prir. Resurs. Arkt. Subarkt. 2020. Vol. 25. №2. P. 45–55.
4. Pavlushin A., Bardukhinov L., Konogorova D., Sedykh E. The Sky Latern // ALROSA. 2022. № 1. P. 32-35.
5. Wang W., Mayerson W. // The Journal of Gemmology. 2002. 28. 3. P. 143-152.
6. Zraeli E.S., Jeffrey W. Harris J.W., Navon O. // Acta Geochimica et Cosmochimica. Vol. 2004. 68. P. 2561–2575.

Оценка влияния величины градиента давления в термобароградиентных гидротермальных системах на эффективность процессов жильного полиметаллического рудообразования

Борисов М.В.* (МГУ имени М.В. Ломоносова, borisov@geol.msu.ru),
Шваров Ю.В. (МГУ имени М.В. Ломоносова, yuri_shvarov@mail.ru)

Аннотация

Выполнено термодинамическое моделирование жильного Pb-Zn рудообразования в термобароградиентной системе. Исследованы модели с постоянным градиентом температуры по восстанию модельной жилы (31 реактор, шаг 10°C в интервале температур от 400 до 100°C), но с переменным градиентом по давлению: 0, 10, 20 и 30 бар на каждые 10°C (от 1000 бар в области мобилизации рудных компонентов из вмещающих гранитов до 1000, 690, 380, 70 бар при 100°C). Установлено, что при понижении давления (с шагом по реакторам 10-30 бар) происходит некоторое перераспределение в отложении пирита и рудных сульфидов: при высоких температурах отложение уменьшается, а при низких – увеличивается. В целом увеличение градиента давления по реакторам, описывающим жилу по восстанию, приводит к незначительному снижению общей продуктивности гидротермальной системы по отношению отложения рудных компонентов.

Ключевые слова

Термодинамическое моделирование, термобароградиентные системы, жильные Pb-Zn месторождения

Источники финансирования

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова.

Теория

Цель настоящей работы – оценка влияния величины градиента давления в термобароградиентных гидротермальных системах на эффективность процессов жильного полиметаллического рудообразования методами термодинамического моделирования.

Эталонными объектами являются жильные полиметаллические месторождения Садонского рудного района (Северная Осетия, Россия), по которым нами накоплена представительная база геохимических данных и результатов термодинамического моделирования. Рудообразование на месторождениях района происходило в предкелловейское время (J_2), а вероятным источником рудных компонентов являлись граниты (PZ_3), которые вмещают основную часть рудных жил наиболее продуктивных месторождений (Садон, Архон, Верхний Згид и др.). Такой вывод сделан на основании данных по изотопному составу свинца в галенитах руд и в калиевых полевых шпатах вмещающих пород района [5]. Подтверждение получено нами при исследовании закономерностей распределения рудных элементов в первичных ореолах и РЗЭ в рудах, а также по результатам термодинамического моделирования процессов рудообразования [1-3, 7-8]. При моделировании чаще всего именно граниты рассматривались как основной рудогенерирующий субстрат.

Для рассматриваемых месторождений нами предложена генетическая модель гидротермальной системы [1-3, 7]. Основные её положения сводятся к следующему. В пределах Садоно-Унальского глубинного сброса, который ограничивает с юга область распространения месторождений, в дорудное время происходила циркуляция углекисло-хлоридных вод. Внедрение в J_2 даек и штоков субвулканических и гипабиссальных пород и

интенсивные тектонические подвижки инициировали гидротермальный процесс: интрузии создали необходимый источник тепла, закладывались рудоконтролирующие трещины, образовались зоны механических деформаций пород. Нагретые растворы из глубинного сброса фильтровались через зоны дробления в палеозойских гранитах и вступали в реакцию с ними. Формировались области мобилизации различных компонентов из вмещающих пород (Zn, Pb, Cu, Fe, S(II) и др.). Рудоносные растворы из областей мобилизации двигались вверх по рудоконтролирующим трещинам. Постепенное охлаждение растворов за счет обмена теплом с вмещающими породами и локальной гетерогенизации приводило к формированию рудных жил выполнения и околожильных ореолов. Такая геологическая модель лежит в основе моделирования жильного рудообразования.

Проведены расчеты и исследованы модели в системе H-O-K-Na-Ca-Mg-Al-Si-Fe-C-Cl-S-Zn-Pb-Cu, описанной 54 минералами, 78 частицами водного раствора (пакет программ HCh [6], включающий базу термодинамических данных Unitherm). В большинстве исследованных ранее моделей заложено постепенное снижение температуры рудоносного раствора (при постоянном давлении) в рудоконтролирующих структурах. Такое снижение является основным фактором отложения рудного вещества и обосновано данными по включениям на эталонных месторождениях: градиенты температуры до 35-50°С и давления до 100-200 бар на 100 м по восстанию [4]. Влияние градиента давления в ряде моделей нами ранее изучался [1, 7] и было показано, что он значительно менее эффективен, чем падение температуры. Однако развитие методик моделирования процессов формирования жил с комбинированными источниками рудных компонентов [8] потребовало возврата к оценке влияния понижения давления.

Расчеты сделаны для четырех вариантов моделей, в которых в области жильного рудообразования снижаются температура и давление. Структура моделей: ***область мобилизации*** – гранит реагирует с безрудным раствором (1 m NaCl, 0.5 m H_2CO_3,1 кг H_2O) при 420°С и 1 кбар (50 волн раствора); ***область жильного рудообразования*** – 31 последовательные проточные реакторы при понижении температуры от 400 до 100°С (шаг 10°С по реакторам), но по давлению рассмотрены четыре варианта (давление постоянное - 1000 бар; снижается с шагом 10 бар по реакторам, т.е. до 690 бар при 100°С; снижение с шагом 20 бар по реакторам, т.е. до 380 бар при 100°С, снижение с шагом 30 бар по реакторам, т.е. до 70 бар при 100°С). Каждые 3-4 реактора соответствуют приблизительно 100 м по восстанию модельной жилы. Жилу формируют 50 последовательных порций (волн) рудоносных растворов. Отложение вещества в жиле описано слоевым механизмом, т.е. из каждой порции рудоносного раствора в реакторах, описывающих жилу, формируется новый слой вещества [1, 7]. На рисунке показаны результаты расчетов по этим моделям для одного из уровней по восстанию модельной жилы, отвечающему 200°С.

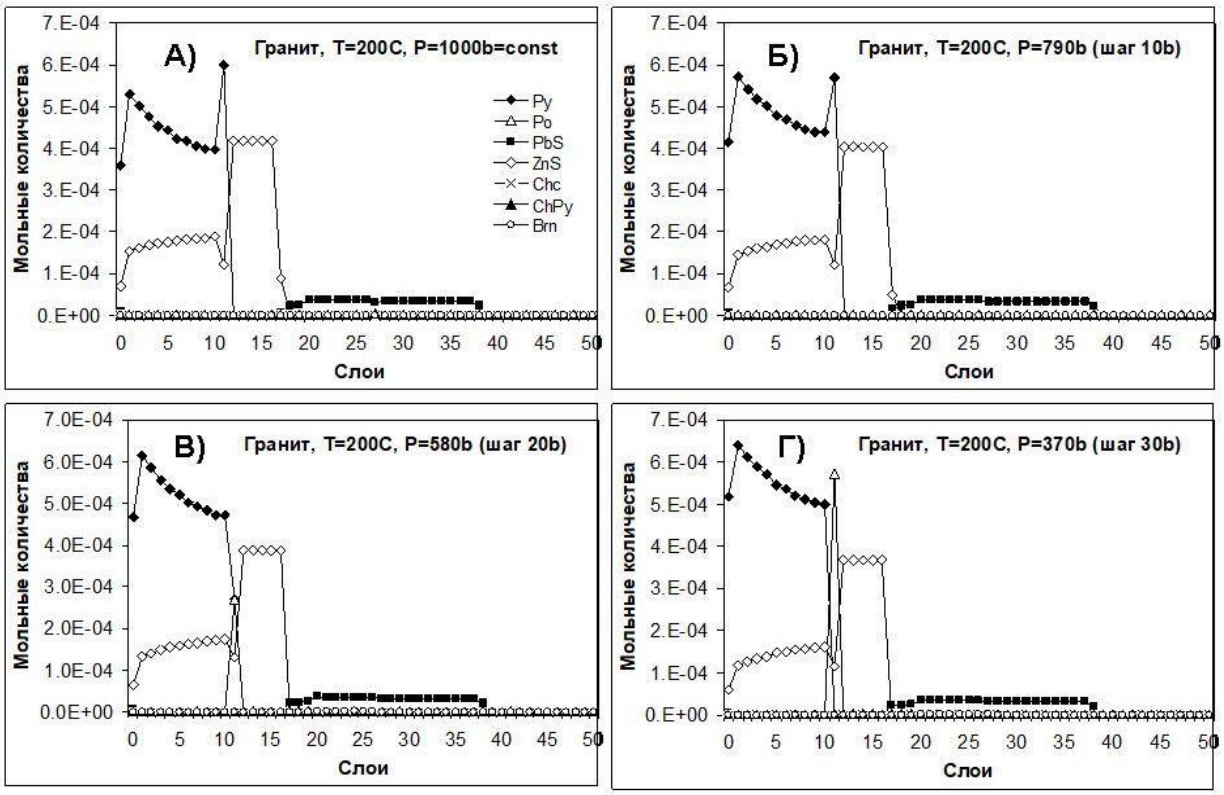


Рисунок 1. Отложение сульфидов в модельных жилах при 200°C после прохождения 50 волн рудоносного раствора из области мобилизации, которые создают 50 последовательных слоев. А) постоянное давление равное 1000 бар; Б), В), Г) – шаг по давлению 10, 20, 30 бар. Минералы: Py - пирит, Po - пирротин, ZnS - сфалерит, PbS - галенит, Chc - халькозин, ChPy - халькопирит, Brn - борнит (кварц не показан – около 5e-4 моля в каждом слое)

Эффект падения давления практически мало заметен. Так на рисунке видим (от шага по давлению 0 бар (А) к шагу 30 бар (Г)): количество пирита растет – в максимуме отложения от 5.3e-4 моля до 6.4e-4 моля, т.е. на 20%, а количества сфалерита уменьшается - в максимуме отложения от 4.2e-4 моля до 3.7e-4 моля, т.е. на 12%. Однако, такая тенденция (от шага 0 бар к шагу 30 бар) меняется выше и ниже этого уровня по восстанию модельной жилы. Так при температурах ниже 200°C отложение пирита и сфалерита увеличивается, а при температурах 200°C и выше только уменьшается.

Таким образом, можно считать установленным, что при понижении давления (с шагом по реакторам 10-30 бар) происходит некоторое перераспределение в отложении сульфидов: при высоких температурах отложение уменьшается, а при низких – увеличивается.

Выводы

Установлено, что при увеличении градиента давления происходит некоторое перераспределение в отложении пирита и рудных сульфидов: при высоких температурах отложение уменьшается, а при низких – увеличивается. В целом рост градиента давления по реакторам, описывающим жилу по восстанию, приводит к незначительному снижению общей продуктивности гидротермальной системы по отношению отложения рудных компонентов.

Библиография

1. Борисов М.В. Геохимические и термодинамические модели жильного гидротермального рудообразования. М.: Научный мир. 2000.
2. Борисов М.В., Бычков Д.А., Шваров Ю.В. Геохимические структуры полиметаллических жил выполнения и параметры гидротермального рудообразования // Геохимия. 2006. №11. С. 1218-1239.
3. Борисов М.В., Бычков Д.А., Шваров Ю.В., Лубкова Т.Н. Процессы гидротермального жильного свинцово-цинкового рудообразования: геохимические данные и термодинамические модели // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 3. С. 26–36.
4. Ляхов Ю.В., Поздеев К.М. и др. Термобарогеохимическая модель рудной зональности и оценка перспектив Садонского свинцово-цинкового района// Руды и металлы. 1994. № 2. С. 45-54.
5. Тугаринов А.И., Бибикова Е.В. и др. Применение свинцово-изотопного метода исследования для решения вопросов о генезисе свинцовых месторождений Северо-Кавказской рудной провинции // Геохимия. 1975. № 8. С. 1156-1163.
6. Шваров Ю.В. HCh: новые возможности термодинамического моделирования геохимических процессов, предоставляемые Windows // Геохимия. 2008. № 8. С. 898–903.
7. Borisov M.V. Geochemical and thermodynamic models for the genesis of low- and medium-temperature vein mineralization and metasomatism in the wall rocks // Geochemistry International. 2003. Vol. 41. Suppl. 2. PP. S145-S312.
8. Borisov M.V., Bychkov D.A., Volkova M.M., Shvarov Yu.V. Role of water/rock interaction in the formation of ore-bearing solutions and deposition of hydrothermal ore, Sadon Mining District, North Caucasus Mountains, Russia // 16 International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16). 2019. Vol. 98. EDP Sciences (France). Article № 05003.

Количественный минералогический анализ на основе комплексирования оптической и электронной микроскопии на примере бериллиевых руд Ермаковского месторождения

Прямиков Н.А.* (МГРИ, rfoos681@gmail.com),
Алешин А.П. (МГРИ, alexei.aleshin@gmail.com)

Аннотация

Методы количественного минералогического анализа весьма востребованы в технологической минералогии, являющейся основой для разработки эффективных методов обогащения твердых полезных ископаемых. Имеющиеся методы автоматического анализа минерального состава (MLA и TIMA) требуют весьма дорогостоящего оборудования и больших затрат времени.

Предлагаемый подход основан на комплексном использовании цифровых микрофотографий в отраженном свете на оптическом микроскопе и в отраженных электронах на обычном сканирующем электронном микроскопе. Одновременное использование микрофотографий, отражающих независимые свойства минералов (оптические показатели и средний атомный вес) позволяют увеличить надежность распознавания минеральных фаз.

Тестирование разрабатываемой методики на синтетических стандартных образцах показало высокую точность и надежность количественного определения минерального состава, не уступающую аналитическим методам 3-й категории.

Использование комплексной методики при изучении бериллиевых руд Ермаковского месторождения при разработке технологических схем переработки руд позволило распознавать близкие по химическому составу минералы бериллия (бертрандит и фенакит) и экспрессно определять не только минеральный, но и химический состав руд и продуктов их передела, заменяя трудоемкие аналитические методы.

Ключевые слова

Цифровые микрофотографии, отраженный свет, отраженные электроны, технологическая минералогия

Методы количественного минералогического анализа и их развитие

Технологическая минералогия является одним из главных инструментов, определяющих эффективность разработки технологических схем обогащения твердых полезных ископаемых. Минералого-технологические исследования, предваряющие процесс обогащения, позволяют определить формы нахождения полезного минерала в рудах и заранее подобрать наиболее эффективные технологические схемы процесса обогащения, минимизируя трудоемкие исследования [1, 2].

Распознавание минеральных фаз по цифровым микрофотографиям композитных полированных шлифов (шашек), изготовленных из исходных руд, а также промежуточных и конечных продуктов их обогащения, сделанных под оптическим микроскопом в отраженном свете, является основным методом количественного минералогического анализа. Специально разработанный ООО «СИАМС» аппаратно-программный комплекс, названный «Оптико-геометрический анализатор Минерал С7», позволяет не только провести количественный подсчет минерального состава руд и продуктов их обогащения, но и рассчитать основные минералого-технологические показатели руд, необходимые технологам – гранулометрический состав, раскрытие минералов, качество сростков и др.

Однако в отраженном свете нерудные минералы (кварц, полевые шпаты и пр.) по отражательной способности неотличимы от эпоксидной смолы, использующейся как

связующий компонент при изготовлении шашек. Поэтому расчет количества рудных минералов, отнесенный ко всей минеральной массе руд, затруднен.

В настоящее время для минералого-технологических исследований разработаны и используются автоматизированные системы на базе электронных микроскопов, оснащенных двумя или четырьмя энергодисперсионными спектрометрами для ускорения элементного картирования поверхности шашек. Предварительное получение цифровых изображений высокого разрешения в отраженных электронах, отражающих средний атомный вес минеральных фаз, позволяет сегментировать сростки для их последующего анализа химического состава с помощью энергодисперсионной спектроскопии. Специальное программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме диагностировать минералы по химическому составу и рассчитывать минералого-технологические показатели руд. Наиболее известны на мировом рынке две автоматизированные системы – MLA (Mineral Liberation Analyzer, FEI, США) и TIMA (Tescan Integrated Mineral Analyzer, Tescan, Чехия) [2, 3]. Однако, эти системы стоят в 4-5 раз дороже обычных сканирующих электронных микроскопов и требуют значительного времени для исследований (одна шашка анализируется один день).

Целью проводимых авторами исследований является разработка более доступного, чем MLA и TIMA, метода количественного анализа минерального состава руд, лишенного недостатков оптической микроскопии отраженного света. Для этого используется комплексирование анализа цифровых микрофотографий шашек, сделанных в отраженном свете оптического микроскопа, с микрофотографиями в отраженных электронах (BSE – Back Scattered Electrons), полученных на обычном сканирующем электронном микроскопе.

Преимуществом данного подхода является тот факт, что некоторые минералы (например, халькопирит и пентландит) по своему атомному весу неразличимы, поэтому в отраженных электронах имеют одинаковую градацию в оттенках серого. При этом в отраженном свете оптического микроскопа они хорошо различаются. Существуют и обратные ситуации. В связи с этим, распознавание минеральных фаз по двум взаимонезависимым признакам (оптическим свойствам и атомному весу) существенно увеличивает надежность распознавания.

В тех случаях, когда оба признака не дают надежного распознавания, что как правило типично для нерудных низкоотражающих минералов с относительно легкими матрицами, дополнительно проводится микрорентгеноспектральный (энергодисперсионный) анализ таких зерен в конкретном диапазоне градаций серого.

Отдельный вопрос касается точности (относительной ошибки) количественного минералогического анализа. Считается, что ошибка количественного подсчета фаз велика и не позволяет получать надежные результаты. Для исправления этого недостатка была разработана методика количественного анализа, основанная на обработке микрофотографий шашек, изготовленных из тонко измельченного материала руд и продуктов их передела, фракции -0,071 мм (200 меш). Были изготовлены синтетические стандартные образцы литиевых руд из точно подобранных мономинеральных фракций сподумена, кварца, альбита, микроклина, соответствующих содержаниям лития от 0,01 до 3%. Были проведены аналитические определения лития в двух лабораториях методами пламенной фотометрии и атомно-абсорбционной спектроскопии, а также проведен количественный минералогический анализ по микрофотографиям в отраженных электронах.

В результате сравнения аналитических и минералогических данных было установлено, что относительная ошибка количественного минералогического анализа не уступает аналитическим определениям 3-й категории точности. Даже для содержания лития 0,1% (2,7% содержания сподумена в пробе) относительная ошибка не превысила 1%, а максимальная по всем пробам составила 10%, что соответствует 3-й категории точности анализа.

Разработанная методика количественного минералогического анализа была применена при разработке технологии обогащения бериллиевых руд Ермаковского месторождения. Проблемой бериллиевых руд является весьма трудное аналитическое определение бериллия, что обусловлено сложностью полного разложения главных минералов бериллия Ермаковского месторождения – фенакита и бертрандита. Относительная ошибка результатов анализа проб из двух аккредитованных лабораторий достигала 50%.

Количественный минералогический анализ, проведенный на сканирующем электронном микроскопе Vega3 (Tescan, Чехия) по шашкам, изготовленным из исходных руд и продуктов их обогащения, позволил получать экспрессные и надежные данные по минеральному составу проб и содержанию в них бериллия, пересчитанному из количества фенакита и бертрандита в пробах. Оба этих бериллиевых минерала хорошо отличаются от других минералов руд своим низким атомным весом. На рисунке 1 представлен пример микрофотографии шашки из бериллиевого концентрата, полученный в отраженных электронах.

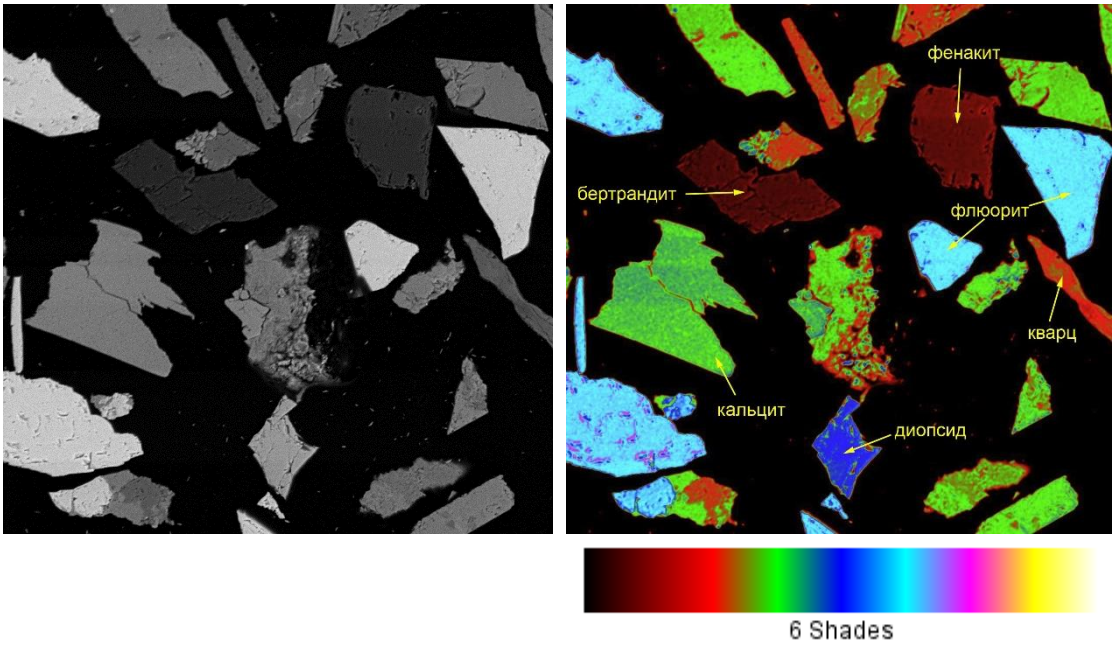


Рисунок 1. Микрофотографии бериллиевых руд в отраженных электронах в градациях серого (слева) и с примененной цветовой шкалой 6 Shades в программе ImageJ (справа). Заметно, что бертрандит и фенакит являются наиболее темными (легкими) минералами руд

Поскольку человеческий глаз плохо различает близкие оттенки серого, микрофотографии были расцвечены различными цветами в программе анализа цифровых снимков ImageJ, используемой для научных целей. Использовалась цветовая схема «6 Shades», составленная из двух цветовых схем RGB и CMYK.

Как видно на микрофотографии, заметно даже различие между бертрандитом ($Be_4Si_2O_7(OH)_2$) и фенакитом (Be_2SiO_4), которые отличаются лишь заменой одного атома кислорода в фенаките на гидроксогруппу в бертрандите. Тем не менее, уменьшение атомного веса всего на 1,72 единицы (с 15,73 до 14,01) достаточно для отличия двух минералов на микрофотографиях в отраженных электронах.

Выводы

В результате проведенных исследований разработан новый подход в количественном минералогическом анализе, используемом при минералого-технологическом изучении руд и продуктов их передела. Метод основан на комплексировании цифровых микрофотографий шашек, полученных под оптическим микроскопом в отраженном свете и в отраженных электронах на сканирующем электронном микроскопе. Использование двух независимых методов позволяет повысить надежность распознавания минеральных фаз.

Анализ шашек, изготовленных из тонкой фракции (-0,071 мм) руд, позволяет повысить точность и надежность количественной оценки минерального состава. Тестирование методики на синтетических стандартных образцах и сопоставление результатов с методами аналитической химии (пламенной фотометрией и атомной абсорбцией) показало высокую сходимость результатов и низкую относительную ошибку, соответствующую методам 3-й категории точности, что не уступает количественным аналитическим методикам, используемым в практике геологических работ.

Разработанная методика позволяет заменить дорогостоящие методы автоматической минералогии (MLA и TIMA) без заметной потери информативности и с существенным сокращением времени проведения анализа.

Библиография

1. Калиниченко Л. С., Башлыкова Т. В., Кушпаренко В. Ю. Ситуационный минералогический анализ как базовый элемент оценки технологических свойств и обогатимости минерального сырья // Рациональное освоение недр. 2015. №5-6. С.15-29
2. Башлыкова Т. В., Калиниченко Л. С., Фищенко Ю. Ю., Макавецкас А. Р., Белокрыс М. А. Ситуационный минералогический анализ как инструмент получения технологических знаний // Рациональное освоение недр. 2020. №6. С.24-37
3. Gu Y. Automated Scanning Electron Microscope Based Mineral Liberation Analysis – An Introduction to JKMRC/FEI Mineral Liberation Analyser / Ying Gu // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. 2003. Vol. 2, №1. P.33-41
4. Hrstka T., Gottlieb P., Skála R., Breiter K., Motl D. Automated mineralogy and petrology – applications of TESCAN Integrated Mineral Analyzer (TIMA) // Journal of Geosciences. 2018. V.63. P.47-63

Подсекция 2.3. Геммология и технология художественной обработки материалов

«Тёйский жад» – серпофит железорудного месторождения (Республика Хакасия) как цветной декоративный камень и использование его для изготовления коллекционных, ювелирных и резных изделий

Краснолуцкий С.А.* (Красноярский краевой краеведческий музей, krasnolucki.ser@mail.ru), Ананьев С.А. (Институт цветных металлов Сибирского федерального Университета, sananiev@mail.ru), Бондина С.С. (Институт цветных металлов Сибирского федерального университета, svetlana.bondina@gmail.com)

Аннотация

Серпентиниты Тёйского железорудного месторождения находятся в Республике Хакасия (Енисейская Сибирь). По происхождению месторождение контактово-метасоматическое (скарновое). Наряду с магнетитом и гематитом, руды содержат серпентин, карбонаты (кальцит, доломит), флогопит, пирит. Серпентин представляет собой плотную, слегка просвечивающую разновидность, относимую к серпофиту. Как самостоятельно, так и в сочетании с другими минералами руд является высокодекоративным поделочным камнем. Для него характерна разнообразная и богатая палитра красок: от типичных зеленых оттенков до розовых, белых, жёлтых, оранжевых, голубых, красных и чёрных цветов. Камень принимает полировку высокого качества и пригоден для изготовления ювелирных, галантерейных изделий, а также для производства сувенирной продукции и высокохудожественных резных изделий.

Ключевые слова

Республика Хакасия, Тёйское железорудное месторождение, серпофит, поделочный камень

Теория

Тёйское железорудное месторождение находится в Республике Хакасия в пределах горной системы Кузнецкого Алатау Алтае-Саянской складчатой области. Месторождение было открыто в 1930 г. Рудовмещающей на месторождении является крутопадающая толща известняков и доломитов среднекембрийского возраста. По происхождению месторождение контактово-метасоматическое (скарновое). Разрабатывалось оно с 1960 года открытым способом.

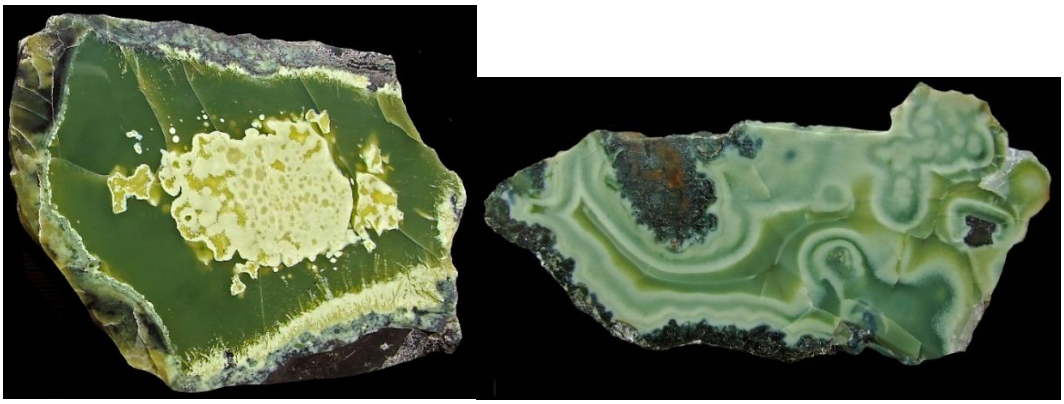
Руды месторождения делятся на магнетитовые (5%), гематит-магнетитовые (8%), серпентин-магнетитовые (60%), карбонат-магнетитовые (25%), карбонат-серпентин-флогопит-магнетитовые (2%) [2]. Серпентин-магнетитовые и гематит-магнетитовые руды содержат в своем составе декоративный серпофит. Он получил местное название «тёйский жад» («хантигирит») – красивейший камень, имеющий в составе серпентин (хризотил, антигорит, лизардит), магнетит, амфибол, флюорит, пирит, гематит, гидрооксиды железа, кальцит, графит, флогопит, хлорит, брусит, тальк, кальцит, кварц и везувиан. Интенсивность зеленой окраски серпофита зависит от степени раскристаллизации серпентина. Наиболее полно раскриталлизованный серпентин имеет нефритоподобный облик.

Тёйское месторождение серпентинитов вскрыто карьером на глубину 400 м. И, хотя месторождение к настоящему времени отработано, в отвалах оно имеет значительные запасы поделочного камня [3].

Выделения серпофитов в железных рудах месторождения могут достигать значительных размеров, о чем свидетельствует обнаружение в отвалах глыб с размером более одного метра.

Камень принимает полировку высокого качества. По своей цветовой палитре он близок к бирманским жадеитам (Республика Мьянма), которые в руках профессиональных резчиков превращаются в яркие и красочные изделия.

Уникальной особенностью тёйских серпофитов является их высокая декоративность. Для этого камня характерна разнообразная и богатая палитра красок. Чаще всего они имеют обычную зеленую гамму цветов (рисунок 1а, б). Некоторые из них имеют агатоподобный рисунок (рисунок 1б).



а б

Рисунок 1а, б. Полировки обычных по цвету тёйских серпентинитов.
Размер полированных срезов варьирует от 5 до 18 см. Автор С.А. Краснолуцкий

Для этого камня характерно удивительное сочетание необычных цветов: ярко-красный, фиолетовый, розовый, коричневый, оранжевый, желтый, чёрный, белый, голубой, которые не свойственны типичным серпофитам. Особенно выделяются камни с контрастными переходами от зеленых цветов к ярко красным и другим цветам (рисунок 2а, б). Главными красящими пигментами являются включения гематита. Его распределение и концентрация определяют рисунок и цвет камня. Наблюдаются пятнистые, петельчатые, агатовидные, прожилковидные, прожилковидно-пятнистые, пламеневидные и другие текстурные рисунки [3, 4].



а б

Рисунок 2а, б. Плоская полировка (а) (3,5х7 см) и кабошоны (б)
из тёйских серпофитов. Автор С.А. Краснолуцкий

Необычны розовые, фиолетовые и коричневые камни (рисунок 3а, б).



а б

Рисунок 3а, б. Кабошоны и полировки необычных по цвету серпофитов.
Автор С.А. Краснолуцкий

Тейский серпофит пригоден для изготовления высокохудожественных ювелирных украшений – колье и серег (рисунок 4а, б).



а б

Рисунок 4а, б. Колье и серьги «Огонь» (а) и «Деревья и облака» (б).
Автор С.А. Краснолуцкий

Декоративные особенности тёйских серпентинитов-серпофитов прекрасно раскрываются в скульптурной пластике мастера резьбы по камню Сергея Анатольевича Краснолуцкого (рисунок 5а, б) [3, 4].



а б

Рисунок 5а, б. Композиции: (а) «Шаги у костра», 30х18х8 см; «Речка», 23х15х12 см. Автор С.А. Краснолуцкий

Выводы

Поделочный серпентинит принимает полировку высокого качества и пригоден для изготовления ювелирных, галантерейных изделий, а также для производства сувенирной продукции и высокохудожественных резных изделий [1]. Представленный фотографический материал изделий из цветного «тёйского жада» – серпофита демонстрирует высокие декоративные качества этого камня с богатой и разнообразной палитрой красок.

Библиография

1. Буканов В. В. Цветные камни. Энциклопедия. - Прага: Издательство «Гранит», 2008. — 416 с.

2. Калугин А.С., Калугина Т.С, Иванов В.И. Железорудные месторождения Сибири. Новосибирск, 1981. – 238 с.

3. Ювелирные и коллекционные камни Енисейской Сибири: монография: в 2 ч. Ч. 2. Республика Хакасия и Республика Тыва / С. А. Ананьев, С. С. Бондина, Т. А. Ананьева, Ю. А. Задисенский / отв. ред. А. М. Сазонов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2024. – 316 с.

4. https://gnkk.ru/articles/dinozavr-kakikh-eshhe-poiskat/

Анализ применения халцедона в декоративно-прикладном искусстве

Пономарева К.С. (Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ksups2005@gmail.com)

Аннотация

Халцедон представляет собой скрытокристаллическую разновидность кварца, благодаря высоким физико-механическим и декоративным характеристикам, он имеет долгую историю применения в художественных изделиях. Поскольку материал относится к группе твердых камней, изделия из него имеют высокую сохранность на протяжении исторической ретроспективы, что позволяет их изучать и выявлять характерные эстетические и технологические изменения в использовании данного самоцвета. В работе проведен анализ применения халцедона в аутентичных и современных украшениях, выявлены их характерные особенности.

Ключевые слова

Халцедон, сердолик, агат, хризопраз, ювелирное искусство, декоративно-прикладное искусство, камнерезное искусство

Теория

Применение каменных материалов в ювелирных и художественных изделиях носит частый характер благодаря цветовому многообразию, текстурным разновидностям, высокому блеску и устойчивости ко внешним факторам. Интерес к данным материалам наблюдается как в древних культурах, так и в современной дизайн-промышленности. Халцедон вызывает интерес, поскольку он имеет большое видовое многообразие по цветовым и текстурным характеристикам, а его месторождения встречаются во многих странах, а на территории России — это Забайкалье, Сибирь, Карелия, Крым, Кавказ и др.

Первоначальным использованием данного минерала являлись не художественные изделия, а орудия труда – копья, стрелы, ножи, топоры (каменный век). Наиболее популярным камнем для указанных изделий являлся кремень, однако часто встречаются образцы орудий из серого халцедона. С развитием металлургии каменные орудия труда заменяются на металлические, а камню отводится другая роль – он становиться материалом для строительства и украшения.

Среди древних культур особое место занимает *Месопотамия,* в том числе и в обработке твердого камня. Запасы камня в Месопотамии, по сравнению с другими древними цивилизациями, были скудными [3], поэтому камень там считался материалом драгоценным и использовался только для изготовления небольших по размеру предметов (бусы, печати).

Искусство Египта отмечено камнерезными миниатюрами из сердолика (оранжево-коричневого халцедона), это изображения людей или животных, которые могли служить как самостоятельной статуэткой, так и частью ювелирного изделия, например, кольца или подвеса. Другим примером применения халцедонов в украшениях являлось использование сердолика и хризопраза (зеленый халцедон) в качестве инкрустированного материала в золотые изделия.

Развитие резьбы по твердому камню получило свое обособленное развитие в *Греции*, где зарождается искусство глиптики, представленное инталиями и камеями. Материалом для них были агаты (полосчатая разновидность халцедона) для камей и сердолик для изготовления инталий. Сердолик и глазковый ониксовый агат также встречаются в форме бусин и кабошонов в ювелирных изделиях.

Римская империя переняла традиции Греции во многих видах искусства, в том числе ониксовой глиптики. Однако возрастает пышность римских украшений по сравнению с Грецией. Камеи становятся более крупными и многосюжетными. Сердолик, как и в предыдущих культурах, часто используется для изготовления бус. Активное развитие получили вазы и кубки из твердых камней, таких как агат.

В *Византии* происходит упадок культуры обработки камня, однако, византийские мастера также владели глиптикой, но техника резьбы становится более грубой и примитивной, а мифологические и портретные сюжеты античности заменяются на христианские мотивы. Материалом для камей по-прежнему служил агатовый оникс, но в качестве новаторских материалов стали использовать рисунчатые непрозрачные камни, такие как яшму, кремень или гелиотроп. Сами камеи стали украшать более крупные изделия: сосуды, оклады и др. Инталии также встречаются, для их изготовления предпочтение отдается, как и прежде сердолику.

Зарождение *эпохи Средневековья* – переходного от периода Античности до Нового времени, отмечено окончательным отходом от культуры античного времени, а конец – возрождением интереса к ней. В эпоху Средневековья не происходит существенных подъемов в технологических и художественных аспектах в обработке твердого камня.

Эпоха Возрождения характеризуется технологическим прорывом в обработке самоцветов. Появляются «шлифовальные мельницы», открывается современный способ фацетной огранки камня [5]. Данную эпоху отличает стремление к роскоши, что подтверждалось частым использованием камней в изделиях. Происходит возрождение искусства глиптики. Камеи вновь становятся искусно проработанными и изящными по своему внешнему виду. Материалами для камей по-прежнему являются агатовый оникс, сардоникс, сердолик. Появляются изделия, имитирующие камею, когда на ониксовый кабошон помещается декоративное изображение из металла.

Чаши, вазы и бокалы из халцедона, богато декорированные металлическими оправами, являются традиционными изделиями того периода. В Европе в данный период вошло в моду коллекционирование агатовых кубков. Материалом для них выбираются яркоокрашенные халцедоны и агаты, в том числе с неоднородной вкрапленной текстурой, в частности линкурий (*устареш.* – желтый халцедон), сердолик.

XVII в. является веком забвения твердого камня в Европе, в моде украшения из органоминеральных материалов – коралла, янтаря, перламутра, черепахового панциря. Обработка камня главным образом проявляется в искусстве флорентийской мозаики и инкрустации.

В *XVIII в.* меняется отношение к цветному камню, вновь увеличивается ассортимент изделий из халцедона и виды данного минерала, применяющегося в художественной обработке. В эпоху стиля барокко и рококо ювелирные изделия усложнены и обладают перегруженным декором, зачастую нарушающие чувство меры. Ювелирная пластика характеризуется тяжеловесностью форм. Только в эпоху стиля классицизм вновь возобладает чувство меры и гармонии в произведениях искусства, в том числе и декоративно-прикладного. Агатовый оникс в данный период именуется «королем камней». Более того начинают использоваться халцедоны с нарушениями структуры, которые создают оптические и декоративные эффекты: гелиотроп, окаменелое дерево, моховой агат. В ювелирных украшениях, халцедон, агатовый оникс, гелиотроп – придают цвет изделию, а окружение ограненными прозрачными бриллиантами добавляет блеска [2].

Халцедон становится материалом для предметов домашнего обихода: табакерки, часы, портсигары, пудреницы, набалдашники на трость, рукояти для оружия, несессеры, пресс-папье, запонки, пуговицы, броши и др. Наиболее часто данные изделия представляют собой каменную основу, декорированную богатым металлическим орнаментом, иногда дополнительно украшенную ограненными драгоценными камнями.

Для *России* эпоха Екатерины II – расцвет империи самоцветов. При ней открываются много месторождений, камни начинают коллекционировать, в том числе Екатерина II формирует в Зимнем дворце коллекцию античных гемм. Начинается бурный расцвет монументального камнерезного искусства в Петербурге, который продолжается почти целое столетие.

XIX в. вновь знаменуется упадком в обработке камня — продолжаются традиции предыдущего века, но без новаторских идей и в более скромных масштабах.

Конец *XIX начало XX вв.* окончательно провели границу между массовым и элитарным ювелирным искусством [1]. В меняющихся условиях минералы агатовой группы, не потеряли актуальности, и применялись в обеих группах изделий, но совершенно в разных художественных формах.

Так *XX в.* господствующее место в развитии мирового ювелирного искусства занимает российская фирма Фаберже, работы которой нацелены в первую очередь на высокое сословие. Фирма Фаберже выводит резьбу по твердому камню на новый уровень, создавая кабинетную пластику в анималистическом стиле, флористические композиции, или изображая людей, например, в серии «Русские типы». Подобные изделия создаются и в Европейских странах, в том числе в фирме Картье, но в меньших масштабах. Таким образом, создаются высокохудожественные дорогостоящие изделия, сочетающие в себе металл и камень. Минералы халцедона часто встречаются в изделиях данной группы.

Другим примером применения халцедона в элитарных изделиях того периода являются прикладные функциональные изделия: рамки для фотографий, портсигары, шкатулки, флаконы для духов и др. Здесь используются в основном полосчатые агаты, а поверхность камня чаще всего остается гладкой. В изделиях массового производства в основном использовался ониксовый агат, поверхность которого оставалась гладкой, а для выявления его декоративных характеристик камень наиболее часто подвергался искусственному окрашиванию. С середины XX в. появляется новый интерьерный объект – настенные картины. Для этого используются пластины пейзажного агата, служившие фоном для нанесенного поверх него красками, или каменной крошкой пейзажа.

В *XXI в.* все больше агат становиться элементом декорирования интерьера. Так из пластин агата, создаются панели, которыми частично облицовываются внутренние помещения, изготавливаются столешницы. Востребован рассматриваемый минерал и в ювелирных украшениях [4]. Активно применяются кабошоны разных, в том числе фантазийных форм, из одноцветного халцедона (сапфирин, хризопраз, серый халцедон, сердолик). Моховой агат применяется в виде абстрактных вставок в изделия. Встречаются ювелирные изделия с резными каменными элементами, в основном флоральных мотивов, из сердолика, серого халцедона, сапфирина (голубой халцедон). Изготавливаются кольца, нацело состоящие из минералов халцедоновой группы.



Рисунок 1. Частота использования халцедона в зависимости от исторического периода

Выводы

Таким образом, прослежены основные формы применения каменного материала, в частности халцедона. Выявлено существование традиционных декоративных форм каменных изделий, которые используются на протяжении многих веков и применяются по сей день.

Проанализирована частота использования халцедона в исторической ретроспективе, что показано на рисунке 1. Полученные данные свидетельствуют, что интерес к данному минералу был постоянным, и сегодня не наблюдается спад. Более того на протяжении всей исторической ретроспективы прослеживается как декоративное, так и утилитарное применение халцедона, сначала это система: орудия труда - украшения (бусы), затем: печать - украшения (камеи), позже: сосуды, ларцы - украшения (кабошоны). Начиная с XVI в. встречаются все вышеперечисленные виды изделий из халцедона.

Библиография

1. Баженова О. К. Изделия из цветного камня второй половины XVIII – XX вв. В собрании ГМЗ «Павловск» Гос. музей-заповедник «Павловск» / О. К. Баженова // Т. XIII. – СПб.: ГМЗ «Павловск», 2013. – 196 с.

2. Жукова Л. Т. Исследование колористических свойств минералов группы халцедона / Л. Т. Жукова, К. С. Пономарева // Дизайн. Материалы. Технология. – 2013. – №2 (27) – СПб.: СПГУТД – С. 54 – 56.

3. Мавродина Н. М. Искусство русских камнерезов XVIII–XIX веков / Н. М. Мавродина. – СПб.: Изд-во Государственного Эрмитажа, 2007. – 560 с.

4. Перфильева И. Ю. Русское ювелирное искусство XX века в контексте европейских художественных тенденций. 1920 – 2000-е годы. / И. Ю. Перфильева. – М.: Прогресс-Традиция, 2016. – 512 с.

5. Пономарева К. С. Природный и искусственный агат в ювелирных, художественных и галантерейных изделиях / К. С. Пономарева, Л. Т. Жукова // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб.: СПбГУПТД. – 2016. – №4 (44). – С. 20 – 26.

Находка минералов группы цеолита во вмещающих породах месторождения кахолонга Сарыктау (горы Букантау, Узбекистан) как поисковый признак на кахолонг

Нуртаев Д.Б.* (Институт геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева, nurtaevd@gmail.com)

Аннотация

На территории Узбекистана месторождения кахолонга и опала известны только в Кызылкумском регионе, где они добывались еще во времена кельтеминарской культуры – период позднего неолита и ранней бронзы – датируемой VI-III тыс. до н. э. Прекращение добычи кахолонга – появление металлических орудий. Основная часть проявлений кахолонгов в Узбекистане расположена в горах Букантау. На месторождении Сарыктау были найдены цеолитсодержащие породы, которые, по представлениям А.А. Колдаева, могут быть источником необходимых компонентов для образования кахолонга.

Ключевые слова

Цеолит, кахолонг, месторождение, Букантау, Узбекистан

Теория

Месторождение кахолонга Сарыктау находится на южных склонах гор Турбай (Букантау) (Рис. 1).



Рисунок 1. Отвал, сложенный обломками, щебнем, рыхлыми отложениями сланцев (черные) с массой светлых маршаллитизированных желваков кахолонга (западное окончание траншеи, месторождение Сарыктау)

В геологическом строении принимают участие углеродисто-слюдисто-кварцевые, углеродисто-слюдистые сланцы, алевролиты кокпатасской свиты PR_2kp с линзами кварцитов, прорванных штоками гранитов и гранодиоритов [2]; рудные тела кахолонга приурочены к линейной коре выветривания, имеют линзовидную форму с пережимами и раздувами; протяженность тел до 120 м, мощность 3-9 м.

Кахолонг белого, серовато-белого цвета, образует желваки неправильной, изометричной формы размером от 3-5 до 15-20 см. Практически все желваки, как в коренном залегании, так и в отвалах пород, покрыты коркой маршаллита глубиной до нескольких мм.

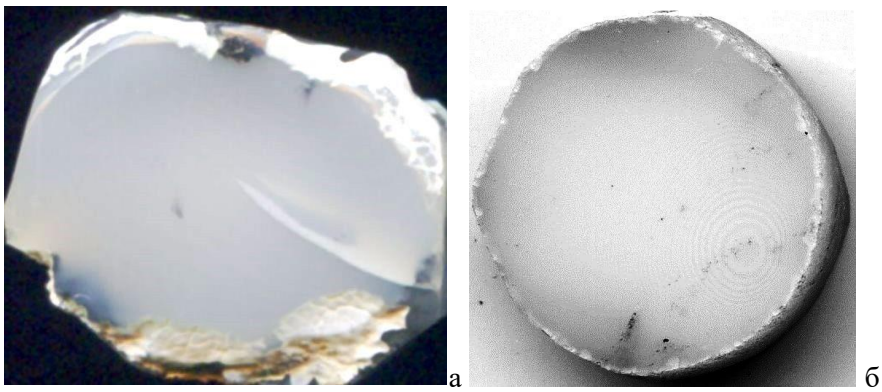


Рисунок 2. Субсогласное залегание кахолонга в сланцах

Как видно из Рис. 2, на всех обнажениях, вскрываемых в стенках траншеи, скопления кахолонгасовершенно отчетливо группируются субсогласно падению вмещающих пород, в крыльях складок,что может указывать на их осадочно-диагенетическое происхождение в период формирования углеродистых толщ.

Образцы, отобранные по разрезу (Рис. 3) и представленные углеродисто-глинистыми сланцами с включениями желваков кахолонга, исследовались на вероятность нахождения в них цеолитов.

Микрозондовым анализом в матрице кахолонга установлены округлые диаметром 600-700 мкм, выполненные кристаллическим агрегатом хлористых солей калия, натрия и содержащих (%): K_2O - 23,83, Na_2O – 9,27 и Cl – 21,10.



а б

Рисунок 3. Кахолонги месторождения Сарыктау, увеличение х3

Кроме того отмечаются: единичные чешуйки (180х200 мкм) энстатита (%) – MgO - 32,89; SiO_2 - 66,46; Fe_2O_3 - 0,45; биотита (5х10 мкм): MgO - 8,53; SiO_2 - 56,31; Al_2O_3 - 10,88; Fe_2O_3 - 2,91; K_2O - 6,60; TiO_2 - 2,81, а также концентрация на отдельных участках (первые единицы микрона в поперечнике) в кахолонге соединений (%): Al_2O_3 - 5,05; FeO - 0,80; K_2O - 1,0; оксидов железа Fe_2O_3 - 13,89, а также MgO - 4,46; Al_2O_3 - 3,93; FeO - 1,78 и оксида свинца (1х1 мкм) PbO 10,67: SO_3 - 0,53. Наличие соединений алюминия, магния, калия, закисного и окисного железа может сопровождаться на отдельных участках кахолонга.

В матрице кахолонга светло-серого цвета содержание SiO_2 составляет 98,68%, в кахолонге серого цвета - 97,50%. Минерал содержит частые дырчатые полости шириной до 3-

5 мкм, содержащие включения гипса, соли натрия и калия, и, предположительно, звездчатой формы (3х5 мкм) реликты натролита (Na_2O - 9,19, Al_2O_3 - 16,98, SiO_2 - 62,60).

Исследование аншлифа на микроанализаторе JXA-8800Rh показало, что плотные серого цвета участки породы (Рис. 4) имеют скрытокристаллическое сложение, пронизанное многочисленными микротрещинами и микропустотами выщелачивания; подверглись процессам перекристаллизации с образованием агрегата микроигольчатого сложения. По данным анализа порода содержит переменные количества основных компонентов (Табл. 1, № 14, 16), что связано с постоянным присутствием Fe_2O_3. И только в двух точечных замерах (№18, 1), их химический состав соответствует анальциму (Табл.1, №30).

Анальцимсодержащая порода содержит включения: редкие линзовидные выделения (длина до 1 мм, мощность до 150 мкм) иттербийсодержащего (Yb2O3 1,00%) кальцита, коррозируемого основной натрийсодержащей массой; ванадийсодержащего рутила (TiO_2 61,56-97,20; V_2O_5 1,59-2,26%) и фосфатов редкоземельных минералов (REM), часто - Ce_g и редко - Y_g групп.

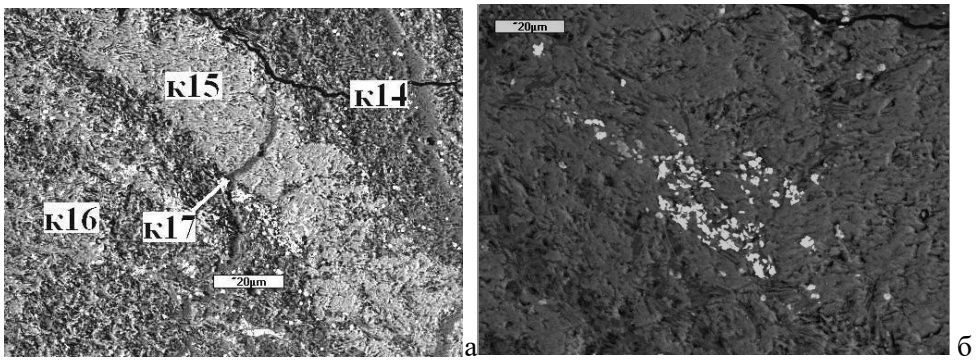


Рисунок 4. А. Цеолитсодержащая порода (к14, к16) с линзой кальцита (к15), содержит включения $REMY_g$ (17) и частые – оксидов железа (яркие точечные выделения). Б. Массивная цеолитсодержащая порода (темно-серая) с включениями зерен: рутила (серые), $REMCe_g$ (яркие светлые) и оксидов железа (мелкие яркие)

Таблица 1. Содержания компонентов в цеолитсодержащей породе (масс. %)

Компоненты	Номера анализов								
	14	16	18	19	5	1	4	7	30
Si_2O	49,87	50,76	56,95	14,96	34,39	56,12	47,03	16,77	54,47
Al_2O_3	25,50	27,69	23,00	14,13	14,99	19,02	25,44	9,64	23,29
Na_2O	5,98	6,44	13,37	8,60	7,23	14,22	11,84	2,96	14,07
K_2O	-	1,37	2,23	-	0,85	-	5,64	-	н
CaO	1,37	0,55	1,61	1,26	0,95	1,25	0,91	0,82	
Fe_2O_3	0,70	0,77	0,83	-	31,27	0,87	1,84	50,79	
FeO	н. оп.	н. оп.	н. оп.	13,79	н. оп.	н. оп.	н. оп.	н.оп.	
TiO_2	-	-	-	24,14	-	-	-	0,41	
V_2O_5	-	-	-	0,61	-	-	-	0,37	

Примечание к Таблице 1: Анализы: 5, 14, 16, 18, 19 – плотные выделения цеолитов; 1 – плотное выделение, обрамленное игольчатыми зернами; 4, 7 – то же игольчатые; 30 – химический состав анальцима по Е.К. Лазаренко (с. 344, 1971). Н. оп. – не определялось; прочерк – ниже чувствительности анализа

В процессе гипергенного воздействия в анальцимсодержащей породе возникают новообразования в виде игольчатых, сферолитовых (начальные стадии перекристаллизации) агрегатов с частыми включениями оксидов железа и завершающихся полным разложением цеолитов с образованием кахолонга (опала) [1,3, 5].

Выводы

Ранее генезис опалов (кахолонга) в Центральных Кызылкумах рассматривался как продукт разложения в коре выветривания различных цеолитов. Нахождение хлористых солей натрия и калия, глинозема, оксида магния в кахолонге можно рассматривать как остаточных продуктов разложения цеолитов.

Таким образом, новая находка цеолитсодержащих низкотемпературных метасоматитов и разложение их с образованием кахолонга (опала), подтверждает представления А.А. Колдаева [4] о генезисе последних при изменении цеолитсодержащих пород. Поиски новых проявлений цеолитов на месторождениях кахолонга (опалов) Центральных Кызылкум будут основываться на этих положениях.

Библиография

1. Абдуллаев А.А., Арипов Е.А., Ахмедов К.С., Колдаев А.А. Природные сорбенты цеолитовой структуры. Издательство ФАН Узбекской ССР. Ташкент, 1974. 108 с.
2. Гербек Э.Ф. Полезные ископаемые в Западном и Южном Узбекистане. Неметаллы. Ташкент, 1982. 268 с.
3. Колдаев А.А. Кора выветривания габброидов, гранитоидов Бельтау и приуроченная к ней цеолитовая минерализация (Центральные Кызылкумы). Ташкент, 1973. 226 с.
4. Колдаев А.А. Цеолитсодержащие породы Западного Узбекистана и проблемы их использования. – Ташкент,«ФАН», 1989. 120 с.
5. Колдаев А.А. Опал (кахолонг) и цеолиты Центральных Кызылкумов: поисковое значение и практическое применение. // Горный вестник Узбекистана,№74. 2018. С. 38-42.

Перспективы получения костных материалов на основе органоминерального природного сырья для производства декоративно-прикладных изделий

Ахметшин Э.А. (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 4966945@mail.ru),
Долматова П.Ф.* (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Pauline.Doll@yandex.ru)

Аннотация

Натуральная кость — ювелирный материал для изготовления предметов роскоши и декоративно-поделочных изделий. Однако, например, слоновая кость, несмотря на весьма значительный спрос на неё, ограничена в использовании прежде всего по причине запретов на продажу и её крайне высокой стоимости. В связи с этим растёт потребность в аналогах и имитациях. Современные производители, такие как Elforyn и Ivorite, предлагают материалы, основанные на синтетическом гидроксиапатите и полимерных связующих, но они лишь имитируют внешний вид натуральной кости, не обладая всем спектром свойственных ей качеств.

В серии экспериментов получены органоминеральные композиты на основе модифицированного костного сырья с добавлением желатинового связующего, продемонстрировавшие характеристики, сопоставимые с естественной костью, бивнем слона и др.

Ключевые слова

Слоновая кость, имитация, композит, полимер, гидроксиапатит

Теория

Натуральная слоновая кость является основой для изготовления предметов роскоши и элитного потребления. Помимо слоновой кости к ювелирно-поделочным материалам органогенного происхождения и являющиеся разновидностью «кости» относятся костные материалы нарвала, бородавочника, кашалота, гиппопотама и моржа; также к слоновой кости относят бивни мамонтов [4]. Этот материал традиционно используется для создания эксклюзивных декоративно-прикладных изделий – от заколок, расчёсок и рукояток ножей до статуэток [1]. Однако применение природной кости ограничено не только строгими международными запретами (например, конвенция СИТЕС 1989 года с поправкой 2018 года, «Ivory Act»), но и высокой стоимостью, что приводит к дефициту материала на рынке [4]. В связи с этим возник значительный спрос на аналоги, позволяющие расширить ассортимент изделий из костных материалов.

Современные производители имитаций кости в основном используют синтетическое сырьё. Так, например, материалы Arvorin Plus и Resin+Ivory+S изготавливаются на основе полимерных смол. При этом для создания рисунка, напоминающего поперечные спилы натуральной кости, применяются столбчатые структуры из светлого полимера, скреплённые более тёмной смолой. Эти материалы не флюоресцируют под воздействием коротковолнового и длинноволнового ультрафиолета и характеризуются сравнительно низкой удельной плотностью (около 1,24 г/см³). Достичь требуемой твёрдости и долговечности как у естественной кости не позволяет отсутствие в данных составах минеральной составляющей [5].

Материалы, выпускаемые под марками “Elforyn Super Tusk” и “Elforyn Juma”, отличаются высокой твёрдостью – 80 по Шору и около 55 по Роквеллу. Они не впитывают воду, не флюоресцируют и состоят примерно на 89% из минеральной составляющей.

Несмотря на высокие показатели механических свойств, точный состав этих композитов остается коммерческой тайной, что затрудняет оценку их полной идентичности натуральной кости [7, 8, 9].

В 2019 году учёные из Института исследований твёрдого тела им. Макса Планка разработали органоминеральный композит, состоящий из гидроксиапатита ($Ca_5(PO_4)_3OH$) и желатина. Полученные композитные пластины обладают однородной светлой текстурой и тактильными свойствами, близкими к естественной кости, с твёрдостью около 0,4 ГПа (порядка 4 по Моосу) и плотностью 1,6 г/см³. Главный недостаток данного материала заключается в его однородности – структура, характерная для натуральной кости, в нём не воспроизводится [6]. Помимо указанных производителей существуют и другие, но всех их объединяет один ключевой недостаток – использование синтетических компонентов в качестве основы материала.

Учитывая вышеописанные ограничения зарубежных наработок, авторами был проведён ряд экспериментов по получению композитного материала на основе органоминерального сырья естественного происхождения.

Основным этапом изготовления композитного материала стало извлечение гидроксиапатита (ГАП) и его производных из натурального органоминерального сырья (костной муки). Обработка сырья включает поэтапный процесс очистки. На первом этапе проводилось двухступенчатое обезжиривание костных остатков [2]:

1) удаление жиров с помощью слабых щелочных растворов;
2) вторичное обезжиривание концентрированными растворами щелочей.

Полученный таким образом осадок далее был высушен и промыт диметилкетоном; затем снова высушен и окончательно обезжирен. Остатки соединительной ткани и фибриллярных белков удалялись с помощью пероксидных растворов. После тонкого перемола (рисунок 1) чистый минеральный остаток исследовался с помощью рентгенофазового анализа (рисунок 2).



Рисунок 1. Очищенный минеральный остаток после перемола

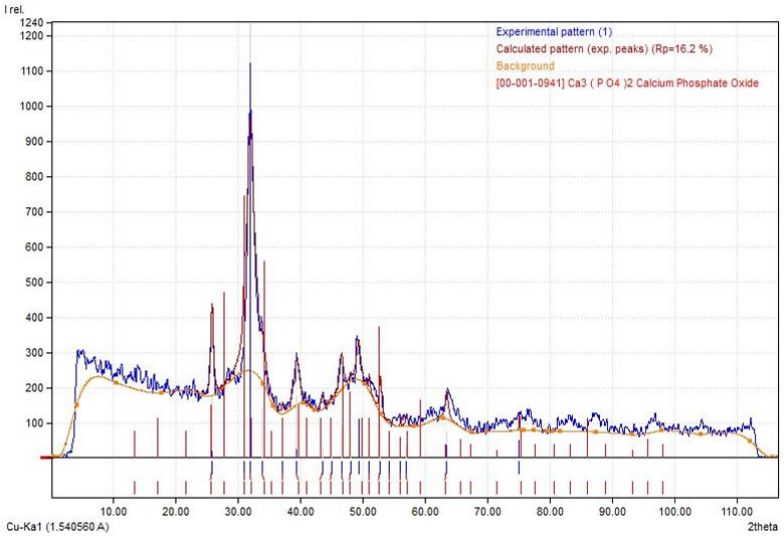


Рисунок 2. Результаты РФА очищенного минерального остатка

Далее к минеральной фазе добавлялось связующее – желатин с добавлением незначительного количества окислителя. Полученную густую массу подвергали горячему прессованию, что способствовало ускоренной полимеризации и формированию плотной структуры композита.

Природная сухая обезжиренная кость обладает плотностью в диапазоне от 1700 до 1900 кг/м^3 (1,7-1,9 г/см^3) [3]. В рамках эксперимента удалось достичь плотности образцов от 1,640 до 1,876 г/см^3, что близко к плотности природной кости. Измерения показали, что плотность изготавливаемого материала напрямую зависит от условий прессования: наиболее плотные образцы получались после прессования при температурах близких к 100 °С.

Также была определена эффективная пористость образцов. Наименьшее значение, достигнутое в рамках эксперимента, составило 15,87%. Измерения показали, что величина эффективной пористости изготавливаемого материала также напрямую зависит от условий прессования.

Образцы материала также обладают хорошими органолептическими свойствами (тактильными свойствами, белизной, отсутствием запаха) и хорошо поддаются полировке (рисунок 3). Таким образом, в серии заключительных экспериментов были получены образцы, обладающие характеристиками, сопоставимыми с естественной костью, что подтверждает перспективность использования природного костного сырья для создания полноценных заменителей натуральной кости.

Выводы

Поэтапное обезжиривание и удаление остаточных белковых материалов щелочными и пероксидными растворами позволяет получить шихту для дальнейшего производства костных композитов. При использовании желатина в качестве связующего увеличение температуры прессования приводит к уменьшению пористости и к увеличению плотности получаемого материала. Так, например, при температуре прессования 60°С плотность и пористость образца материала составили 1,757 г/см^3 и 20,012% соответственно, когда как при 100°С эти показатели составили 1,876 г/см^3 и 15,869%.



Рисунок 3. Полученный композитный костный материал: скол и приполированная поверхность торца полученной пластины (увеличение х3.5)

Для получения полноценного, идентичного природной кости материала, в дальнейшем планируется изучение прочностных характеристик и их связь с такими параметрами как тонкость помола исходной шихты, тип связующего, режим прессования и другие.

Библиография

1. Слоновая кость. Применения и свойства [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://tvoi-uvelirr.ru/slonovaya-kost (дата обращения: 20.02.2025)
2. С. С. Онищенко. Практическое руководство по изучению мелких млекопитающих / С. С. Онищенко, В. Б. Ильяшенко, Е. М. Лучникова, Н. С. Теплова, Е. В. Бибик, Н. В. Скалон. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2010. – 98с.
3. Строение и химический состав кости [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://promeat-industry.ru/zhivotnye-zhiry/1539-stroenie-i-himicheskiy-sostav-kosti-chast-4.html (дата обращения: 22.02.2025).
4. Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Материалы X Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле». Т. 2 : Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минералогия, геохимия и петрография
5. Britni LeCroy, Dylan Hand. Resin Imitation Ivory with a Pseudo “Engine-Turned” Structure - Gems & Gemology, Fall 2019, Vol. 55, No. 3, p 419
6. Dieter Fischer, Sarah C. Parks, Jochen Mannhart. Bio-Inspired Synthetic Ivory as a Sustainable Material For Piano Keys - Sustainability 2019, 11(23), 6538
7. Elforyn®-Juma® [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.elforyn.info. — (Дата обращения: 22.01.2025).
8. G. Bortolaso. Imitations and substitutes for ivory: A short history - BfN – Skripten 228, 110p, 2008. p 27
9. In the business of saving elephants – Sonia Agarwal’s Whitenife [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://yourstory.com/2013/05/in-the-business-of-saving-elephants-sonia-agarwals-whitenife/amp. — (Дата обращения: 22.01.2025).

Улучшение цветовых характеристик малханских турмалинов радиационными методами воздействия

Климкин И.А.* (Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, klimkin.ivan.aleksandrovich@gmail.com),
Ахметшин Э.А. (Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, 4966945@mail.ru)

Аннотация

Турмалин на сегодняшний день представляет интерес в первую очередь как востребованный материал ювелирной отрасли благодаря широкой вариативности окраски, наличию двулучепреломления и высокой твёрдости. Однако на месторождениях этого самоцвета наблюдается рост тенденции сокращения объёмов добычи кристаллосырья с эталонными цветовыми характеристиками. Существующие методы модифицирования не в полной мере удовлетворяют запросы потребителей, поэтому поиск иных способов улучшения окраски является актуальной задачей.

Методы радиационного воздействия позволяют разрешить эту проблему благодаря особенному механизму воздействия на материал. С помощью рентгеновского излучения энергией 20 кэВ и суммарным временем экспозиции 30 часов удалось создать стойкую яркую оранжевато-жёлтую окраску у исходно бледноокрашенных турмалинов путём формирования в них дырочных центров окраски.

Ключевые слова

Малханское пегматитовое поле, турмалин, модифицирование окраски, рентгеновское облучение

Теория

Турмалин является уникальным и одним из наиболее перспективных материалов современного мира. Пьезо-, трибо- и пироэлектрические свойства делают его практически незаменимым в радиоэлектронике. Широкая вариативность окраски, наличие двулучепреломления, высокая твёрдость и отсутствие спайности позволяют применять турмалин как популярное, дорогостоящее ограночное сырьё [1].

Турмалин имеет множество разновидностей, из которых наиболее ценной является эльбаит – $Na(Li_{1,5}Al_{1,5})Al_6[Si_6O_{18}](BO_3)_3(OH)_3(OH)$. Благодаря исключительно вариативному примесному составу этот камень демонстрирует широчайшую палитру окрасок, включающую также полихромные разности. При этом на его месторождениях кристаллосырьё эталонного цвета постепенно исчерпывается и на данный момент уже более 90% от всего вала добываемого материала приходится на несортовые бледно- и тёмноокрашенные разности. В связи с этим возникает вопрос о поиске методов улучшения цветовых характеристик подобных турмалинов [1, 2].

Существующая проблема может быть решена применением технологий по термообработке. Но несмотря на их простоту и доступность, удовлетворительный результат получается только при концентрации основных хромофорных примесей, к примеру, $[Fe^{3+}]$ и $[Mn^{3+}]$, от $0{,}01_{вес}$% и выше [2]. В противном случае камень остаётся бледноокрашенным. Методы радиационного воздействия имеют более селективный характер влияния на материал – они позволяют сформировать в нём дырочные центры окраски, которые усиливают радиус оптического захвата исходных хромофорных центров кристалла, а также сами активно поглощают [3]. Хотя в ряде случаев наведённые центры склонны к релаксации, в конечном

счёте у исходных бледноокрашенных и бесцветных разновидностей турмалина насыщенность окраски увеличивается – камни становятся более яркими и, как следствие, более коммерчески ценными. Ещё одним плюсом использования такого рода воздействия в ювелирной промышленности является его трудность диагностирования при геммологической экспертизе [4].

Для серии экспериментов по радиационному воздействию было отобрано несколько шлифов бледноокрашенного малханского полихромного турмалина (рис. 1).



Рисунок 1. Исходные шлифы малханского турмалина

Полученные образцы были измерены и взвешены, оценка их цветовых характеристик осуществлялась с помощью набора эталонов цвета «GIA GemSet». Исследуемые кристаллы имеют зональную окраску – бледно-зелёную сердцевину (vslbG 2/2) и бледно-розовую периферию (slpR 2/2). Отмечается сильная трещиноватость, минеральных, газово-жидких включений при визуальной диагностике не выявлено. Стоит отметить, что экспериментальные образцы ранее не подвергались какому-либо воздействию. Для последующих серий элементного и спектрально-адсорбционных анализов, а также более наглядного наблюдения за изменением цветовых характеристик исследуемые шлифы были подвергнуты доводке и полировке.

Элементный анализ проводился на рентгеноспектральном энергодисперсионном микроанализаторе EDS Oxford Instruments X-MAX-50 со сканирующим электронным микроскопом Tescan VEGA3-LMU (TESCAN ORSAY HOLDING) (кафедра химии и технологии кристаллов Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева), аналитик – К. С. Серкина. Он показал, что бледность наблюдаемой окраски турмалинов связана с очень низкой концентрацией хромофорных примесей – менее 0,01$_{вес}$%.

Рентгеновское излучение, как доступный и безопасный метод радиационного воздействия, было выбрано для создания новой цветовой гаммы у бледноокрашенных турмалинов. Эксперимент проходил на рентгеновской установке с катодной трубкой 5БХВ6: молибденовый катод, напряжение – 40 кВт, сила тока – 50 мА, энергия рентгеновского излучения – 20 кэВ (кафедра химии высоких энергий и радиоэкологии Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева), аналитик – А. А. Фенин. Время экспозиции составило суммарно 30 часов, величина поглощённой дозы образцам – 324 кГр.

В результате эксперимента окраска исследуемых турмалинов приобрела выраженный оранжевато-жёлтый оттенок (oY 5/5) и стала более насыщенной (рис. 2), несмотря на незначительное ослабление в первые несколько дней. Наблюдаемая ранее цветовая зональность кристаллов стала менее отчётливой.



Рисунок 2. Пример турмалинового шлифа до (А) и после (Б) облучения

Спектрально-адсорбционный анализ проводился до и после эксперимента по облучению на спектрофотометре UNICO 2800 UV/VIS с использованием диафрагмы диаметром 2,5 мм в диапазоне 190 – 1100 нм (кафедра химии и технологии кристаллов Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева), данные обрабатывались компьютером с программным обеспечением OriginPro 8. Анализ показал (рис. 3), что исходная бледная окраска кристаллов скорее всего была связана с низким содержанием ионов [Fe^{3+}] (зелёный) и [Mn^{3+}] (розовый) [2]. Об этом свидетельствует их слабовыраженные пики поглощения – 380 и 520 нм соответственно. После же облучения наблюдается значительный рост значений оптической плотности турмалинов, являющийся следствием образования дырочных центров окраски [O^-]. Также отмечено увеличение пиков поглощения хромофорных центров кристаллов. Это означает, что приобретённая оранжевато-жёлтая окраска может быть связана с взаимодействием ионов-хромофоров (Fe^{3+}, Mn^{3+}) и наведённых центров [O^-].

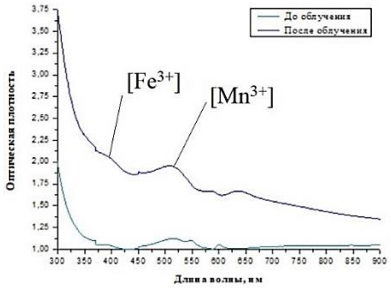


Рисунок 3. Пример спектрально-адсорбционного анализа турмалина до и после рентгеновского облучения

Но не только радиационные методы воздействия могут улучшать цветовые характеристики малханских турмалинов. В работе [2] представлены результаты термообработки тёмных серо-коричневых кристаллов при температуре 500°C: значительное осветление исходной окраски и формирование новой трёхцветной – розово-зеленовато-жёлтой (рис. 4).



Рисунок 4. Пример кристалла турмалина (А) до и (Б) после термообработки [2]

Спектрально-адсорбционный анализ (рис. 5) показал снижение значений коэффициента поглощения в диапазоне 350-450 нм. Это может быть связано с изменением структуры исходных хромофорных центров кристаллов – разрушение связи между ионами

[Fe^{3+}] и [OH^-]. Положение и размер полосы поглощения ионов [Mn^{3+}] остались без изменений [2].

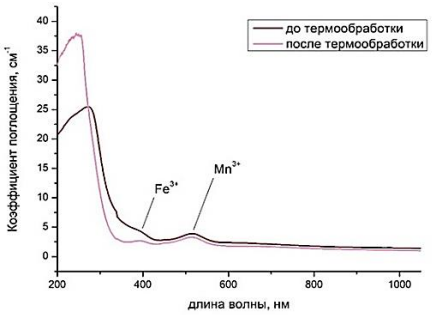


Рисунок 5. Пример спектрально-адсорбционного анализа турмалина до и после термообработки [2]

Представленные методы модифицирования цветовых характеристик бледноокрашенных турмалинов продемонстрировали свою эффективность и могут совместно применяться на горнодобывающих предприятиях для более полного обогащения извлекаемого ювелирного кристаллосырья.

Выводы

Методы радиационного воздействия позволяют улучшать цветовые характеристики бледноокрашенных турмалинов, содержание хромофорных примесей в которых менее $0{,}01_{вес}$%. С помощью рентгеновского излучения энергией 20 кэВ и времени экспозиции свыше 30 часов становится возможным получение у таких камней стойкого насыщенного оранжево-жёлтого оттенка. Наведённая окраска, вероятно, является результатом комбинации исходных хромофорных центров кристаллов и точечных радиационных дефектов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Национальной аналитической сертификационной лаборатории (НАСЛ) высокочистых веществ и материалов РХТУ им. Д.И. Менделеева за помощь в проведении аналитических (элементных, оптико-спектральных) исследований.

Библиография

1. Смертенко В. М., Канторович В. И., Пальмова Н. И. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней (ювелирных, поделочных, декоративно-облицовочных). Выпуск 20, Турмалин. – М.: Министерство Геологии СССР, 1978. – 78 с.
2. Купчий К. И., Ахметшин Э. А. Улучшение цветовых характеристик природных турмалинов методом термообработки. // Материалы десятой научной конференции ГЕММОЛОГИЯ, Томск. – 2023. – с. 102-108.
3. Ахметшин Э. А., Климкин И. А. Протонное воздействие как метод модифицирования окраски бледноокрашенных ювелирных корундов. // Успехи в химии и химической технологии. – 2024. – т. 38. – №7 (286). – с. 85-87.
4. Климкин И. А., Ахметшин Э. А. Улучшение цветовых характеристик природных сапфиров Мадагаскара методом ионизирующего воздействия. // Материалы десятой научной конференции ГЕММОЛОГИЯ, Томск. – 2023. – с. 96-102.

Перспективы улучшения оптико-спектральных характеристик природного александрита Малышевского месторождения

Ахметшин Э.А. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, 496645@mail.ru),
Смирнова В.В. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, val.s.7865@mail.ru)*

Аннотация

Проблема улучшения качественных характеристик александрита до сих пор не решена. При этом существует потенциальная возможность улучшить не только цветовые характеристики, но и александритовый эффект – реверс. В результате проведения серии экспериментов, которые включали в себя термообработку в различных средах при 750 и 1100℃ и рентгеновское облучение образцов бледно окрашенных александритов Малышевского месторождения, удалось незначительно улучшить как цвет, так и александритовый эффект. Термообработка в восстановительной среде позволяет улучшить цвет, а облучение рентгеновским излучением заметно увеличивает поглощение за счет появления точечных радиационных дефектов. Термообработка в окислительной среде приводит к осветлению образцов и приобретению ими желтоватых оттенков.

Ключевые слова

Александрит, александритовый эффект, спектр поглощения, модифицирование свойств, Малышевское месторождение

Теория

Александрит – наиболее редкая и ценная природная разновидность минерала хризоберилла ($BeAl_2O_4$). В кристаллической решетке александрита часть ионов Al^{3+} замещено ионами Cr^{3+}, что обуславливает его изумрудно-зеленую окраску [2]. Данный минерал находит широкое применение в качестве ювелирного камня, а также как активное сырье для создания перестраиваемых твердотельных лазеров инфракрасного диапазона. Особым свойством александрита является наличие александритового эффекта, заключающегося в изменении окраски минерала в зависимости от источника освещения. При дневном свете александрит имеет изумрудно-зеленую окраску, при искусственном – фиолетово-красную. Данный феномен обусловлен определенным расположением спектральных полос поглощения, находящихся в видимой области значений длины волны. Для полос поглощения, вызванных электронными переходами $^4A_{2g} \rightarrow {}^4T_{1g}$ и $^4A_{2g} \rightarrow {}^4T_{2g}$, значения длин волн 418 нм и 580 нм являются «критическими», при достаточной интенсивности которых данные значения создают избирательную чувствительность кристалла к источникам освещения. При дневном коротковолновом освещении доминируют волны сине-зеленой области спектра, поэтому минерал воспринимается зеленым. А при освещении лампой накаливания камень воспринимается красным, так как в его спектре преобладает интенсивность красных лучей [3].

В настоящее время месторождения александрита известны в Мьянме, Шри-Ланке, Бразилии, Танзании, Индии и России [2]. Россия долгое время являлась основным поставщиком александрита на мировой ювелирный рынок. Однако, в связи с редкостью данного минерала, на сегодняшний день объем поставок значительно сократился. Месторождение, располагающееся в районе поселка городского типа Малышева, на Среднем Урале, является классическим. Александриты, добываемые на этом месторождении, демонстрируют эталонную смену цвета с голубовато-зеленого на пурпурно-красный. Согласно техническим условиям (ТУ 7026-001-26420171-94), распространяющимся на природные александриты в сырье, в зависимости от проявления этого эффекта в соответствии с образцами-эталонами камни подразделяются на 3 группы:

1. с сильным александритовым эффектом;
2. со средним александритовым эффектом;
3. со слабым александритовым эффектом.

Камни, александритовый эффект которых выражен значительно слабее или полностью отсутствует относятся к группе хризоберилла.

Россия обладает значительными запасами александрита, однако, подавляющее большинство добываемых александритов представляют собой низкосортное дешевое сырье. Появление технологии улучшения александритового эффекта позволит существенно увеличить доходы РФ от продажи ювелирного сырья и готовых ювелирных камней.

В качестве методов модифицирования оптико-спектральных характеристик природного александрита были выбраны термическая обработка и рентгеновское облучение. Выбор термообработки как одного из методов воздействия обусловлен следующими причинами: охват всего объема камня, устойчивость во времени, необратимость при нормальных условиях, безопасность для человека. Также, важнейшим аспектом термообработки является возможность изменения не только валентного состояния хромофорных центров, но и их структурной локализации. Примером успешной реализации метода термообработки является ее применение для улучшения цветовых характеристик природных корундов [1]. В свою очередь рентгеновское облучение позволяет усиливать или изменять цвет ювелирного камня за счет наведения радиационных центров окраски. Метод уже применялся для изменения цветовых характеристик искусственного александрита, выращенного из расплава [4].

Для проведения экспериментальной работы по установлению влияния термообработки и рентгеновского облучения на оптико-спектральные свойства александрита была изучена партия природного сырья александрита с Малышевского месторождения и проведен отбор двух групп образцов. Обе группы состояли из светло-зеленых прозрачных александритов с неявно выраженным александритовым эффектом и разной степенью выраженности флуоресценции. По наличию флуоресценции предполагалось наличие хрома в химическом составе образца: наличие данного эффекта свидетельствовало о наличии примеси хрома [5]. Одна группа подвергалась термообработке при 750℃ в различных средах и последующему рентгеновскому облучению. Другая группа – термообработке при 1100℃ в различных средах. С целью изучения оптико-спектральных характеристик образцов, а также изменения положения и размеров пиков поглощения, на каждом этапе проводимых экспериментов выполнялся оптико-адсорбционный анализ, осуществляемый с помощью спектрофотометра UNICO 2800 (UV/VIS) с использованием диафрагмы диаметром 4 мм в диапазоне 190 - 1100 нм.

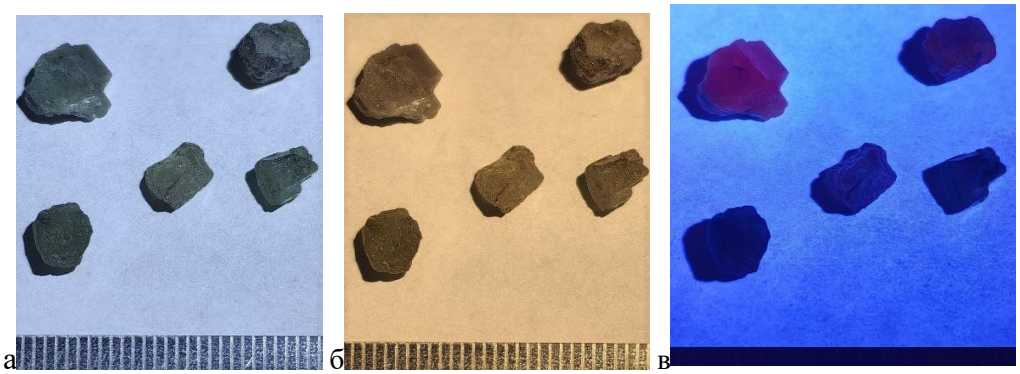
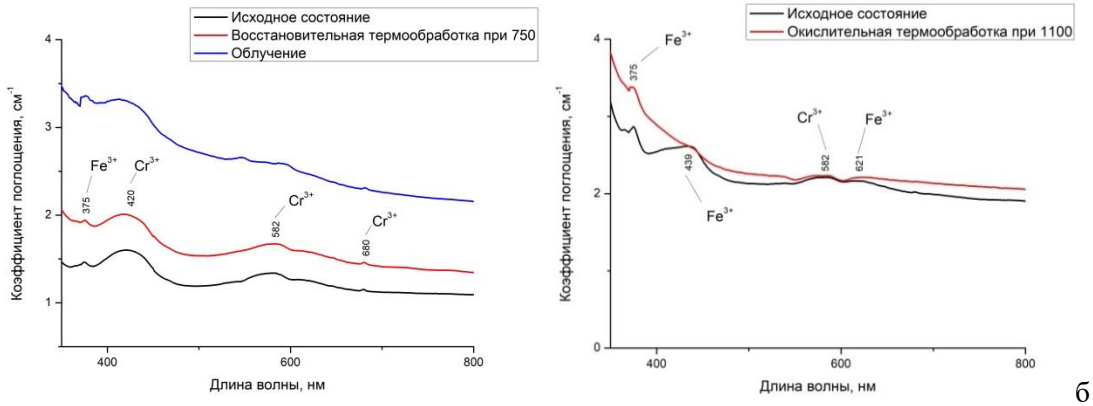


Рисунок 1. Кристаллы александрита, использованные в данной работе: а – широкополосный белый источник; б – желтый свет; в – УФ 254/365 нм.

Термообработка осуществлялась в электропечи с резистивным нагревателем марки СНОЛ, позволяющей контролировать нагрев в диапазоне до 1600℃. Была проведена серия экспериментов в различных средах при температурах 750 и 1100℃ в течение 60 минут. Окислительная термообработка проводилась на воздухе, восстановительная – в закрытом контейнере с добавлением восстановительных агентов на основе углерода.

Для изучения влияния ионизирующего излучения на образцы александрита, прошедшие термообработку при 750℃, подвергались рентгеновскому облучению. Данная процедура осуществлялась на рентгеновской установке с применением катодной трубки с молибденовым катодом 5БХВ6-М. Параметры режима облучения: сила тока – 50 мА, напряжение – 40 кВ, энергия рентгеновского излучения – 20 кэВ. В данных условиях мощность поглощенной образцами дозы составляет 3 Гр/с. Шлифы подвергались облучению в течение 6 часов. Таким образом, величина поглощенной дозы составила 64,8 кГр.



а б

Рисунок 2. Спектры поглощения образцов александрита до и после проведения экспериментов по модифицированию: а – термообработка в восстановительной среде при 750℃ и рентгеновского облучения; б – термообработка в окислительной среде при 1100℃

Изучение полученных оптико-спектральных характеристик показало, что восстановительная термообработка при 750℃ усиливает поглощение. Рентгеновское облучение приводит к дальнейшему усилению поглощения, а, следовательно, и усилению окраски образцов. При этом особенно сильное усиление поглощения отмечается в коротковолновой области полученного спектра, что, скорее всего, связано с увеличением концентрации хромофорных центров, обусловленных ионами Fe^{3+}, вследствие наведения радиационных дефектов. Окислительная термообработка при 1100℃ усиливает поглощение в области 350 – 420 нм, чем обуславливлено просветление образцов. Это, вероятно, связано с перестройкой центров окраски: изменением структурной локализации ионов Fe^{3+}, образующих пики поглощения в области 374 – 376 и 438 – 444 нм, которым отвечают электронные переходы $^6A_{1g} \rightarrow {}^4T_{2g}$ и $^6A_{1g} \rightarrow {}^4E_g$ соответственно [3]. Центры окраски, связанные с Cr^{3+} и длинноволновый Fe^{3+}, изменений не претерпевают.

Выводы:

– Термообработка в восстановительной среде усиливает голубовато-зеленую окраску образцов за счет увеличения поглощения;

– Ионизирующее излучение увеличивает интенсивность поглощения, особенно в коротковолновой области, обусловленного наведением радиационных центров окраски и, как следствие, происходит усиление окраски;

– Термообработка в окислительной среде приводит к осветлению образцов и приобретению ими желтоватых оттенков, связанных с изменением структурной локализации ионов Fe^{3+}, соответствующих следующим электронным переходам $^6A_{1g} \rightarrow {}^4T_{2g}$ и $^6A_{1g} \rightarrow {}^4E_g$.

– Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптико-спектральные характеристики природных александритов Малышевского месторождения могут подвергаться модифицированию окраски и александритового эффекта.

Для уточнения влияния методов модифицирования и улучшения качественных характеристик природных александритов необходимо проведение дальнейших исследований.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Национальной аналитической сертификационной лаборатории (НАСЛ) высокочистых веществ и материалов РХТУ им. Д.И. Менделеева за помощь в проведении аналитических (оптико-спектральных) исследований.

Библиография

1. Ахметшин Э. А., Савина Е. И., Плечов П. Ю., Петрова О. Б. Улучшение цветовых характеристик сапфиров fancy месторождения «Кедрового» методом термообработки // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2022; (2): 30 – 50.
2. Бетехтин А. Г. Курс минералогии: учебное пособие / А. Г. Бетехтин. – М. : КДУ, 2007. – 721 с.
3. Платонов А. Н., Таран М. Н., Балицкий В. С. Природа окраски самоцветов. – М., Недра, 1984, 196 с.
4. Яровой П. Н., Медведев В. Я., Букин Г. В., Михаленко А. А., Иванова Л. А. Радиационно-наведенные центры окраски в александрите // Письма в ЖТФ, том 17, вып. 8. 1991. С. 70 – 73.
5. Solomonov V. I., Mikhailov S. G., Lipchak A. I., Kozlov Yu. S. Impurity luminescence of alexandrite crystals // Journal of applied spectroscopy, vol. 69, No. 3, 2002.

Разработка классификации фактур текстильных полотен образованными минеральными огранёнными вставками

Миронова Н.В.* (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), n3308780@yandex.ru),
Кирсанова Е.А. (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), oimgudt@yandex.ru)

Аннотация

Огранённые кристаллические декоративные вставки или как их еще называют —стразы применяются во многих предметах повседневного быта как декоративный элемент. Вторая по популярности после ювелирной промышленности сфера применения страз — это текстильная. Существует множество различных вариантов форм, размеров и оправ для декоративных огранённых вставок, но нет единой классификации описания фактуры, которую образуют декоративные элементы на поверхности изделия. Разработана классификация и описаны характеристики основных ее фасет, элементов структуры.

Ключевые слова

Крепление, стразы, декоративная отделка текстиля, драгоценные вставки

Теория

При формировании отделки с заданными характеристиками фактуры и текстуры, применили системный подход, в соответствии с которым функциональная система характеризуется тремя принципиальными моментами:

– во-первых, в совокупность вовлекаются только специально выбранные компоненты;

– во-вторых, компоненты не просто взаимодействуют, а взаимодействуют для чего-то конкретного и определенного;

– в-третьих, в качестве системообразующего фактора фиксируется получение полезного результата [6, 4].

С позиций системного подхода, где любое сложно организованное целое рассматриваются сквозь призму четырёх фундаментальных определяющих факторов: устройство системы; её состав (подсистемы, элементы); текущее глобальное состояние системной обусловленности; среда, в границах которой развёртываются все её организующие процессы [5, 3].

Для описания характеристик фактур и текстур были использованы математические множества: элементов, характеристик элементов и связей между ними [1]. Математические модели систем сложных фактур материалов и комплексов, на основе которых можно описывать и классифицировать уже имеющиеся и создавать новые фактуры, многокомпонентные системы современных материалов для швейных изделий и, в частности, торжественного назначения требуют дальнейшего изучения и совершенствования. Многокомпонентной следует считать систему материалов, взаимодействующих между собой посредством связей, содержащую не менее трёх, в том числе различных по виду, составу и структуре компонентов. Число компонентов зависит от вида, назначения и условий эксплуатации изделия. Исследованы и обобщены фактура и текстура текстильных изделий, их воздействие на физические и оптические свойства материала. Ассортимент декоративных материалов и методов декорирования рассмотрен через призму фактуры и блеска. В совокупности, и декоративная отделка и само материал взаимодействуют друг с другом по цвету, фактуре, характеру блеска и композиции и плотности декоративной отделки как одно

единое целое, создающее целостный визуальный образ. С этой целью разработана фасетная классификация характеристик фактур и текстур.

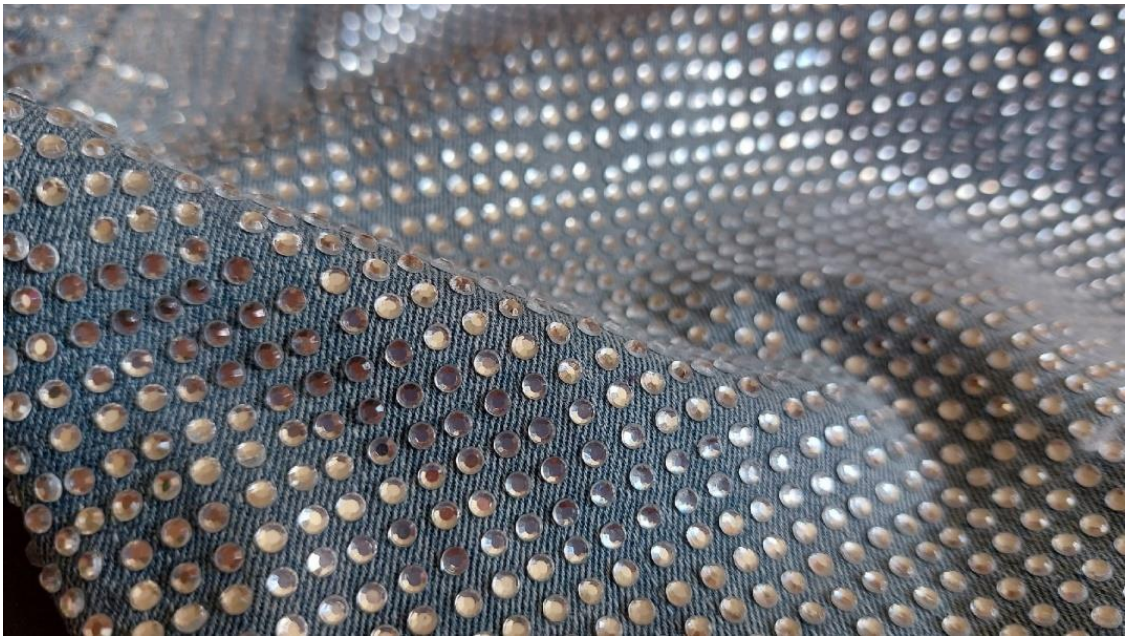


Рисунок 1. Ткань саржевого переплетения декорированая клеевыми стразами

Отдельно рассматриваются фактуры, образованные различными видами страз и других декоративных элементов из кристаллических и аморфных материалов. Приняты во внимание различные виды огранки, применяющиеся в обработке ювелирных материалов.

Анализ разных видов и способов получения многокомпонентных материалов позволяет описать их системными характеристиками:

Fc – функции системы, Fc = (F1+F2+ ... +Fn),

где Fi - функции элементов,

Ei – элементы системы,

Si – структура системы (характеристики плотности заполнения, распределения, соединения, расположения, равномерности распределения, плотности плетения, взаимодействия слоев, соединения, характеристики создаваемой фактуры, высоты фактуры),

Zs= f (Z1+Z2+ ...+Zn), где Zi - свойства элементов системы (размерные характеристики, характеристики формы, характеристики поверхности, характер обработки поверхности, тиснения, долговечности обработки, обработки краев, характеристики наличия наполнителя, строения фактуры).

Выбранные фасеты могут дополняться по мере возникновения новых характеристик свойств как элементов, так и назначения, и расположения на рассматриваемых объектах фактур [2].

В результате проведенного анализа фактур и текстур текстильных материалов полученные данные были обобщены и систематизированы. Первоначально выделены основные общие характеристики как для поверхности декорируемого материала, так и для отдельных элементов декора: габаритные размеры и форма элементов, порядок и соединение их с полотном, плотность распределения по площади, а также характер поверхности самих декоративных элементов. Затем были выделены отдельные фасеты в каждой из групп характеристик, которые имеют общие характеристики и индивидуальные для полотен и дополнительных декоративных элементов не текстильного происхождения.

Характеристики, определяющие фактуру, образованную стразами:

Плотность расположения декоративных элементов ρ (шт/ 〚дм〛 ^2) на площади. Количество декоративных элементов, располагающихся на площади текстильного полотна площадью 100 на 100 мм,

Характер поверхности, образованной декоративными элементами (шероховатая, пупырчатая) (М ∈ШЕР ∪ ПУП),

Размер декоративных элементов, образующих фактуру (малый, средний, большой) (М ∈ МАЛ ∪ СР ∪ БОЛ),

Равномерность распределения (равномерное, неравномерное) (М ∈ РАВ ∪ НРАВ),

Характер распределения (организованный, хаотичный, рисунчатый) (М ∈ Х ∪ О ∪ РИС),

Форма декоративных элементов, образующих фактуру (шаровидная, прямоугольная, фантазийная) (М ∈ ШАР ∪ ПР∪ ФАН),

Высота фактуры для данного вида декоративного материала (низкая, средняя, высокая) (М ∈ Н ∪ СР ∪ В),

Характер поверхности декоративных элементов (мелко гранёный, крупно гранёный, гладкий, неровный) (М ∈ МГР ∪ КГР ∪ ГЛ ∪ НР),

Способ соединения (ниточный, адгезионный) (М ∈ НИТ ∪ АДГ ∪ КЛЕП),

Пусть Х ⊂ А, О ⊂ А; РИС ⊂ А; НИТ ⊂ Б, АДГ ⊂ Б, КЛЕП ⊂ Б; ШЕР ⊂ О, ПУП ⊂ О; МАЛ ⊂ П, СР ⊂ П, БОЛ ⊂ П; РАВ ⊂ Р, НРАВ ⊂ Р; ШАР ⊂ С, ПР ⊂ С, ФАН ⊂ С; Н ⊂ Т, СР ⊂ Т, В ⊂ Т; ГЛ ⊂ У, МГР ⊂ У, КГР ⊂ У, НР ⊂ У,

тогда М ∈А ∩ Б ∩ О∩ П ∩ Р ∩ С ∩ Т ∩ У ∩ ρ.

Выводы

Существует широкий ассортимент страз из различных огранённых кристаллических материалов с разными вариантами форм и методами крепления, но при всем большом разнообразии нет системы, которая позволила бы описать фактуру, образованную декоративными материалами. Была разработана и предложена классификация с использованием математических моделей которая позволяет кратко и исчерпывающе описать текстильные полотна, декорированные различными материалами.

Библиография

1. Верещагин Н.К., Шень А. Лекции по математической логике и теории алгоритмов. Часть 1 Начала теории множеств. | 3-е изд., стереотип. | М.: МЦНМО, 2008 | 128 с.

2. Волкова В. Н. Теория систем и системный анализ : учебник для бакалавров / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — М. : Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2012 — 679 с. — Серия : Бакалавр.

3. Кирсанова, Е. А. Современные технологические подходы использования традиционных и народных видов отделки швейных изделий / Е. А. Кирсанова, А. В. Галкин, Н. В. Миронова // Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения проф. А.П. Жихарева : Сборник научных трудов, Москва, 19 октября 2022 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2023. – С. 85-89.

4. Кирсанова, Е. А. Современные технологические подходы создания декоративных фактур на швейных изделиях / Е. А. Кирсанова, А. В. Галкин, Н. В. Миронова // Традиции и инновационные процессы в индустрии моды: Сборник научных статей по

материалам Всероссийской научно-практической конференции, Уфа, 06 октября 2022 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2022. – С. 44-46.

5. Павлов, М. А. Разработка фасетной классификации материалов / М. А. Павлов, Е. А. Кирсанова // Материалы докладов 48 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 50-летию университета: в 2 т., Витебск, 29 апреля 2015 года / Витебский государственный технологический университет. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2015. – С. 341-342.

6. Силич В.А. Теория систем и системный анализ: учебное пособие/ В.А. Силич, М.П. Силич; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 276 с.

Мономинеральные агрегаты касситерита – новый вид ювелирно-поделочного сырья

Петроченков Д.А* (МГРИ, p-d-a@mail.ru),
Чижова И.А. (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), tchijova@igem.ru)

Аннотация

На ряде оловорудных месторождений встречаются мономинеральные агрегаты касситерита массой более 0,5кг, которые могут использоваться в качестве ювелирно-поделочного материала. Изучен мономинеральный агрегат касситерита месторождения Чурпунья, расположенного в северной части Республики Саха (Якутия). Охарактеризованы геммологические характеристики касситеритового агрегата, установлены минеральные включения, элементы-примеси, условия образования, и направления его использования.

Ключевые слова

Ювелирно-поделочные материалы, месторождения олова, касситерит

Теория

Касситерит один из немногих природных минералов, обладающих высоким показателем преломления (1,9 - 2,1), позволяющим получить алмазный блеск полированной поверхности, а достаточно высокая твердость (около 7 по шкале Мооса) обеспечивает устойчивость к механическим воздействиям. Эти качества касситерита позволяют использовать его в ювелирных украшениях [4].

На ряде оловорудных месторождений встречаются мономинеральные агрегаты касситерита в виде крупных (более 0,5 кг) образований. Примерами таких месторождений являются Депутатское и Чурпунья, расположенные в северной части Республики Саха (Якутия). Месторождения относятся к олово-силикатному промышленному типу (турмалиновый минеральный тип) железисто-полиметалльно-оловянной формации [2]. На месторождении Депутатском встречались рудные зоны, в которых агрегаты касситерита достигали массы в несколько сотен килограмм, а в россыпи Депутатской мономинеральные агрегаты касситерита, получившие название «самородки», весили до 25 кг. Для их добычи при промывке песков использовались специальные установки-самородкоуловители. Отличительной чертой месторождения Чурпунья является высокое (до 30%) содержание олова в рудах, что позволяет проводить их металлургическую переработку без предварительного обогащения. Было изучено мономинеральное выделение касситерита месторождения Чурпунья размером 88х86х39 мм и массой 648г с целью использования в качестве ювелирно-поделочного материала (рис. 1).

Месторождение открыто Б.В. Пепеляевым в 1946 г. в пределах Яно-Колымской складчатой системы. Месторождение находится в центральной части Чохчуро-Чекурдахской субмеридиональной металлогенической зоны. Рудное поле месторождения расположено в гетерогенных образованиях сложной вулканотектонической системы и представляет субвулкан площадью 0,6 км^2, сложенный липаритами. Эти образования прорваны гранодиорит-порфирами, которые пересекаются двумя дайками микрогранит-порфиров. Предполагается, что глубина формирования месторождения не превышает 100-200м [1].

Главными минералами в рудах являются турмалин и кварц; второстепенными – мусковит, касситерит; примеси представлены сфалеритом, вольфрамитом. Сульфиды в сумме составляют менее 1%. Текстура руд брекчиевая, брекчивидная, полосчатая, пятнистая, структура – крупно-среднезернистая. Характерной чертой минералов месторождения

являются их повышенная железистость. В касситерите фиксируются, мг/кг: W – 11262, In – 59, Ti – 792, Nb – 22, Sc – 23. Ферберрит содержит Nb – 979 мг/кг [1].

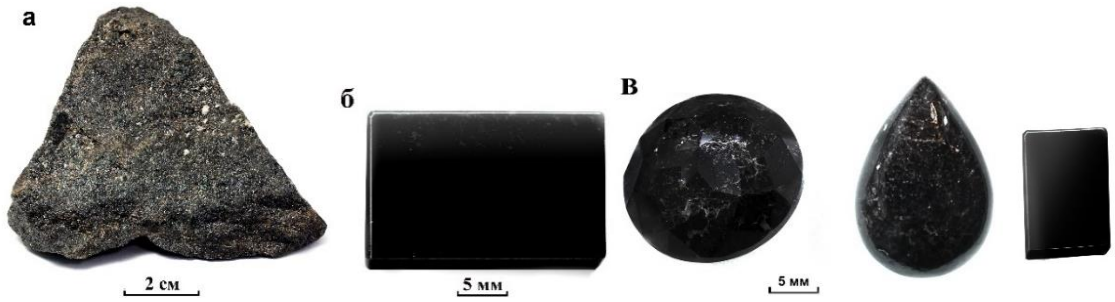


Рисунок 1. Агрегат кристаллов касситерита (а), полированная пластина (б), вставки в ювелирные украшения (в). Белые точки – включения кальцита и кварца. Месторождение Чурпунья

Агрегат кристаллов касситерита плотный, непрозрачный, черного, темно-серого цвета, распределение оттенков пятнистое, зональное. Присутствует небольшое количество включений кварца и кальцита размером до 2 мм. Полированные поверхности агрегата черного цвета с алмазным блеском. Значения микротвердости находятся в диапазоне от 1270 до 1397 кг/мм^2. Плотность агрегата от 6.38 до 6.49 г/см^3. Люминесценция не проявлена.

Кристаллы касситерита плотно сросшиеся, разноориентированные изометричной и слабо удлинённой формы, размером от 0.2 до 3.0 мм Часть кристаллов имеет хорошо выраженные кристаллографические формы и зонально-секторальное строение, обусловленное различной окраской и проявленностью зон роста. В кристаллах присутствуют бесцветные, коричневые и темно-коричневые зоны. Распределение окраски в кристалле пятнистое, зональное, полосчатое. Текстура агрегата массивная, структура гранобластовая.

В агрегате касситерита присутствуют минерализованные трещины, микротрещины, указывающие на тектонические подвижки, произошедшие после рудообразования. Ширина трещин достигает 300 мкм. Микропоры, размер которых колеблется от 2 до 50 мкм, расположены преимущественно по границам кристаллов, где образуют прерывистые цепочки. Электронно-микроскопическими исследованиями были установлены микровключения кварца, кальцита, апатита, флюорита, рутила, алюмосиликатов, магнезиоферрита, сульфидов Fe, Cu, Zn (пирит, халькопирит, сфалерит), сульфатов Fe, Cu, оксидов Fe, расположенные в минерализованных микротрещинах и микропорах

Методом ЛА-ИСП-МС в кристаллах касситерита были установлены содержания 15 элементов-примесей с содержанием выше 1 мг/кг. Аналитические исследования проведены с использованием научного оборудования ЦКП «Исследовательский химико-аналитический центр НИИ «Курчатовский институт». Содержания Mg, Al, K, Sc, Mn, Zn, Ta фиксировались в отдельных измерениях с низким (менее 10 мг/кг) содержаниями. Содержания Ti, V, Fe, Zr, Nb, Sb, W и U установлены во всех измерениях и в среднем по кристаллам превышают 10 мг/кг. Содержания этих элементов были обработаны математическими методами. Средние значения содержаний элементов составили, мг/кг: Ti – 535, V – 34, Fe – 1353, Zr – 12, Nb – 18, Sb – 56, W – 524, U – 47. Установлены корреляционные связи элементов: положительные Ti и Sb, Ti и W, Ti и U, V и Fe, Zr и Nb, Sb и W, Sb и U, W и U; отрицательные V и Nb, Fe и Nb (табл.). Эти элементы могут входить в состав микровключений и в структуру касситерита.

Таблица 1. Корреляционные связи элементов-примесей в кристаллах касситерита месторождения Чурпунья

Элемент	Ti	V	Fe	Zr	Nb	Sb	W	U
Ti	1	0.29	0.12	0.05	-0.16	0.82	0.85	0.91
V	0.29	1	0.75	-0.42	-0.67	0.11	0.17	0.21
Fe	0.12	0.75	1	-0.45	-0.79	-0.02	0.05	0.08
Zr	0.05	-0.42	-0.45	1	0.71	-0.04	-0.10	-0.13
Nb	-0.16	-0.67	-0.79	0.71	1	0.01	-0.15	-0.18
Sb	0.82	0.11	-0.02	-0.04	0.01	1	0.87	0.89
W	0.85	0.17	0.05	-0.10	-0.15	0.87	1	0.97
U	0.91	0.21	0.08	-0.13	-0.18	0.89	0.97	1

Примечание: критическое значение 0.46

Исходя из установленных в настоящее время представлений о росте кристаллов и образования агрегатов [3] можно предположить условия формирования агрегатов касситерита месторождения Чурпунья. Оно проходило в пустотах рудных жил в одну стадию минералообразования в стабильной обстановке из растворов, высоко насыщенных оловом при ограниченном содержании других элементов. Рост кристаллов проходил последовательно из многочисленных центров кристаллизации, расположенных в пространстве полости. Вероятно, воздействие гравитационных сил было недостаточным для осаждения кристаллов на ее стенки. В результате рост кристаллов происходил во взвешенном состоянии во всем объеме свободного пространства до полного его выполнения. На это указывают мономинеральный состав агрегата, отсутствие слоистости, размер, цвет и форма кристаллов, однородные во всем его объеме.

После образования мономинерального выделения касситерита произошли тектонические подвижки. Они привели к образованию в нем трещин и микротрещин в кристаллах. Трещины были полностью минерализованы кварцем, касситеритом, кальцитом, флюоритом, что свидетельствует о завершающем этапе рудного процесса.

Проведенными ранее исследователями [4] было установлено, что при термообработке в окислительной среде кристаллы касситерита осветляются, появляется желтая, оранжевая и красная окраска. Красная окраска связана с образованием тонкодисперсных включений гематита, концентрирующихся в узких зонах роста, микротрещинах и микропорах. В результате оптических эффектов создается впечатление широких зон красного цвета. Наложение красного цвета на серый приводит к образованию коричневого.

В результате термообработки в окислительной среде агрегата касситерита черные и тёмно-серые фрагменты приобрели коричневую окраску при температуре 600^0C, а при 800^0C насыщенность цвета усилилась (рис. 2). Наблюдается раскалывание отдельных фрагментов, появление большого количества трещины, микротрещин, пор. Часть кристаллов касситерита стала более прозрачной, приобрела желтый цвет, усилилась насыщенность коричневого. Красный цвет не проявлен, он нивелируется темно-коричневым, который наблюдается в узких зонах.



Рисунок. 2. Фрагменты агрегата касситерита месторождения Чурпунья: исходные (а), термообработанные при 600^0C (б) и 800^0C (в)

Электронно-микроскопическими исследованиями в термообработанном агрегате касситерита установлены многочисленные микровключения гематита, расположенные в микропорах. Образование гематита связано с выделением Fe из структуры касситерита, что привело к усилению насыщенности коричневого цвета. В результате термообработки технологические характеристики агрегата касситерита резко ухудшились, и он стал не пригоден для изготовления ювелирных вставок. Для дальнейшего его использования необходима пропитка специальными смолами.

Выводы

Мономинеральные агрегаты касситерита обладают алмазным блеском полированных поверхностей, высокой твердостью, достаточно большими размерами, позволяющими изготавливать огранку, сувенирные изделия, использовать в камнерезном искусстве. Агрегаты касситерита могут добываться попутно при разработке месторождений без дополнительных материальных затрат.

Библиография

1. Геология оловорудных месторождений СССР/ под ред. С.Ф. Лугова – Т.2. Оловорудные месторождения СССР. Кн. 1.-М.: Недра. 1986. – 249 с
2. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации / Под ред. Е.И. Петрова. – М.: Роснедра. – 2021. – 586с
3. Кулик Н.А. Онтогения минералов: учебное пособие для вузов. – М. :Юрайт. 2022. – 91с.
4. Петроченков Д.А. Коллекционные и ювелирные касситериты. М.: Горная книга. 2019 – 280с.

Применение лазерных технологий в 3d гравировке камеи из гагата

Брусов А.А. (МГРИ, г.Москва, brusovaa@mgri.ru)

Аннотация

Описание технологии лазерной гравировки и ее плюсы. Создание 3d модели резной вставки и последующей её гравировки на лазерном маркираторе.

Ключевые слова

Лазерная гравировка, 3d моделирование, лазерный маркиратор, гагат

Теория

Лазерная маркировка и гравировка - современный способ обработки материалов. В мире во многих отраслях используют лазерную маркировку, гравировку и резку.

Galvo - тип лазерного оборудования, в котором используется набор движимых зеркал для быстрого отражения луча от лазерного источника. Это контрастирует с лазерами типа «портал», которые перемещают ряд зеркал вдоль портала с «линзой» на конце для фокусировки, или с диодными лазерами, которые перемещают сам источник лазера (обычно с использованием портала)[3].

Все исследования и настройка параметров работы проводилось на лазере мощностью 30 ватт. Ниже приведены основные параметры станка.

Лазерный маркер по металлу на основе 30 JPT MOPA M7 относится к поколению компактных прецизионных маркеров на базе волоконных лазеров, центральная длина волны излучения 1064нм. Частоту можно регулировать в диапазоне от 25 до 4000 кГц, а длительность импульсов от 2 до 350 нс. Эта гибкость позволяет выполнять такие операции, как долговременная цветная маркировка нержавеющей стали и титана, благодаря способности пульсации луча, которая обеспечивает отжиг металла. В комплекте оборудования так же сканатор FL7110, линза cloudray 110 мм с фокусным расстоянием 177 мм.

Лазерный маркер с источником 30 JPT MOPA M7 способен осуществлять обработку самых разных металлов и сплавов, а также имеет возможность обрабатывать окрашенные поверхности различных материалов. В число металлов, которые могут быть обработаны при помощи данного лазерного оптоволоконного маркера, входит сталь, титан, латунь, медь, алюминий, любые металлы, покрытые краской, анодированные алюминиевые детали, а также драгоценные металлы – золото, серебро, платина и т.д.

Помимо металлов, в число обрабатываемых лазерным маркером материалов входит всевозможные пластики, резина, полупроводники, пластины из кремния, некоторые типы драгоценных, а также поделочных камней и т.д.

Для управления станком используется лицензионная программа LightBurn. Так же существуют программное обеспечение других фирм- ezcad, MaxiGraf, RDWorks. Программа проста в освоении и позволяет легко настроить параметры гравировки.

Для гравировки необходимо настраивать следующие параметры: скорость, мощность, режим, частота, q-pulse, интервал строки, угол гравировки, количество проходов.



Для создания камеи из гагата в начале необходимо создать 3d модель в программе Rhinoceros 7 (лицензия). За основу берутся классические элементы орнамента, состоящие из растительных мотивов с завитками, листьями, бутонами.

Для создания простых моделей требуется начальный уровень знания 3d моделирования.

Команды для создания кривых: Line Segments, Interpolate Points, Fillet Curves, Circle, Project curve, Join, Trim.

Команды для создания поверхностей: Extrude Curve, Sweep 2 Rail, Boolean: Difference, Fillet Edge, Text object, Flow along surface, Split[1].

Готовая 3d модель камеи сохраняется в формате stl, для создания карты глубины, используется инструмент STL2PNG. Он представляет собой программу, которая генерируют растровое изображение из файла STL для создания более сложной карты глубины. Серую карту глубины можно импортировать в LightBurn, как и любое другое изображение. Режим «3D Sliced» использует карту глубины для создания до 256 уровней гравировки.

Владельцы Galvo, не обладающие активной осью Z, имеют возможность создавать «2.5D» гравюры с помощью LightBurn, формируя объекты с тактильной и визуальной глубиной. LightBurn называет эту функцию «3D Sliced» из-за её схожести с программами нарезания виртуальной модели для отправки на 3D-печать. 3D-принтеры наращивает материал слой за слоем, LightBurn позволяет осуществлять операции пошагового вычитания.

Режим «3D Sliced» использует серые карты глубины, так называемые «powermaps», для создания гравировок разной глубины. Более темные оттенки серого обрабатываются большее количество проходов и становятся глубже, в то время как более светлые оттенки серого обрабатываются меньшее количество проходов, что делает их менее глубокими[4].

Для быстрой, глубокой лазерной 3d гравировке лучше всего подходят не металлические материалы, например, такие как камень. Например, на титане 3d гравировка общей площадью поверхности 30 мм, глубиной 1 мм занимает 8 часов, то же самое на гагате 15 минут. Была выполнена пробная гравировка на различных минералах (амазонит, лазурит, сланец, окаменелое дерево, кремень), лучше всего себя показал гагат. Он хорошо выжигается лазером, за счет небольшой твердости и рельеф получается с ровными вертикальными стенками. Возможно появление небольших включений, которые легко убираются. Для 3d гравировки важно, чтобы материал был однородным, темного оттенка и не прозрачный. Любые включения проявляется в виде плоских или заостренных неровностей на поверхности рельефа, дальнейшем убираются вручную с помощью боров и резцов.



Рисунок 2. С левой стороны камея из гагата, с правой увеличенный фрагмент со следами лазерной гравировки

Гагат — это черная органическая порода, которая образуется, когда кусочки древесного материала погребены в отложениях и нагреты. Хотя он очень похож на уголь, он менее рыхлый. Под воздействием лазера, нагревается и подвержен растрескиванию, требует в процессе гравировки охлаждения. Для наилучшего качества гравировки необходимы следующие настройки: скорость 1800 мм/сек, мощность 40%, частота 40 кГц, интервал строк 0.04 мм, количество проходов 150. Губина выборки около 2 мм. Необходимы еще многочисленные тесты что бы подобрать оптимальный режим настроек, для уменьшения нагрева гагата в процессе гравировки и улучшения качества получаемой поверхности.

После окончания лазерной 3d гравировки идет выпиловка по контуру камеи, дальнейшая шлифовка и полировка поверхности. Гагат мягкий материал, следы от лазера достаточно легко зашлифовываются, и дальнейшая полировка создает черную глянцевую поверхность.

Выводы

Совершенствование технологий уже не первый раз приводит к расширению функциональных возможностей разных производств. И ювелирная сфера не стала исключением. Сегодня, 3D-моделирование украшений не только упрощает, но и ускоряет

процесс создания оригинальных изделий, делая возможной игру с разными стилями и воплощение даже самых необычных идей.

Таким образом, использование 3D моделирования и лазерной гравировки позволяет создать высоко дизайнерский и современный продукт с минимальным временными затратами.

Лазерную гравировку можно делать не только на металле, пластике, но и на некоторых видах минералов, получая достойные результаты.

Библиография

1. Элиания Розетти, «Дизайн ювелирных изделий в Rhinoceros», Омск, Дедал-Пресс, 2014.

2. Элен Муллер, перевод: С. Глушнев «Гагат: Разновидность угля, используемая в художественном промысле», Мир,1991.

3. https://gistroy.ru

4. https://lightburnsoftware.com

Интересные имитации природных минералов в геммологической практике

Рогова А.Р.* (МГРИ, annasuperroller@mail.ru),
Романова Е.И. (МГРИ, romanovaei@mgri.ru)

Аннотация

В работе рассматриваются интересные случаи имитаций в геммологической практике. Идентификация некоторых из них зачастую может привести к ошибке в связи с крайней схожестью либо с природными минералами, либо, наоборот, с синтетическими вставками. В работе приводятся данные оптической микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния. Рассмотрены имитации халцедона и изумруда из стекол, бусины ДЗИ, а также особые синтетические имитации ларимара и опала.

Ключевые слова

Имитация, бусины ДЗИ, стекло, халцедон, ларимар

Теория

Для проведения исследования были отобраны образцы имитации изумруда, агата, ларимара, предоставленные кафедрой Минералогии, геммологии и петрографии Российского Государственного Геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе. Образцы бусин ДЗИ, халцедона взяты из личной коллекции автора. Синтетический опал, бусины из окрашенного силенита привезены с Международных выставок «Dimond, Gem & Pearl Show» и «Jewellery Show». Исследования проводились с использованием геммологического оборудования, основным оптическим прибором являлся геммологический микроскоп ЛОМО МСП-2, спектроскопические исследования проводились на рамановском микроскопе ИнСректр R532. Образцы обрабатывались в лаборатории геммологии и ТХОМ МГРИ.

Халцедон является одним из самых распространенных поделочных материалов, а его скрыто-кристаллическая структура является предпочтительной для применения процессов окрашивания. Именно поэтому около 2000 лет до нашей эры в древней Индии появились окрашенные химическим методом бусины из халцедона с узором, именуемые «Бусины ДЗИ». Считалось, что узор получался при травлении органическими веществами и нагревании, отбеливании и протравливании белых линий природной кристаллической содой. Для изучения современных бусин ДЗИ была приобретена нить с четким орнаментом в виде полос и кругов. При первом просмотре бусины походят на особым образом спеченное стекло, однако при просмотре в лупу можно увидеть слоистость агата. Для более детального изучения были сделаны образцы плоско-параллельных пластин, толщиной около 1 мм, отшлифованные на алмазной планшайбе 40/28 мкм и отполированные на бакелитовой планшайбе 3/2 мкм. При изучении с использованием оптической микроскопии на поверхности бусин наблюдались многочисленные перьевидные трещины, а в некоторых случаях даже сеть трещин (Рисунок 1а). Важно отметить, что вглубь они проникают только до уровня окрашенного слоя, то есть около 1 мм, далее к центру халцедон имеет неразрушенную структуру (Рисунок 1б). Такая обработка поверхности является достаточно стойкой, как показала практика обработки при помощи абразивов, что, несомненно, является достоинством технологии. То есть такие бусины можно многократно переполировывать и рисунок при этом не пропадет.

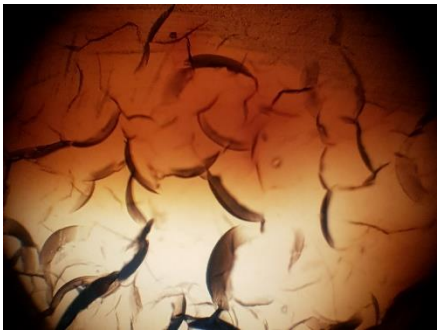
а  б 

Рисунок 1. Строение бусин ДЗИ при исследовании методом оптической микроскопии: сеть перьевидных трещин на поверхности бусины (а); плоско-параллельная пластина из бусины ДЗИ с отчетливо видимой цветовой границей (б)

Также интересным примером могут служить прокрашенные бусины из селенита. Эта разновидность гипса имеет тонковолокнистую структуру [1]. Интересно, что окрашенная поверхность напоминает пленку (Рисунок 2а), и не выглядит как пропитанная жидким составом. Этот пример был отобран в связи с тем, что при первом просмотре многие геммологи при опросе в первую очередь называли эти бусы стеклом с эффектом кошачьего глаза. Сходство действительно велико, ниже на рисунке приведен пример стеклянной бусины (Рисунок 2б).

а  б 

Рисунок 2. Образцы окрашенного селенита и цветного стекла с эффектом кошачьего глаза: пленочное окрашивание селенита (а); стеклянные кабошоны с эффектом кошачьего глаза [2] (б)

Стекольные имитации различных минералов достаточно распространенное явление, однако даже при длительном рассматривании методом оптической микроскопии некоторые из таких можно принять за природные минералы. Особенно, если диагностика происходит в потоке большого массива образцов. Примером могут служить два образца, служащие имитациями изумруда и халцедона. При просмотре в освещении темного поля в трещинах зеленого стекла можно видеть даже структуру, похожую на заполнение трещин в природном изумруде (Рисунок 3а). При детальном изучении в объеме камня можно видеть газовый пузырь (Рисунок 3б), что с абсолютной точностью указывает на имитацию, однако, вероятность того, что подобный кабошон будет диагностирован, как природный облагороженный присутствует.

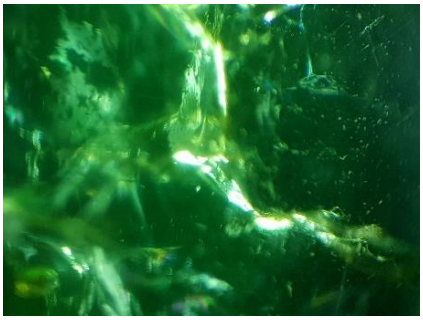
а  б 

Рисунок 3. Включения в стеклянной имитации изумруда: многочисленные трещины с признаками облагораживания (а); газовый пузырь (б)

Следующая стеклянная имитация продавалась под названием «Клубничный кварц» и должна была являться халцедоном. Однако уже при изготовлении плоско-параллельной пластины толщиной менее 1 мм, необходимой для исследования образцов под большим увеличением, возникли сомнения. По данным оптической микроскопии с увеличением 400^{x} удалось выяснить, что коричневые участки имитации сложены скоплениями мельчайших плоских и округлых вкраплений темно-красного цвета (Рисунок 4а). Под меньшим увеличением выявлены скопления крупных коричневых включений и большого размера и газовый пузырь (Рисунок 4 б, в).

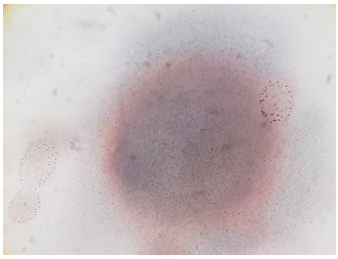
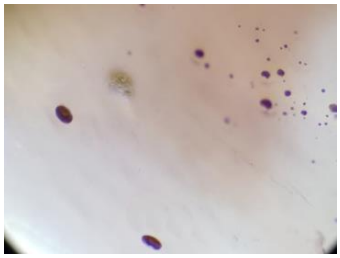
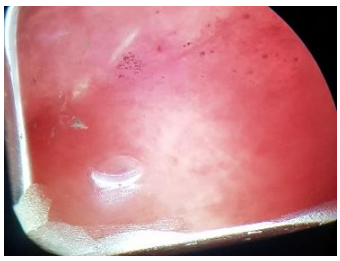
а  б  в 

Рисунок 4. Включения в стеклянной имитации клубничного кварца: мельчайшие скопления красно-коричневых включений, ув. 400 Х (а); скопления крупных окрашивающих частиц, ув. 30Х (б); воздушный пузырь ув. 10Х (в)

Следующая интересная разновидность имитаций была приобретена в Гонконге. Достаточно новая технология синтеза опалов разработана Японской компанией Kyocera (Рисунок 5). Этот материал содержит высокий процент кремнезема, не менее 80 %, и обладает уникальной особенностью – вертикальным рисунком роста, как указывает производитель [3, 4].

а  б 

Рисунок 5. Синтетический опал компании Kyocera: приобретенный на выставке образец (а); поверхность образца, ув. 10Х (б)

Технология синтеза волластонита описана в нескольких патентах. Образцы, представленные на кафедре Минералогии, геммологии и петрографии МГРИ были представлены продавцом, как ларимар, однако даже при визуальном просмотре в лупу можно отметить волокнистое строение. При помощи спектроскопии комбинационного рассеяния нами было проведено исследование, которое позволило убедиться в наличии волластонита в составе (Рисунок 6). Стоит отметить, что данные библиотеки RUFF определяли спектр, как спектр тремолита.

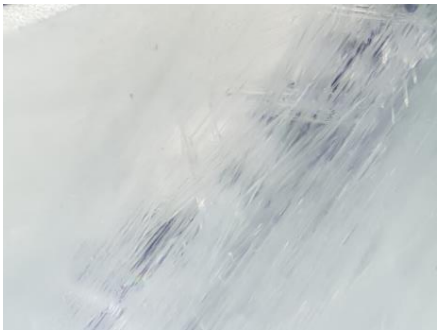
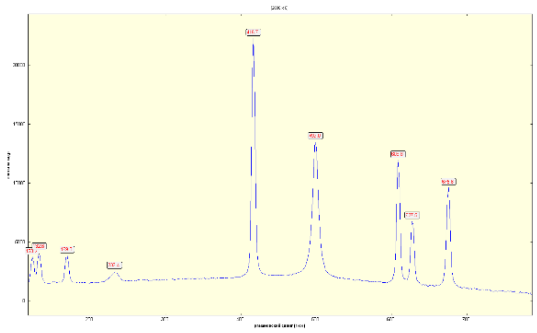
а  б 

Рисунок 6. Синтетический волластонит: поверхность образца, ув. 10Х (а); спектр комбинационного рассеяния (б)

Выводы

Диагностика имитаций является неотъемлемой частью геммологической практики. Зачастую такие вставки легко отличимы от природных даже при кратковременном визуальном осмотре, однако встречаются противоречивые образцы. В данной статье рассмотрены некоторые из таких. Приведены данные оптической микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния. Рассмотрены имитации халцедона и изумруда из стекол, бусины, а также особые синтетические имитации ларимара и опала.

Библиография

1. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни. - Москва: Недра, 1987. - 179 с.
2. Иллюстративный материал // Стекло с эффектом кошачьего глаза URL: https://biser.shop/8846/ (дата обращения: 16.03.2025).
3. Синтетический опал компании Kyocera // URL: https://sanwapearl.com.hk/en/synthetic-opal (дата обращения: 16.03.2025).
4. Nathan D. Renfro, John I. Koivula, Jonathan Muyal, Shane F. McClure, Kevin Schumacher, and James E. Shigley Inclusions in Natural, Treated, Synthetic, and Imitation Opal // Gems & Gemology. - Summer 2019. - Vol. 55, No. 2. - C. 244 -245.

Исследование математической закономерности характеристик фотоаппарата от свойств драгоценных камней при фотографировании

Пономарева А.Н.* (МГРИ, Anastasia2000sao@gmail.com),
Петроченков Д.А. (МГРИ, petrochenkovda@gmail.com)

Аннотация

Данное исследование посвящено оптимизации фотографирования драгоценных камней с использованием цифрового зеркального фотоаппарата. В ходе эксперимента проводился расчет характеристик фотоаппарата в зависимости от показателя преломления камня и геммологического освещения, а также исследованы 10 образцов различных минералов.

Выявлены оптимальные параметры экспозиции и глубины резкости для каждого типа камня, что значительно улучшает детализацию и цветопередачу изображений. Результаты подчеркивают важность научного подхода в геммологии. В будущем планируется расширение исследования на другие характеристики минералов, таких как оптическая спектроскопия и разработка программного обеспечения для автоматизации расчетов.

Ключевые слова

Экспозиция, глубина резкости, геммологическое освещение, показатель преломления

Теория

Фотографирование драгоценных камней требует учета их кристаллооптических свойств, таких как показатель преломления, дисперсия, двулучепреломление и плеохроизм. Эти характеристики влияют на визуальное восприятие камня на фотографии. В данной работе особое внимание будет уделено влиянию такого параметра, как показатель преломления.

Основная цель исследования заключается в оптимизации параметров цифрового зеркального фотоаппарата для получения высококачественных изображений драгоценных камней, что позволит геммологам более точно оценивать и представлять минералы.

Предполагается, что математические расчеты параметров экспозиции и глубины резкости могут значительно улучшить качество фотографий драгоценных камней. Основная гипотеза заключается в том, что оптимизация настроек фотоаппарата приведет к увеличению детализации и правильной цветопередачи. Расчеты параметров будут проводиться с учетом следующих факторов: образцы минералов освещены геммологической лампой, расстояние от объектива до образца 50 мм.

Глубина резкости (DOF) — это диапазон расстояний, в пределах которого объект на фотографии будет выглядеть резким. Глубина резкости определяется формулой:

$$\mathrm{DOF} = \frac{2 \cdot \mathrm{N} \cdot \mathrm{c} \cdot \mathrm{f}^2}{F^2}$$

где: N — значение диафрагмы (для макросъемки обычно используется f/16) c — допустимый круг нерезкости (обычно 0.02 мм для APS-C сенсора), f — фокусное расстояние, F — расстояние до объекта [2]. В ходе исследования было выявлено, что оптимальные параметры для макротографий следующие: N=16, c=0.02 мм, f=100 мм и F=50 мм. Это означает, что DOF составляет 2.56 мм.

Экспозиция — это количество света, попадающего на сенсор камеры, которое определяет яркость изображения. В общем случае, экспозиция должна быть такой, чтобы

изображение было достаточно ярким, но не пересвеченным, в идеале значение должно стремиться к 0,5 [3]. Экспозиция рассчитывается по следующей формуле:

$$E = \frac{L \cdot t}{S}$$

Где: L — освещенность сцены, t — выдержка, S — значение ISO [2].

Освещенность сцены можно рассчитать с учетом показателя преломления камня и освещения лампы. Она определяется как:

$$Lscene = Llamp \cdot T$$

где T — коэффициент пропускания света, который можно рассчитать с использованием закона Снелла и формулы Френеля для отражения и преломления света:

$$T = \left(\frac{2n1\cos\theta i}{n1\cos\theta i + n2\cos\theta t}\right)^2$$

При этом n1 — показатель преломления воздуха (приблизительно 1), n2 — показатель преломления камня, θi — угол падения света, а θt — угол преломления, который можно найти с использованием закона Снелла [4]:

$$n1\sin\theta i = n2\sin\theta t$$

Для макросъемки драгоценных камней были выбраны следующие параметры: Llamp=2000 люкс (освещенность геммологической лампы), θi=45градусов, t=1/200 с, S=100 [1]. Эти параметры позволяют минимизировать нежелательные оптические эффекты и подчеркнуть красоту камней.

В ходе исследования были проведены расчеты для различных минералов, учитывающие их показатели преломления и угол падения света. Результаты представлены в таблице 1, что позволяет оптимизировать параметры фотоаппарата для получения качественных изображений драгоценных камней, подчеркивающих их уникальные характеристики.

Таблица 1. Расчет параметров для фотоаппарата

минерал	n2	θi	θt	T	Lscene		E	DOF
сапфир	1,766	45	0,502737	0,506869	1013,739		0,050687	2,56
рубин	1,766	45	0,502737	0,506869	1013,739		0,050687	2,56
изумруд	1,584	45	0,567098	0,564447	1128,894		0,056445	2,56
александрит	1,751	45	0,507453	0,511096	1022,191		0,05111	2,56
аквамарин	1,58	45	0,568711	0,56589	1131,779		0,056589	2,56
топаз	1,626	45	0,550732	0,549815	1099,63		0,054981	2,56
раухтопаз	1,549	45	0,581556	0,577378	1154,756		0,057738	2,56
аметист	1,549	45	0,581556	0,577378	1154,756		0,057738	2,56
горный хрусталь	1,549	45	0,581556	0,577378	1154,756		0,057738	2,56
цитрин	1,549	45	0,581556	0,577378	1154,756		0,057738	2,56

хризолит	1,677	45	0,532161	0,53321	1066,419		0,053321	2,56
танзанит	1,696	45	0,525577	0,52732	1054,641		0,052732	2,56

Для точного расчета параметров фотоаппарата рекомендуется экспериментировать с различными значениями освещенности, выдержки и ISO, чтобы достичь наилучших результатов. В ходе исследования были применены рассчитанные параметры и получены следующие изображения, на которых можно заменить, что исследование позволило более точно передавать цвет образца (Рис. 1).

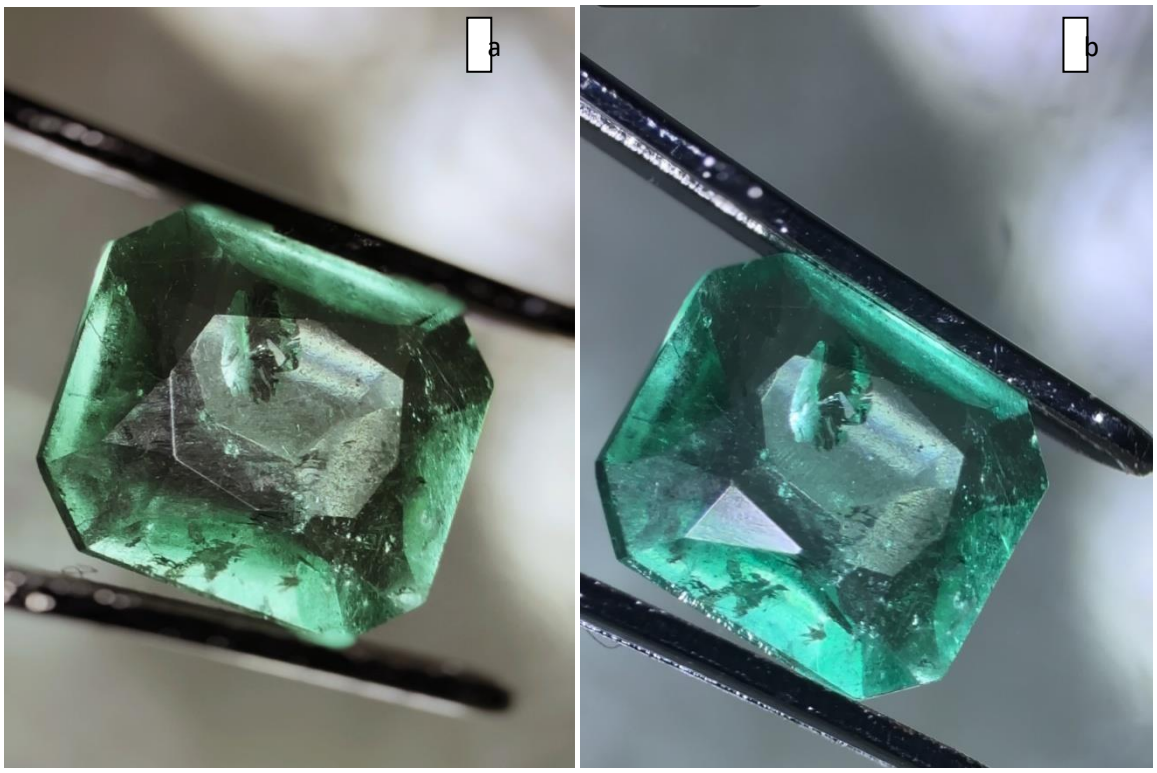


Рисунок 2. a – фотография изумруда с автоматическими параметрами фотоаппарата. b – фотография изумруда по рассчитанным параметрам

Выводы

Итак, проведенные эксперименты показали, что правильный выбор параметров экспозиции и глубины резкости значительно улучшает качество изображений драгоценных камней, позволяя лучше передавать их цвета и детали. Показатель преломления камня и условия геммологического освещения играют ключевую роль в определении характеристик фотоаппарата, что подчеркивает необходимость учета этих факторов при фотографировании. Исследование 10 образцов различных минералов подтвердило, что каждый тип камня требует индивидуального подхода к настройкам камеры для достижения наилучших результатов. Результаты работы подчеркивают важность применения новых методов в геммологической фотографии, что может способствовать более точной идентификации и оценке драгоценных камней.

Библиография

1. Юрий Михайловский. Камеры и камерные каналы // «MediaVision» : журнал. — 2011. — № 7. — С. 69—80.
2. Крис Уэстон. Экспозиция в цифровой фотосъёмке = Mastering digital exposure and HDR imaging / Т. И. Хлебнова. — М.,: «АРТ-родник», 2008. — С. 18—20. — 192 с. — ISBN 978-5-9794-0235-2.
3. Джон Хеджкоу. Фотография. Энциклопедия / М. Ю. Привалова. — М.: «РОСМЭН-ИЗДАТ», 2004. — 264 с. — ISBN 5-8451-0990-6.
4. А. В. Шеклеин. Система современной вспышки // «Фотомагазин» : журнал. — 1995. — № 6. — С. 16—22. — ISSN 1029-609-3.

Использование РФА для диагностики синтетического малахита

Горюнов П.Д. (МГРИ, ganter.g@list.ru)

Аннотация

Согласно статье LA-ICP-MS Analysis as a Tool for Separating Natural and Synthetic Malachite за авторством Christopher M. Breeding и Andy Shen из лаборатории GIA, результаты анализа химического состава природного и синтетического малахита при помощи LA-ICP-MS показали повышенные концентрации Zn и Mg в синтетических малахитах и повышенное содержание Co и V в природных образцах. Также были обнаружены различия в содержании Be, P, и Ni. В синтетических малахитах Ni встречается в количествах на три порядка больших чем в природных. Напротив, Be и P были обнаружены во всех природных образцах, а в синтетических малахитах их содержание ниже порога обнаружения.

Результаты исследования указывают на возможность определения природности малахита на основе химического анализа содержания примесей.

Проведен анализ химического состава образцов природного и синтетического малахитов на спектрометре РФА. Результатами исследования подтвердилось наличие повышенного содержания Ni в синтетических малахитах и минимальное его количество в природных камнях.

Ключевые слова

РФА, Малахит, Синтетический малахит, Диагностика

Теория

В 2010 году Christopher M. Breeding и Andy Shen из лаборатории GIA опубликовали статью в которой описывают сравнительное исследование образцов природного и синтетического малахита. В исследовании проводился анализ химического состава при помощи LA-ICP-MS девяти образцов природного малахита неизвестных месторождений и пяти образцов синтетического малахита. Результаты анализа показали повышенные концентрации Zn и Mg в синтетических малахитах (Рисунок 1.) и повышенное содержание Co и V в природных образцах (Рисунок 2.).

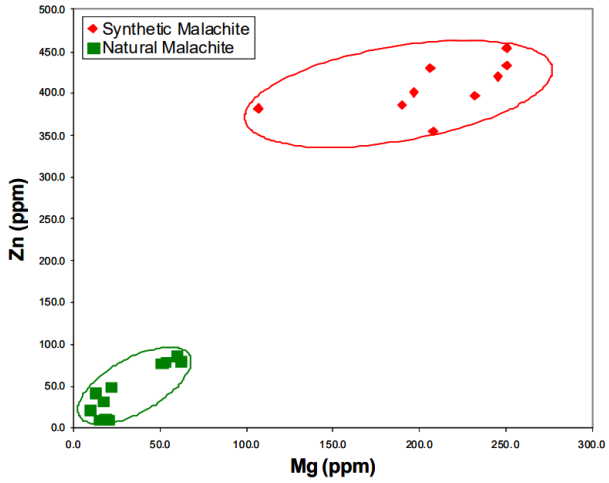


Рисунок 1. Содержание Zn и Mg в природных (зеленый)
и синтетических (красный) малахитах

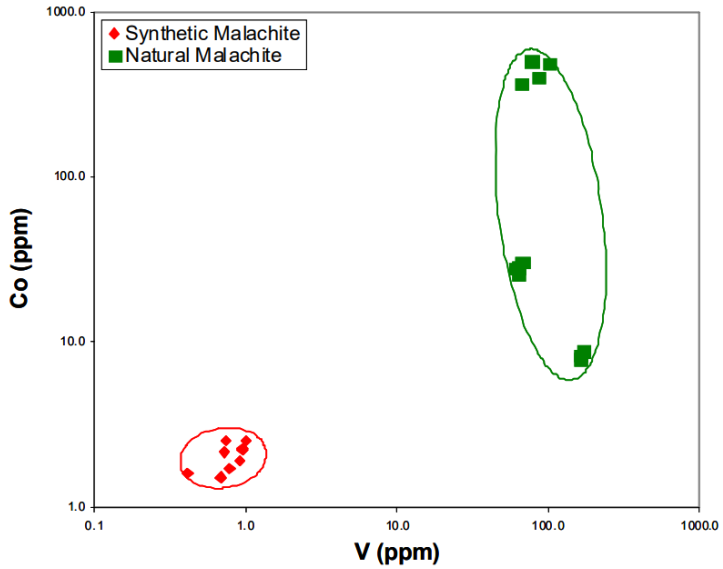


Рисунок 2. Содержание Co и V в природных (зеленый)
и синтетических (красный) малахитах

Также были обнаружены различия в содержании Be, P, и Ni (Рисунок 3.). В синтетических малахитах Ni встречается в количествах на три порядка больших чем в природных. Напротив, Be и P были обнаружены во всех природных образцах, а в синтетических малахитах их содержание ниже порога обнаружения.

	Sample	Be	P	Ni
		ppm	ppm	ppm
Synthetic	CB00023	bdl	bdl	15150
	CB00024	bdl	bdl	17700
	CB00025	bdl	bdl	11790
	CB00026	bdl	bdl	5325
	CB00027	bdl	bdl	3650
Natural	CB00028	7.8	3880	bdl
	CB00029	19.4	4810	21
	CB00030	36.7	3890	53
	CB00031	4.1	1340	30
	CB00032	4.1	487	12
	CB00033	6.3	644	24
	CB00034	6.1	1680	11
	CB00035	8.8	3890	36
	CB00036	20.1	5160	46

bdl = below detection limits
All sample data consist of an average of 2-4 spot analyses.

Рисунок 3. Содержание Be, P и Ni в природных (зеленый)
и синтетических малахитах (красный)

Результаты исследования указывают на возможность определения природности малахита на основе химического анализа содержания примесей.

В виду большей доступности РФА в геммологических лабораториях было проведено сравнение спектров синтетических и природных малахитов для проверки результатов исследования Christopher M. Breeding и Andy Shen, и определения возможности использования РФА при определении природности малахита. Для исследования использовались 4 образца

природного малахита и 4 образца синтетического. Технические возможности РФА не позволяют провести исследование содержания Be, Mg и P из-за их низкого атомного веса. Определение содержания таких элементов как Zn, невозможна из-за перекрытия их пика другими пиками в спектре. В содержании V и Co в природных и синтетических изумрудах не было обнаружено закономерностей. В результате при помощи РФА в малахите возможно изучение содержания Ni.

Результатами исследования подтвердилось наличие повышенного содержания Ni в синтетических малахитах и минимальное его количество в природных камнях. В синтетических малахитах Ni встречается в количествах на три порядка больших чем в природных. (Рисунок 4.)

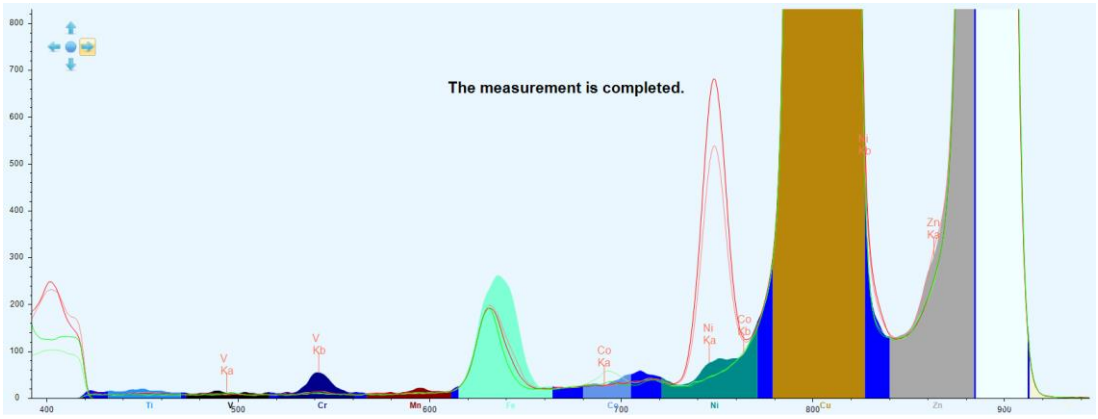


Рисунок 4. Спектр РФА синтетических (красные) и природных (зеленые) малахитов

Выводы

Для определения природы происхождения малахита возможно использование спектрометра РФА для исследования примесей Ni. Наличие примесей Ni указывает на искусственное происхождение малахита.

Библиография

1. Ильин О.В. О формах кристаллизации малахита // "Мир Камня", 1994, № 4, с. 1-3.

2. Мельников Е.П., Черненко Т.В. Свойства и диагностика природного и синтетического малахита. // Вестник геммологии. М., 2003, №№ 8-9, с. 11-26 (№8), с. 31-35 (№9).

3. Петров Т.Г., Мошкин С.В., Жоголева В.Ю. Сравнительное изучение морфологических и физико-химических характеристик синтетического и природного малахита. // Труды ленинградского об-ва естествоиспытателей. Т. 79. Вып. 2. Л., 1980. С. 142-151.

4. C. M. Breeding and A. Shen. LA-ICP-MS Analysis as a Tool for Separating Natural and Synthetic Malachite. News from Research, October 11, 2010. http://www.gia.edu/researchresources/news-from-research

Лунный камень – диагностика и реальные минералы на современном рынке

Вилесова В.Д.* (МГРИ, vilesovav@mail.ru),
Романова Е.И. (МГРИ, romanovaei@mgri.ru)

Аннотация

На современном ювелирном рынке под названием «лунный камень» реализуются различные минералы, обладающие схожими оптическими эффектами. В данном исследовании проведен комплексный анализ нескольких образцов, представленных как лунный камень, с целью установления их минерального состава. Исследования включали измерение показателей преломления, плотности, микроскопическое изучение структурных особенностей и внутренних дефектов. Результаты показали, что под одним торговым названием могут продаваться ортоклаз, альбит и лабрадор, обладающие различными диагностическими характеристиками.

Ключевые слова

Лунный камень, ортоклаз, альбит, лабрадор, адуляресценция, полисинтетическое двойникование

Источники финансирования

Исследование проведено без финансирования.

Теория

Лунный камень – это торговое название группы минералов, чаще всего относимых к калиевым и натриевым полевым шпатам, проявляющим эффект адуляресценции. Название лунный камень первоначально использовалось только для ортоклаза с эффектом адуляресценции. Позднее это название стало использоваться в торговле шире применительно и к другим минералам из группы полевых шпатов: санидину [3], альбиту [2] и лабрадору [5, 4].

В данной работе представлено исследование образцов лунного камня при помощи стандартных методов геммологического тестирования и спектроскопии комбинационного рассеяния. Исследования проводились на кафедре минералогии, геммологи и петрографии российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе.

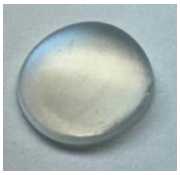
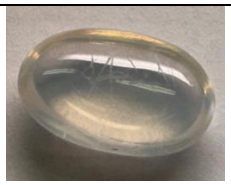
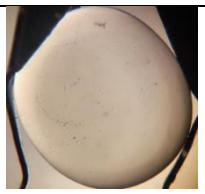
Коллекция исследованных камней включала 9 образцов. Исследованная коллекция включала как образцы, поступившие в коллекцию около 50 лет назад и сравнительно недавно приобретенные как лунные камни. В исследованной подборке было выявлено 2 образца ортоклаза, 1 образец санидина, 3 альбита, 3 лабрадора.

1. Ортоклаз – калиевый полевой шпат с низким двупреломлением, показателями преломления около 1,513–1,525 и плотностью в диапазоне 2,56–2,60 г/см³. Он демонстрирует голубоватый отлив, обусловленный рассеянием света в тонких микрослоях альбита.

Было исследовано 2 образца, который находятся в коллекции около 50 лет. Точной привязки не имеют. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования образцов ортоклаза

Образец 1	Образец 2
Показатели преломления 1, 513 – 1,520, двупреломление 0,007	Показатель преломления, измеренный дистанционным методом ≈ 1,52

Плотность, измеренная методом гидростатического взвешивания – 2,58 г/см^3	Плотность, измеренная методом гидростатического взвешивания – 2,57 г/см^3
 Фото образца 1. Полупрозрачный, почти бесцветный со слабым желтоватым оттенком. Отлив сильный голубой, имеет вид перелива света.	 Фото образца 2. Полупрозрачный, бесцветный с желтым оттенком. Отлив голубой, имеет вид перелива света.
 При осмотре под микроскопом включений не было выявлено. Видны только поверхностные повреждения (ямки, сколы, царапины). Проходящий свет, увеличение 8,4х	 Пластинчатые включения альбита в ортоклазе (так называемые «сороконожки»), обрамленные трещинками по спайности, Проходящий свет, увеличение 14х, 28х.
Спектроскопия комбинационного рассеяния образцов показала, что они являются ортоклазами.	

2. Санидин — высокотемпературная разновидность калиевого полевого шпата, относящаяся к группе ортоклаза.

Диагностические характеристики санидина: Показатель преломления: 1,516–1,526. Двупреломление: 0,003–0,005 (очень слабое). Плотность: 2,56–2,62 г/см³.

Исследован 1 образец, который находится в коллекции около 50 лет. Привязка отсутствует. Оранжевый просвечивающий (рисунок 1). Отлив белый, показатель преломления ≈1,510 (измерен дистанционным методом), плотность - 2,60 г/см^3. Под увеличением в отраженном свете наблюдались многочисленные очень мелкие удлиненные плоские иризирующие ориентированные включения, красноватые на просвет.

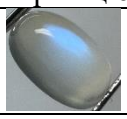
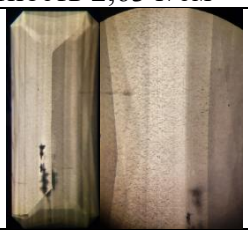
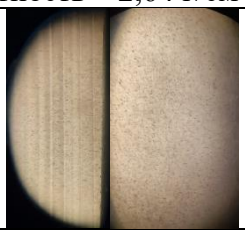

Рисунок 1. Общий вид образца 3.

Методом комбинационного рассеяния был определен как санидин.

3. Альбит – натриевый полевой шпат, обладающий схожими оптическими эффектами, но более высокой плотностью (до 2,64 г/см³) и показателями преломления до 1,535. Включения в альбите могут придавать ему дополнительную окраску и иризацию.

Было исследовано 3 образца, поступившие в коллекцию недавно. Прозрачные до полупрозрачных с желтым оттенком, и голубым отливом. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты исследования образцов альбитовых лунных камней

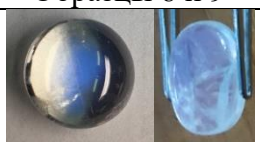
Образец 4	Образец 5	Образец 6
		
Лунный камень, Килоса, Танзания	Лунный камень, Танзания	
Показатель преломления, измеренный дистанционным методом ≈1,52	Показатели преломления 1,525 – 1,535, двупреломление – 0,008	Показатель преломления, измеренный дистанционным методом ≈ 1,52-1,53
Плотность 2,64 г/см^3	Плотность 2,63 г/см^3	Плотность – 2,64 г/см^3
		
В скрещенных фильтрах видно полисинтетическое двойникование в одном направлении. В проходящем свете видно большое количество мелких плоских трещин, имеющих неравномерное заполнение, ориентированных как минимум в двух направлениях		
Спектроскопия комбинационного рассеяния образцов показала что они являются альбитами.		

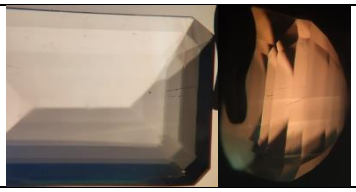
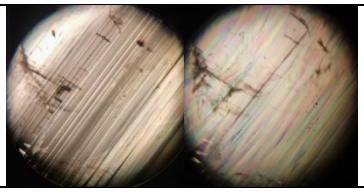
4. Лабрадор – разновидность плагиоклазов с ярко выраженным радужным отливом, обусловленным интерференцией света на тонких пластинах с разной ориентацией. Лабрадор, как правило, проявляет полисинтетическое двойникование и может иметь включения оксидов железа.

Было исследовано 3 образца: один образец радужного лунного камня с Мадагаскара (образец 7) и два образца лунных камней из Индии (образцы 8 и 9).. Прозрачные бесцветные с желтым оттенком. Образец 8 демонстрировал многоцветный отлив (присутствуют оранжевый, желтый, зеленый, синий цвета), образцы 8 и 9 - сильный отлив синего цвета. Результаты исследования суммированы в таблице 3

.

Таблица 3. Результаты исследования лунных камней лабрадорового состава

Образец 7	Образцы 8 и 9
 Радужный лунный камень, Мадагаскар	 Лунный камень, Индия
Показатели преломления 1,549 – 1,556	Показатель преломления ≈ 1,550 (измерен дистанционным методом)
Плотность – 2,66 г/см^3	Плотность 2,66г/см^3

	
Под увеличением можно наблюдать две системы полисинтетических двойников, пересекающихся под почти прямым углом. Скрещенные фильтры, увеличение 14х.	Сильно развитое полисинтетическое двойникование в одном направлении, скрещенные фильтры, увеличение 14х.
Спектроскопия комбинационного рассеяния образцов показала что они являются лабрадором.	

Выводы

1. Минералогическое разнообразие “лунного камня”

Анализ исследованных образцов показал, что под торговым названием “лунный камень” реализуются различные минералы группы полевых шпатов: ортоклаз, альбит, санидин и лабрадор. Каждый из них обладает характерными диагностическими особенностями, определяемыми методами рефрактометрии, гидростатического взвешивания и спектроскопии комбинационного рассеяния.

2. Отличительные характеристики:

• Ортоклаз демонстрирует голубоватый отлив, обусловленный рассеянием света в тонких альбитовых прослоях.

• Санидин характеризуется относительно низким двупреломлением и слабо выраженными внутренними дефектами.

• Альбит имеет более высокие показатели преломления и плотность, а также может содержать включения, придающие ему дополнительные цветовые эффекты. В образцах выражено полисинтетическое двойникование.

• Лабрадор отличается полисинтетическим двойникованием и ярко выраженной иризацией.

3. Роль спектроскопии в идентификации

Исследования комбинационного рассеяния подтвердили минеральный состав образцов, позволив точно определить, какие разновидности полевых шпатов использовались в качестве “лунного камня”. Это подтверждает необходимость применения современных аналитических методов в ювелирной и геммологической практике.

4. Эволюция представлений о “лунном камне”

В историческом контексте понятие “лунный камень” менялось с развитием науки и открытием новых месторождений. Так, когда А.Е. Ферсман описывал лунные камни [1], еще не были известны радужные лунные камни с Мадагаскара [4] и альбитовые лунные камни из области Морогоро, Танзания [2]. Это подчеркивает необходимость уточнения минералогической классификации и торговых терминов в современной геммологии.

5. Значение правильной идентификации для рынка

Различие в физических и оптических свойствах минералов, продаваемых как “лунный камень”, влияет на их ценность и применение. Корректная идентификация важна как для потребителей, так и для специалистов, поскольку каждый минерал обладает разными прочностными характеристиками, устойчивостью к обработке и ценовыми категориями.

Библиография

1. Ферсман А.Е. Занимательная минералогия. - СССР, Москва: Издательство Академии наук, 1959 г. - 239 с.

2. Elizabeth P. Quinn, Sam Muhlmeister, Brendan M. Laurs «Albitic “moonstone” from the Morogoro region, Tanzania» Gems & Gemology, spring 2005, pp. 60-61.
3. J.Koivula & R. Kammerling, editors «New Mexico moonstone» Gems & Gemology, fall 1988, pp. 177-178.
4. Jennifer Stone-Sundberg «New high-quality rainbow moonstone from Madagascar» Gems & Gemology, spring 2024, p. 102.
5. M. Johnson & J. Koivula, editors «Blue and multicolor-sheen moonstone feldspar from India» Gems & Gemology, summer 1997, pp. 144-145.

Аквамарин с «сюрпризом»: выявление облагораживания методом заполнения трещин

Солодовникова П.Н. (МГРИ, polina.0226@gmail.com),*
Моисеева С.Б. (МГРИ, moiseevasb@mgri.ru)

Аннотация

Интерес к минералам в любом виде в настоящее время как никогда широк. Но это любопытство не дань моде сегодняшнего дня – оно развивалось и созревало постепенно на протяжении многих десятилетий. За это время в промышленности развивались облагораживание и синтез – которые для многих видов драгоценных камней стали уже привычными.

В данном докладе поднимается тема применения облагораживания не только к привычным материалам, а и к любым. Вследствие чего геммологу сегодня как никогда необходимо быть в курсе происходящего, иметь необходимые знания, понимание и методы распознавания подобных видов облагораживания. Диагностика описываемого образца проводилась в лаборатории кафедры Минералогии, геммологии, петрографии МГРИ. Использованное оборудование: EnSpectr R532 на базе микроскопа Olimpus BX43F, рефрактометр РГ-2 КЛИО, полярископ GIA Polariscope, микроскоп Bausch&Lomb, лупа триплет 10X.

Ключевые слова

Берилл, аквамарин, сырье, облагораживание, флэш-эффект

Источники финансирования

Приобретение автора.

Теория

Берилл — это минерал, принадлежащий к классу кольцевых силикатов. Он не просто один из многих минералов, а настоящий хамелеон в мире камней. Его удивительное разнообразие цветов, форм и свойств делает берилл объектом пристального внимания не только ювелиров и коллекционеров, но и исследователей в различных областях науки и техники.

Химическая формула берилла – Al2[Be3(Si6O18)]. Минерал имеет гексагональную структуру из кремнекислородных тетраэдров (SiO_4), соединенных ионами бериллия (Be) и алюминия (Al). В структуре создаются каналы для изоморфного замещения, что влияет на свойства берилла.

Сингония	Гексагональная
Твердость	7,5-8.
Плотность	2,63 - 2,92 г/см³
Блеск	Стеклянный, иногда жирный
Излом	Раковистый, неровный
Спайность	Несовершенная по {0001}
Прозрачность	Прозрачный, полупрозрачный
Цвет	Зелёный, голубой, жёлтый, красный, белый

Таблица 1. Свойства берилла

Примеси вызывают различные окраски минерала, определяющие его названия:

- Изумруд: зеленый цвет от хрома (Cr) или ванадия (V).
- Аквамарин: голубой или сине-зеленый от железа (Fe).
- Морганит: розовый от марганца (Mn).
- Гелиодор: желтый или золотистый от железа (Fe).
- Гошенит: бесцветный берилл без примесей.

Многие разновидности берилла, такие как изумруд, аквамарин, морганит и другие, являются ценными драгоценными камнями, применяемыми в ювелирной промышленности.

Изумруд – драгоценный камень высшей группы, ценящийся за насыщенный зеленый цвет. В природе он редко обладает идеальной прозрачностью и хрупок, может иметь трещины, включения и другие дефекты. Облагораживание изумрудов – привычное дело ювелирной индустрии, улучшающее их внешний вид и привлекательность для потребителей.

Основным методом облагораживания изумрудов является заполнение трещин маслами, полимерами – бесцветными или цветными заполнителями, в случае если требуется улучшения цвета.

Аквамарины, морганиты, гелиодоры и гошенит такому виду облагораживания, как известно, обычно не подвергаются.

Хотя, если подобная практика не является редкостью для другой разновидности берилла – изумруда, а также для других драгоценных камней – рубинов, сапфиров, бриллиантов, то сам собою напрашивается вопрос – а почему бы и правда не улучшать методом заполнения трещин внешний вид и других разновидностей?!

Подбирая подходящие материалы для выполнения ВКР, был увиден и выбран образец аквамарина, со слов продавца бразильского происхождения (Рис. 1). Вид образца немного насторожил, а именно: блеск, похожий на мыльный, поверхность, будто покрытая лаком, высокая интенсивность цвета, но при этом какая-то внутренняя замутненность, напоминающая необычные феномены внутри камня – что в подобном сочетании не характерно для бериллов. В ходе консультации с научным руководителем установили, что никому из нас похожие образцы не попадались раньше. А это значит только одно – надо исследовать.



Рисунок 1. Исследуемый образец берилла (аквамарина)

Из методов исследований первое, что решено было применить – это стандартные геммологические методы. Показания, полученные при помощи полярископа и рефрактометра, а именно анизотропия камня и показатели преломления в диапазоне 1,577—1,583, говорили о том, что данный образец может являться бериллом, и благодаря цвету – его разновидностью аквамарином. Однако, замутнение в образце, видимое даже невооруженным глазом, продолжало настораживать. И хотя подобные феномены иногда встречается в камнях, данный факт побуждал к дальнейшему изучению камня.

Следующим шагом было проведение исследования на приборе EnSpestr в лаборатории кафедры минералогии, геммологии и петрографии МГРИ. Рамановский спектрометр — мощный аналитический инструмент, позволяющий получать спектры комбинационного рассеивания и сравнивать их с аналитической базой для отнесения образцов к минеральному виду. В результате было также подтверждено, что приобретенный камень действительно является бериллом. (Рис.2).

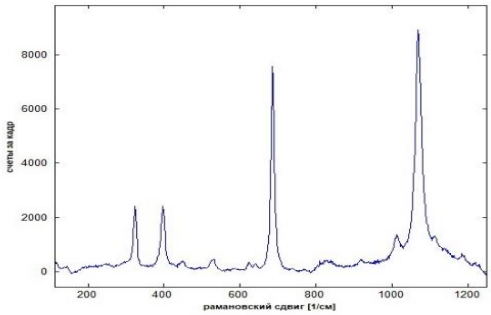


Рисунок 2. Спектр исследуемого образца берилла (аквамарина)

После диагностики камень был передан огранщику. Во время распиловки было замечено, что образец легче поддается резке, в отличие от аквамаринов, с которыми доводилось работать ранее. Для выяснения причин было решено провести более тщательную диагностику, для чего был отполирован небольшой обрезок камня.

Из-за гладкости грани образца измерения на рефрактометре стали точнее – он одноосен, показатель преломления – 1,570, анизотропен. Вывод – образец является бериллом. Повторное исследование на Рамановском спектрометре подтвердило этот вывод.

Ровная гладкая поверхность отпиленного фрагмента камня позволила рассмотреть природу внутренней замутненности. Видны изогнутые отблески голубого, голубовато-зеленоватого, желтого цветов. Можно было принять их за структурные аномалии или цветовые эффекты, характерные для других минералов, но для бериллов это необычно (Рис.3).

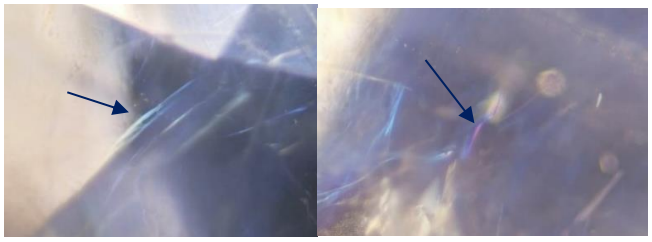


Рисунок 3. Голубые и желтые отблески в объеме камня. Увеличение 37,5х

Образец тщательно изучили под микроскопом при увеличении 37,5х. Оказалось, что цветные отблески по всему объему камня – это флэш-эффект от заполнения трещин, известный геммологам по аналогичному облагораживанию рубинов, сапфиров, изумрудов и алмазов.

Подобные эффекты возникают из-за разницы показателя преломления камней и заполнителей. Флэш-эффекты могут быть синего и жёлтого, оранжевого и желтого, пурпурного и синего цветов, в зависимости от типа заполнителя и его происхождения: органического (разнообразные масла) или синтетического. Режим просмотра на данном фото - проходящий свет (Рис. 4).



Рисунок 4. Флэш-эффект в облагороженных изумруде слева (увеличение 37,5х) и рубине справа (увеличение 40х)

В силу того, что в аквамаринах данный вид облагораживания не является типичным, то и первоначальное ошибочное представление о природе ярко-голубых отблесков, как о наличии некоторых феноменов, вполне понятно и обосновано.

Выводы

Приобретение не ограненного берилла аквамарина и последующие исследования показали, что геммологу важно быть внимательным и осмотрительным. Существует сильная дифференциация цен и ценностей ювелирных изделий, драгоценных вставок и коллекций в зависимости от природы происхождения того или иного их качественного параметра. Облагораживание камней постоянно развивается, поэтому могут внезапно обнаружиться нетипичные примеры. Это относится к любому виду сырья и ограненных камней, и всегда влияет на цену. Геммолог, осознавая материальную ценность образца, должен уметь распознать и доказать наличие или отсутствие облагораживания.

Благодарности

Смирнову П.А. за помощь при огранке образца.

Библиография

1. Хомрач М. В., Романова Е. И. Облагораживание изумрудов [Текст] / Хомрач М. В., Романова Е. И. // ЭКСПО-ЮВЕЛИР. — Февраль-Май 2019. — № 112. — С. 7-8.
2. Хомрач М. В., Романова Е. И. Облагораживание рубинов и сапфиров методом заполнения трещин стеклом / Хомрач М. В., Романова Е. И. [Электронный ресурс] // Uvelir.info : [сайт]. — URL: https://uvelir.info/practical/oblagorazhivanie-rubinov-i-sapfirov-metodom-zapolneniya-treschin-steklom/ (дата обращения: 20.02.2025).
3. https://www.gem-company.ru/
4. www.lmhc-gemmology.org

Технические приемы резьбы по нефриту в китайской традиции “Цяодяо” (Умное использование цвета)

Чжу Шуань (МПГУ, 835619649@qq.com)*

Аннотация

Китайская традиционное искусство резьбы по нефриту богато как художественным содержанием, так и уникальными техниками. В зависимости от свойств исходных материалов мастер выбирает ту или иную технику резьбы, которая, по существу, формирует конечный образ скульптурного произведения. Особое место занимает техника резьбы «цяодяо», которая отличается от других удивительным подходом к использованию цветовых характеристик сырья, и эта игра цвета и формы создает эффект необычайно реалистичного моделирования объектов в каменной миниатюре. Тема этого исследования - путь совершенствования техники резьбы «цяодяо», который взял начало ещё в китайских династиях прошлого, и до наших дней.

Ключевые слова

Китай, нефрит; цяодяо; резьба по камню

Теория

В буквальном переводе с китайского языка «цяодяо» означает «красивое использование цвета». Иными словами, «цяодяо» **[3]** – это техника художественного использования естественного неравномерного цвета камня. В метод «цяодао» особенно ценится в Китае при резьбе по нефриту – весьма сложному минералу из-за его высокой твердости и структуры волокнистой спутанности.

Резьба по нефриту – один из старейших и наиболее важных видов искусства в Китае, ремесло с богатой историей и традициями, отражающее китайскую философию и культуру. За более чем пятитысячелетнею историю китайская резьба по нефриту без перерыва.

Ранние исследования китайской резьбы по нефриту были сосредоточены, в основном, на изучении форм и узоров. В последние годы, в связи с быстрым развитием инструментов для резьбы по нефриту, исследования мастерства резчиков все больше привлекают внимание ученых. Особое место в современных работах исследователей занимает техника «цяодяо» как одно из самых изысканных направлений резьбы по нефриту.

Нефрит является спутановолокнистой разновидностью амфибола. Он имеет состав между актинолитом $CaMg_5[Si_4O_{11}](OH)_2$ и тремолитом $CaFe_5[Si_4O_{11}](OH)_2$. Сингония: моноклинная. Он слабо просвечивает и обладает разнообразной окраской: от светло- до тёмно-зеленой, желтой, коричневой, белой, серой и черной. Окраска может быть неоднородной с характерными тёмными включениями магнетита или графита. Твёрдость составляет 5,5–6,5. Плотность около 3,0 г/см3.

Среди множества работ, посвященных китайскому народному мастерству резьбы по нефриту, есть немало книг и статей по резьбе с использованием «игры цвета». Важность этих исследований подтверждается и тем фактом, что ряд книг или отдельные публикации используется в качестве учебных пособий профессиональных колледжей и высших учебных заведений Китая. В научной среде системно обсуждаются особенности стиля «цяодяо» и оригинальность выполненных резчиками работ. Обращает на себя внимание широкий сюжетный диапазон произведений прикладного и ювелирного искусства: пейзажи, люди, животные, растения и т.д.

Наиболее выдающиеся работы из нефрита справедливо занимают особые места в коллекциях ведущих музеев: Национальном музее Запретного города в Пекине, Дворцовый музей в Тайбэе, Шанхайский музей, музей Шэньяна и т.д.

В этой работе используются такие методы исследования, как сбор материалов из различных источников информации, научных трудов, анализ доступной информации в китайских публикациях и на веб-сайтах, а также работа с описаниями наиболее интересных, выдающихся резных произведений из коллекций ведущих национальных музеев Китая.

Результаты и их анализ

Нефрит вырезан красивыми цветами. Использование красивых цветов основано на изменениях цвета. Это не субъективно. Он фокусируется на нефритовых материалах и достигает единства человека и нефрита с помощью причудливых идей. Это гениально!

В книге Чжан Яо Искусство резьбы по нефриту в Древнем Китае представлены наиболее типичные работы, такие как «красивая нефритовая черепаха» **[1]**(период правления династий Шан и Чжоу, около 1600 г. до н.э. - около 1046 г. до н.э.), обнаруженная в руинах Инь в 1975 г. (рис. 1). При резьбе автором сознательно обработана темная часть камня, ставшая панцирем черепахи, в то время как голова, шея и брюшко черепахи – вырезаны по белой части нефрита. Этот вид творчества, сочетающий естественную красоту нефрита с мастерством художественной обработки, отражает уникальную изобретательность автора (рис. 1).



Рисунок 1. Нефритовая черепаха, длина 4 см, династия Шан (около 1600 г. до н.э. - около 1046 г. до н.э.)

На рис. 2 представлено изображение нефритовой статуэтки лежащей лошади из старой коллекции дворца Цин **[2]**. Длина объемной трехмерной фигурки 6,5 см. Лошадка вырезана из белого нефрита с небольшими желтоватыми пятнами. Художник в технике «цяодяо» изобразил животное, которое лежит на животе, задние конечности лошади и одна передняя конечность слегка согнуты, голова маленькая и слегка вытянута, грива имеет форму локона, хвост – тонкий. Форма лошади напоминает традиционный стиль династии Тан, когда резчик при изображении животных фокусировался на форме мышц. Однако эксперты относят время создания фигурки к династии Сун (960-1279 гг.) или даже несколько более позднему времени.



Рисунок 2. Нефритовая лежащая лошадь, династия Сун (960-1279) или более поздняя, длина 6,5 см. Старая коллекция дворца Цин **[2]**

Цяодяо практика «Маленькая капуста и кузнечик»

Я выбрала кусок российского светло-зеленого и белого шероховатого нефритового материала. В соответствии с естественной формой и цветом нефрита мы решила вырезать маленькую капусту и кузнечика. Естественный цвет нефрита очень похож на цвет капусты. Исходя из этого, вырезание кузнечика очень подвижно. В традиционной китайской культуре капуста имеет значение символа богатства. Общий вес исходного материала 426 граммов. Вес после гравировки составляет 204 грамм Высота заготовки составляла 80 мм, ширина - 50 мм, а толщина - 50 мм.

Творческий процесс

Используемое оборудование и инструменты **[4]**: камнерезная машина, бормашина, электронная гравировальная машина, абразивный диск, шлифовальный стержень с плоской головкой, насадка-крючок, острая насадка-игла, перфоратор, карандаш, фломастер, линейка, ластик и т. д.

Навыки вырезания «Маленькая капуста и кузнечик» из нефрита: создавайте, используя форму нефрита, и придайте ему форму в соответствии с распределением цветов. Из белой части нефрита формируются естественные ощущения листьев капусты. Также опыт работы с технологиями.

Сделайте резьбу в виде маленькой капусты и кузнечика в соответствии с формой необработанного камня и с помощью карандаша нарисуйте приблизительную форму маленькой капусты и кузнечика на необработанном камне.




Рисунок 3. обратите внимание на форму необработанного нефритового камня
Материал：российский нефрит,
Рисунок 4. Простая обработка и дизайн






Рисунок 5-6. С помощью небольшого горизонтального молотка вырежьте линию края маленькой капусты и удалите ненужные части,
Рисунок 7. Используйте шлифовальный станок (также известный как нефритовый станок) с разными головками, чтобы вытачать крупную фигуру капуста



Рисунок 8-10. Используйте зубоврачебные станки и различные разделочные иглы, чтобы вырезать жилки капусты и детали кузнечиков



Рисунок 11-12. После полировки работа становится более совершенной и влажной,
произведения：Маленькая капуста и кузнечик
Материал：нефрит, размеры：80 x 50 x 50 (мм)
Вес после окончания работы - 204 граммов
Технология: резьба по нефриту
Время создания: октябрь 2023 года

Выводы

В этом исследовании на примере техники «цяодао» проанализированы основные приемы китайской традиционной резьбы по нефриту. Собственно техника обработки исходного материала крайне важна, т. к. обидная ошибка в начале работы может решительно испортить не только сам камень, но и всю художественную задумку мастера. Китайские резчики говорят, что «резьба по нефриту – это операция вычитания». Как тут не вспомнить крылатое выражение, которое приписывают великому Микеланджело: «Я беру глыбу мрамора и отсекаю от неё всё лишнее». Но если на глыбе мрамора есть, как кажется, возможность исправить ошибку, то на этапе создания малых скульптурных форм из нефрита, обычно, не бывает второго шанса. Здесь техника владения резцом становится главной. Таково ремесло. А в сочетании с «цяодяо» ремесло становится искусством.

В России говорят: «Семь раз отмерь, один раз отрежь». Этот же принцип работает и у китайских резчиков по нефриту. Чтобы добиться точной и эффектной конечной формы, важно правильно разметить исходный материал. В нашем случае необходимо тщательно продумать, как «заиграет» природная окраска камня после вскрытия его внешних слоёв. Дело в том, цвет внутри материала может значительно отличаться от того цветового тона, который окажется на поверхности. В таком случае возможно даже изменение концепции изделия. Это творческий процесс, и только опыт и фантазия мастера могут подсказать ему верное решение.

Библиография

1. Чжан Яо «Древнекитайское искусство резьбы по нефриту», Китайское книжное издательство. 2017. с. 176.
2. «Коллекция тибетских артефактов и сокровищ Дворцового музея», «Нефрит (часть 1)», под редакцией Чжан Гуанвэня, Н, ISBN 978-7-53238802-8/ J-77 2008. С. 137, С. 192.
3. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1771466022847834056&wfr
4. https://baike.baidu.com/item/%E7%8E%89%E7%9F%B3%

Использование разноцветных глин Домодедовского карьера Московской области в качестве сырья для изготовления художественных изделий

Чжу Шуань (МПГУ, 835619649@qq.com)*

Аннотация

Во время маршрута на карьер по добыче известняка «Домодедово» в Московской области, помимо палеонтологических образцов каменноугольного периода и декоративного кремня, были найдены отложения глин юрского и четвертичного возраста различных цветов, которые могут быть использованы в качестве сырья для изготовления художественных изделий. При проведении экспериментальных работ с образцами глин было показано, что их качество очень высокое, а технологические характеристики глин различного возраста имеют различия.

Ключевые слова

Московская область, Домодедовский карьер, глина, художественное творчество

Теория

В октябре 2024 года автор вместе с сотрудниками и студентами МГРИ посетил Домодедовский карьер, находящийся на западе д. Киселиха, городской округ Домодедово, Московская область. В карьере ведется добыча известняка и доломита каменноугольного периода. Самая старая – северная часть карьера рекультивирована и отдана под дачное строительство. В настоящее время добыча известняка ведётся в южной части карьера. Глубина карьера 25 м, в нём вскрыт разрез каменноугольных, юрских и четвертичных отложений (рисунок 1). Разрез является стратотипом московского яруса и утвержден как памятник природы местного значения [1].



Рисунок 1. Карьер «Домодедово», Московская область

Каменноугольные отложения (видимая мощность 15 м) представлены светло-жёлтыми доломитами и известняками московского и касимовского яруса, частично окремнёнными с остатками криноидей, гастропод, брахиопод, кораллов и морских ежей (рисунок 2). Выше залегают юрские тёмно-серые глины оксфордского яруса (видимая мощность 5 м), которые снимают, чтобы добраться до известняков - окаменелостей в них очень мало, и они плохой сохранности (аммониты, белемниты, окаменевшее дерево). Юрские отложения перекрываются коричневыми ледниковыми глинами четвертичного возраста мощностью 3-5 м.



Рисунок 2. Палеонтологические образцы и кремни каменноугольного возраста

Для изучения технологических свойств в карьере были отобраны образцы тёмно-серых глин юрского возраста и коричневых глин четвертичного возраста (рисунок 3). В процессе анализа и обработки проб выяснилось, что данные глины являются высококачественным сырьём для изготовления художественных изделий. Основной минеральный состав глин: кальцит, гидрослюда, кварц, пирит, полевые шпаты, монтмориллонит, вермикулит, каолинит, иллит, гидроксиды железа [3].



Рисунок 3 Различные виды глины Домодедовского карьера

Основные технологические свойства глины

Пластичность – способность глины в увлажнённом состоянии принимать под влиянием внешних воздействий требуемую форму и размеры и сохранять её без разрывов и трещин при сушке и обжиге

Усадка – уменьшение линейных размеров глины при сушке (воздушная усадка) и обжиге (огневая усадка). Усадку выражают в % от первоначального размера изделия.

Огнеупорность – свойство глины противостоять воздействию высоких температур, не расплавляясь. Глины по огнеупорности делятся на три класса: огнеупорные (выше 1580 °С), тугоплавкие (1350–1580 °С) и легкоплавкие (ниже 1350 °С).

Спекаемость – способность глин под действием высоких температур превращаться в плотный камнеподобный черепок с водопоглощением менее 5%. В зависимости от степени спекания глины делят на сильноспекающиеся, среднеспекающиеся и неспекающиеся.

Связанность глины — это способность глины формировать хорошие вязкие грязевые массы и иметь определенную сухость, что определяется размером и структурой глинистых минералов [4].

Собранные на карьере образцы глины были очищены от крупных примесей, перемешаны с водой до получения необходимой для лепки консистенции (рисунок 4), после чего из них изготовлено несколько декоративных изделий (грибы, листья) (рисунок 5). Обе разновидности глины имеют хорошую связность и пластичность, однако тёмно-серая глина

юрского возраста имеет лучшее качество и пластичность, чем коричневая глина четвертичного возраста. После формования изделий проводится сушка глины при комнатной температуре.



Рисунок 4. Заготовки глины различных цветов, подготовленные автором: тёмно-серая, светло-серая, коричневая, желтая



Рисунок 5. Декоративно-художественные изделия во время просушки, выполненные автором: грибы, листья

Формованные и просушенные изделия отправляются на высокотемпературную обработку в эклектическую печь – спекание [5]. Глина состоит из множества минералов, которые не имеют фиксированной точки плавления, но постепенно размягчаются в определенном температурном диапазоне. Когда глина в процессе нагрева и обжига, достигает определенной температуры (800 ~ 900 °C), глинистое низко-эвтектическое вещество начинает расплавляться, появляется жидкая фаза, объём которой постепенно увеличивается и благодаря действию поверхностного натяжения она заполняет пространство между твердыми частицами. В результате неоплавленные частицы ещё больше сближаются, вызывая уменьшение объема, что приводит к снижение пористости и увеличению плотности. При температуре 1100 °C образцы исследуемой глины полностью затвердевают, а цвета заметно меняются, что придаёт практичность и декоративность изделиям (рисунок 6).



Рисунок 6. Декоративные изделия из глины Домодедовского карьера после отжига «Осенний листопад»

Выводы

Благодаря поведённым опытам получены стабильные, прочные экспериментальные изделия, показывающие, что Домодедовский карьер помимо известняка и доломита, имеет множество высококачественных минеральных ресурсов, которые могут применяться в промышленности и искусстве. Надеюсь, что дальнейшее изучение методов художественной обработки глины и опыт выдающихся ремесленников позволит придать большое значение запасам глин Московской области и в будущем появятся богатые коллекции художественных работ.

Благодарности

Выражаю благодарности заведующему кафедрой Минералогии, геммологии и петрографии МГРИ Петроченкову Д.А. за организацию поездки на Домодедовский карьер и мастеру мастерской «Роспись керамики и фарфора» Академии акварели и изящных искусств Сергея Андрияки Червяковой В.Н. за создание условий для изучения технологических свойств глины.

Библиография

1. Карпунин А.М., Мамонов С.В., Мироненко О.А., Соколов А.Р. Геологические памятники природы России. Санкт-Петербург, 1998. – 166с.
2. Толкачева А.С. Общие вопросы технологии тонкой керамики: учебое пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 184 с.
3. Интернет-платформа для обмена документами и книгами [Электронный ресурс] URL: https://wenku.baidu.com/4aee5786350cba
4. Интернет-платформа для обмена документами и книгами [Электронный ресурс] URL: https://wenku.baidu.com/65d7ea2f757f5acfa1c7aa00b52acfc
5. Интернет-портал новостей [Электронный ресурс] URL: https://baijiahao.baidu.com/s?id=1777811115041314703

Подсекция 2.4. Общая, региональная геология и палеонтология

Рутил – как источник информации об источниках сноса терригенного материала

Верета З.А.* (МГРИ, zlatik.ver623@gmail.com),
Ерофеева К.Г. (МГРИ, ИГЕМ РАН, erofeevakg@mgri.ru),
Окина О.И. (ГИН РАН, okina@bk.ru)

Аннотация

В докладе будут представлены первые результаты по микроэлементному составу детритового рутила из песчаников кебектинской серии Угуйского грабена (Чаро-Олекминская гранит-зеленокаменная область, Алданский щит, Сибирский кратон). На основании анализа составов рутила установлено, что его источниками были породы основного (метабазиты) и кислого (метапелиты и гранитоиды) составов, метаморфизованных в условиях от зеленосланцевой до амфиболитовой фации. Кристаллизация рутила происходила при температуре около 650 °C.

Ключевые слова

Рутил, детритовые минералы, питающая провинция

Теория

Полиморфные модификации TiO_2 включают анатаз, брукит и рутил. Анатаз и брукит стабильны при низких температурах и давлениях, в то время как рутил более устойчив при средних и высоких (до 30 кбар и 900 °C). Кристаллическая структура рутила образована лентами TiO_6 – октаэдров, вытянутыми вдоль четверной оси. Кристаллы призматические, столбчатые до игольчатых. Грани призмы покрыты вертикальной штриховкой. Цвет кристаллов обычно темно-желтый, бурый, красный или черный. Черта желтая, светло-бурая, блеск алмазный до металловидного. Спайность совершенная, излом неровный раковистый. Относительная твердость 6 – 6.5, удельный вес 4.2-4.3 г/см^3.

Рутил встречается во многих типах горных пород, включая магматические, метаморфические и осадочные. Он также является характерным минералом для гидротермальных и магматических месторождений, включая месторождения золота (например, Sciuba, Beaudoin, 2021). Количество микропримесных элементов в рутиле (Al, Cr, Mn, Zn, Fe, Mo, W, Sn, Sb, HFSE (Zr, Hf, Nb, Ta), Th, U) зависит от условий его кристаллизации (температуры, давления, фугитивности кислорода), состава расплава или вмещающей породы, а также состава флюида (например, Meinhold, 2010). В зависимости от параметров кристаллизации расплава, в кристаллическую решетку рутила может входить Zr. Это наблюдение позволило разработать геотермометры, основанные на концентрациях Zr в рутиле (например, Watson et al., 2006).

Ввиду высокой плотности и экзогенной устойчивости, рутил, совместно с другими минералами тяжелой фракции (например, циркон, гранат, шпинель и др.), хорошо сохраняется при формировании осадочных обломочных пород вплоть до образования собственных россыпных месторождений (например, Туганское, Георгиевское, Тарское, Ордынское и др.). Поэтому изучение геохимических особенностей минералов тяжелой фракции обломочных пород является дополнительным источником информации о составе питающей провинции, что дает возможность проводить палеогеографическии реконструкции.

Объектом исследования являлись песчаники кебектинской серии, отобранные из коренного обнажения в южной части Угуйского грабена (Чаро-Олекминская гранит-зеленокаменная область, Алданский щит, Сибирский кратон). На основании полученных

геохронологических данных, эти отложения коррелируют с терригенными породами кеменской серии Кодаро-Удоканского прогиба (Ковач и др., 2023).

Песчаники имеют красновато-бурый цвет, хорошо сортированы, местами наблюдается тонкая горизонтальная и линзовидно-полосчатая текстура, обусловленная чередованием разнозернистых прослоев. Песчаники содержат слабо окатанные обломки гранитоидов, микропегматитов и гранулированного кварца размером до 5 мм и сложены кварцем с разной степенью окатанности (30–60 об.%), угловатыми зернами полевых шпатов (до 60 об.%), мелкими чешуйками мусковита и гидрослюдистыми минералами (до 15 об.%). Акцессорные минералы представлены цирконом, гранатом, турмалином, апатитом, монацитом, рутилом, ильменитом, гематитом, магнетитом и титаномагнетитом (Ковач и др., 2023). В пределах Угуйского грабена песчаники однородны по составу и отвечают аркозам и лититам, а степень их метаморфического преобразования не превышает нижних ступеней зеленосланцевой фации (Ковач и др., 2023).

В предыдущей работе (Ковач и др., 2023) было проведено изучение детритового циркона из красноцветных песчаников кебектинской серии, которое показало, что накопление пород происходило не ранее 2.01 млрд лет и не позднее 1.87 млрд лет. Источниками сноса являлись проксимальные архейские (2.92–2.52 млрд лет) магматические и метаморфические комплексы Чаро-Олекминской гранит-зеленокаменной области, а также зоны ее сочленения с Западно-Алданским террейном, и неустановленные палеопротерозойские (~2.01 млрд лет) комплексы.

Песчаники дробились до крупности менее 2 см. Выделение монофракции рутила проводилось по стандартной методике с использованием методов плотностной и магнитной сепарации в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва. Зерна рутила размером от 100 до 300 микрон были вмонтированы в эпоксидную шашку, изучены на оптическом микроскопе. Поверхность зерен была изучена с использованием сканирующего электронного микроскопа в центре коллективного пользования Института физики земли РАН, г. Москва. Содержание микроэлементов в наиболее однородных зернах рутила определялось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с лазерным испарением пробы (LA-ICP-MS) в Геологическом институте РАН, г. Москва.

Рутил из песчаников кебектинской серии представлен короткопризматическими зернами темно-коричневого цвета. Ребра и вершины зерен сглажены, поверхность неровная, ямчатая. На изображениях, полученных в режиме обратно-отраженных электронов, 40% зерен рутила однородны (Рисунок 1а), в 60% зерен отмечается присутствие включений. Большинство включений представлено силикатными фазами (одной или несколькими) размером до 40 мкм (Рисунок 1б), некоторые зерна формируют поликристаллические агрегаты, состоящие из рутила, силикатной фазы (предположительно, хлорита), иногда мелких округлых зерен ильменита (Рисунок 1в). Подобные поликристаллические агрегаты описаны при распаде ильменита на проградной стадии метаморфизма метаосадочных пород (Luvizotto et al., 2009), происходящей по следующей упрощенной реакции:

Ильменит + Силикаты + H_2O → Рутил + Хлорит.

Реже в рутиле наблюдаются тонкие игольчатые включения (ламели) рудной фазы (предположительно, ильменит) (Рисунок 1г). Такие структуры описаны для рутила, имеющего мантийное происхождение (Smythe et al., 2008).

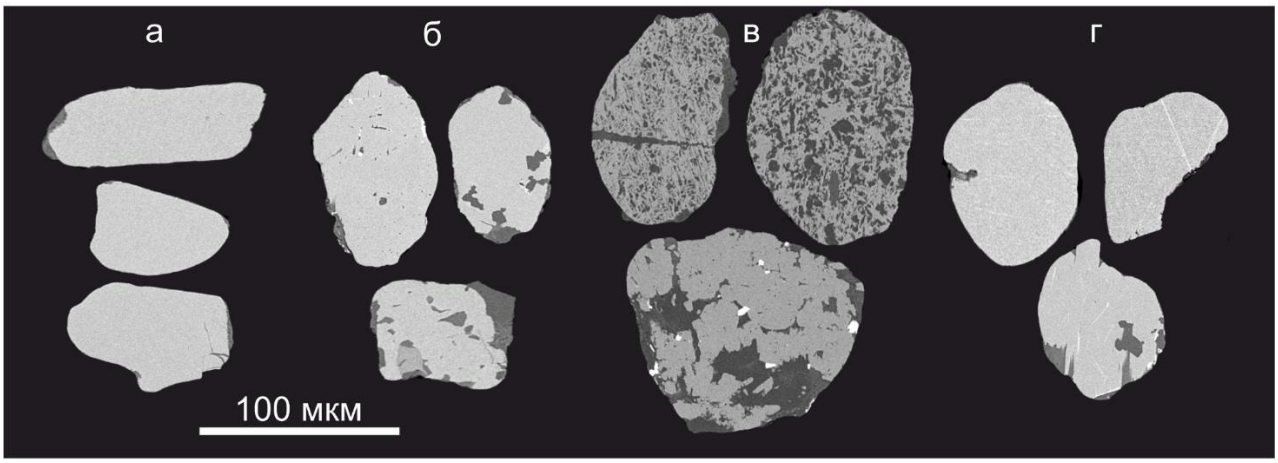


Рисунок 1. Изображения зерен рутила в обратно-отраженных электронах: а – однородные зерна; б – зерна с полифазными включениями силикатных минералов (темно-серые); в – агрегаты рутила и силикатной фазы (хлорита?); г – рутил с тонкими ламелями (игольчатыми включениями) ильменита (тонкие светлые линии)

Отношение Cr/Nb в зернах варьирует от 0.001 до 7.4, что указывает на их источники метабазитового (Cr/Nb > 1) и метапелитового (Cr/Nb < 1) составов. В рутилах из метабазитов отмечается повышенное содержание Cr и Mo и пониженное – Nb при сопоставимых содержаниях V, Mn, Cu, Zn, W и других измеренных элементов с таковыми в рутилах из метапелитов и кислых пород. Для большинства зерен характерны повышенные содержания V (до 4000 г/т) и W (до 5500 г/т).

Температура кристаллизации рутила из метабазитового источника, рассчитанная на основании содержания Zr (Watson et al., 2006) варьирует от 530 ± 20 °C до 710 ± 20 °C (Рисунок 2). Температура кристаллизации рутила из метапелитов и кислых пород варьирует от 475 ± 20 °C до 714 ± 20 °C (Рисунок 2). Исходя из полученных расчетов, можно выделить два основных температурных максимума: в области около 700 °C и 650 °C, характерных для рутилов из двух выделенных групп.

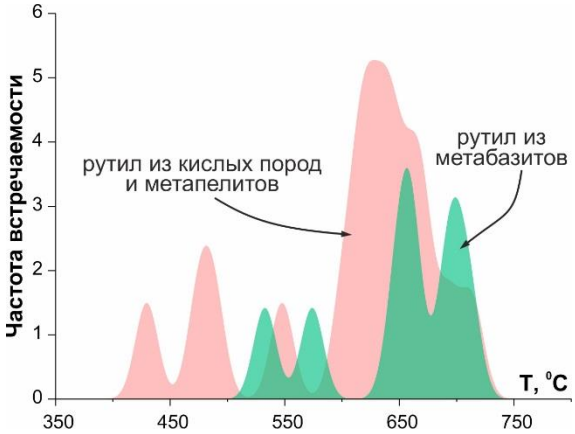


Рисунок 2. Кривые распределения относительной вероятности температур кристаллизации изученных зерен детритового рутила из песчаников кебектинской серии. Температура рассчитана по (Watson et al., 2006)

Учитывая полученный широкий диапазон рассчитанных температур, а также широкие вариации элементного состава изученного рутила, можно предполагать его поступление из

нескольких источников метабазитового, метапелитового и кислого составов. Отношения Sn/Ba, Zr/Ta и Zr/Sc указывают на то, что кристаллизация преобладающей части зерен рутила должна была происходить в условиях нижней и средней ступеней амфиболитовой фации метаморфизма, что подтверждается расчетами температуры их кристаллизации. Меньшая часть зерен по составу отвечает рутилам, кристаллизующимся в более низкотемпературных условиях зеленосланцевой фации, либо при гидротермальных процессах.

Выводы

Полученные данные по составам рутила из аркозовых песчаников кебектинской серии расширяют представления о составе их питающей провинции. В соответствии с ними, источники сноса имели как метапелитовый, так и метабазитовый состав и были метаморфизованы в условиях от зеленосланцевой до амфиболитовой фации. Такими источниками могли выступать зеленокаменные пояса, расположенные в обрамлении Угуйского грабена. Исходя из повышенных содержаний рудных компонентов (W, V) в изученных рутилах, можно предполагать присутствие перспективных площадей для выявления орогенных месторождений (Scott et al., 2011).

Благодарности (на ваше усмотрение)

Авторы выражают благодарность чл. корр. РАН, д.г.-м.н. Самсонову Александру Владимировичу (ИГЕМ РАН) за предоставленные образцы для исследования; д.г.-м.н. Веселовскому Роману Витальевичу и Чистяковой Альвине Владимировне за возможность проведения исследований на сканирующем электронном микроскопе.

Библиография

1. Ковач В.П., Самсонов А.В., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Адамская Е.В., Бортников В.В., Степанова А.В., Ерофеева К.Г., Плоткина Ю.В., Федосеенко А.М., Сковитина Т.М. Аркозовые песчаники кебектинской серии Угуйского грабена (Алданский щит): возраст, источники и обстановки накопления // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 1. С. 12–20.
2. Luvizotto G.L., Zack T., Triebold S., von Eynatten H. Rutile occurrence and trace element behavior in medium-grade metasedimentary rocks: example from the Erzgebirge, Germany // Mineral. Petrol. 2009. V. 97. P. 233–249.
3. Meinhold G. Rutile and its applications in earth sciences // Earth Sci. Rev. 2010. V. 102. P. 1–28.
4. Sciuba M., Beaudoin G. Texture and trace element composition of rutile in orogenic gold deposits// Economic Geol. 2021. 4857.
5. Scott K.M., Radford N.W., Hough R.M., Reddy S.M. Rutile compositions in the Kalgoorlie goldfields and their implications for exploration // Australian J. Earth Sci. 2011. V. 58. P. 803–812.
6. Smythe D.J., Schulze D.J., Brenan J.M. Rutile as a kimberlite indicator mineral: minor and trace element geochemistry. 9th International Kimberlite Conference, Extended Abstract. 2008. No. 9IKC-A-00193.
7. Watson E.B., Wark D.A., Thomas J.B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // Contrib. Mineral. Petrol. 2006. V. 151. P. 413–433.
8. Zack T., von Eynatten H., Kronz A. Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies // Sedimentary Geology. 2024. V. 171. P. 37–58.

Изучение атмосферных предвестников землетрясений Камчатки

Графеев О.Е.* (Национальный исследовательский Томский государственный университет, ografeev@yandex.ru)

Аннотация

Автором рассматривается возможность использования линейных облачных аномалий в качестве предвестников землетрясений на Камчатке на основе собранной статистики за 2010 – 2018 гг. Результаты исследования указывают на ограниченную информативность данного явления как предвестника, однако позволяют использовать его в качестве дополнительного индикатора опасности в сочетании с другими атмосферными явлениями. Также автором сформулирована гипотеза о природе линейных облачных аномалий для данного региона.

Ключевые слова

Землетрясения, прогноз землетрясений, предвестники землетрясений, линейные облачные аномалии

Источники финансирования

Отсутствует.

Теория

На сегодняшний день не существует надежной методики или набора методик, которые позволяли бы давать прогноз землетрясений в любых регионах с высокой точностью и без пропуска событий. Автором проводится поиск набора предвестников, которые отвечали бы следующим условиям:

1. Глобальный характер, т.е. возможность использования некоторой комбинации предвестников и некоторой комбинации методик их анализа для прогнозирования землетрясений в любом регионе Земли;
2. Наличие достаточно большого объема накопленных данных о наблюдении рассматриваемых предвестников, который позволил бы выявить закономерности их проявления;
3. Возможность систематического мониторинга рассматриваемых предвестников с целью своевременного формирования прогноза.

С учетом данных условий автором были выбраны для изучения атмосферные предвестники, поскольку:

1. В различных базах данных, в том числе общедоступных, накоплен значительный объем разнородных данных о состоянии атмосферы с привязкой к месту и времени;
2. Атмосферные явления относительно легко подлежат мониторингу средствами ДЗЗ и аэромониторинга.

На данном этапе в качестве области исследования автором была выбрана территория полуострова Камчатка. Использовались данные о землетрясениях и о содержании озона в атмосфере за период 2010 – 2018 гг., опубликованные на веб-ресурсах Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра (Euro-Mediterranean Seismological Centre) и Департамента окружающей среды и климата Правительства Канады (Environment and Climate Change Canada) соответственно, а также материалы спутниковой съемки в видимом диапазоне, опубликованные на веб-ресурсе NASA EarthData.

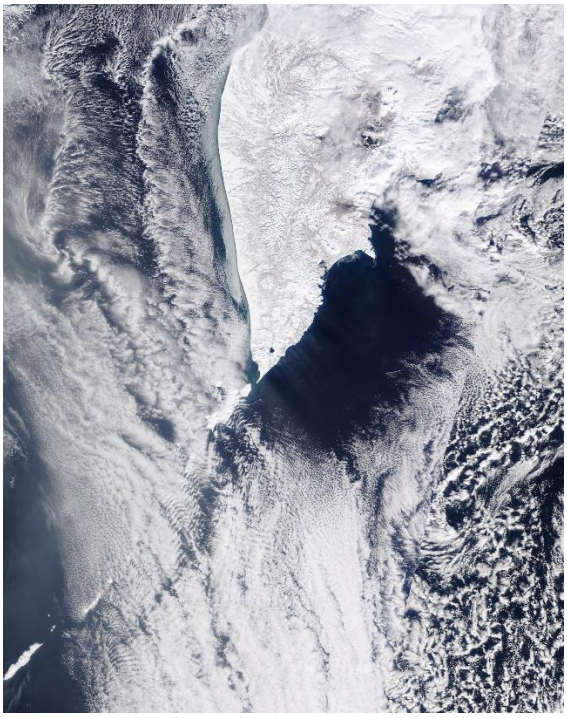
При поиске предвестников автором была использована гипотеза об изначально гидридном составе ядра Земли (Ларин, 1991). Из данной гипотезы следует, что образующийся в процессе разложения гидридов водород должен поступать в атмосферу, и скорость этого

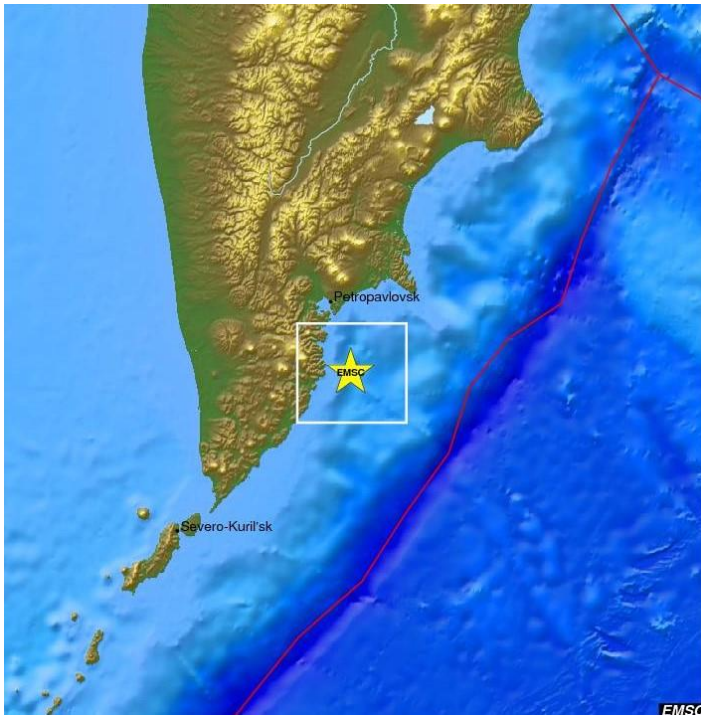
процесса будет зависеть от трещиноватости пород. Поступая в атмосферу, водород должен вступать в реакции с озоном, которые приводят к разложению озона и образованию кислорода и воды (Сывороткин, 2013). Следовательно, снижение содержания озона в атмосфере – отрицательная аномалия озона – будет являться предвестником землетрясения.

Также автором анализировался феномен линейных облачных аномалий (ЛОА) как вероятного предвестника землетрясений (Морозова и др., 2020).

Результаты изучения отрицательных аномалий озона ранее публиковались автором (Графеев, 2024), они позволяют выделить в качестве предвестников аномалии непосредственно над территорией полуострова, а также к востоку от него. Несмотря на установленную статистическую взаимосвязь и имеющееся объяснение физической природы предвестника, такой тип предвестников имеет относительно низкую достоверность (не более 43% в зависимости от конкретных условий) и пространственную точность (определяя местоположение эпицентра с погрешностью в несколько сотен километров). Поэтому изучение атмосферных предвестников было продолжено для повышения достоверности и точности прогноза.

Автором были изучены материалы спутниковой съемки в видимом диапазоне с целью выделения ЛОА по признакам, описанным в работах (Морозова и др., 2020). Рассматривались даты накануне землетрясений магнитудой 5 и более. Пример выявленной ЛОА приведен на рисунках 1 – 2.





Рисунки 1, 2. ЛОА, наблюдавшаяся 27.02.2014, и эпицентр землетрясения 28.02.2014 (M=5)

По результатам была сформирована геоинформационная база данных, размещенная в открытом доступе на веб-ресурсе FlexGIS по ссылке https://gis.flexatel.xyz/viewer/751c6770-5b48-4336-b819-09886ab1aa7a. Статистическая информация по рассмотренным землетрясениям и их вероятным предвестникам опубликована по ссылке: https://disk.yandex.ru/i/c1F3CxjjzGe-LQ.

В таблице 1 приведена информация о выявленных ЛОА.

Таблица 1. Корреляция ЛОА с аномалиями озона и глубиной гипоцентра

	Наблюдаются признаки ЛОА	Признаки ЛОА отсутствуют
1. Для коровых землетрясений (глубина гипоцентра не более 30 км), в том числе:	7	10
– при отсутствии аномалии озона	0	3
– при отрицательной аномалии озона над регионом	5	3
– при отрицательной аномалии озона к юго-востоку	2	0
– при ином местоположении отрицательной аномалии озона	0	4
2. Для промежуточных и глубокофокусных землетрясений (глубина гипоцентра более 30 км), в том числе:	13	30
– при отсутствии аномалии озона	1	12
– при отрицательной аномалии озона над регионом	7	12
– при отрицательной аномалии озона к юго-востоку	4	1
– при ином местоположении отрицательной аномалии озона	1	5
3. Для всех типов землетрясений (т.е. при любой глубине гипоцентра), в том числе:	20	40
– при отсутствии аномалии озона	1	15
– при отрицательной аномалии озона над регионом	12	15
– при отрицательной аномалии озона к юго-востоку	6	1
– при ином местоположении отрицательной аномалии озона	1	9

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Встречаемость ЛОА для различных условий отличается, что позволяет говорить о наличии связи между процессами, приводящими к активизации истечения водорода, и образованием ЛОА.
2. В 6 из 20 случаев наблюдения ЛОА, ее локализация отличалась от локализации аномалии озона, хотя аномалия озона также наблюдалась. Это заставляет предположить опосредованную связь между предвестниками – к образованию ЛОА приводит не водород или не только водород, а некие иные процессы.
3. Преобладающая форма ЛОА для исследуемого региона – каньон (просвет) внутри облачного массива.
4. В отдельности ЛОА имеет низкую надежность как прогностический признак, однако может быть использована как дополнительный индикатор опасности при наличии отрицательной аномалии озона над регионом или к юго-востоку от него.
5. Достоверность ЛОА как прогностического признака требует дополнительного исследования для выявления ложных предвестников на исследуемом временном интервале.
6. Гипотеза о механизме образования ЛОА. Причиной формирования просвета внутри облачного массива может выступать локальное повышение температуры и снижение влажности, вызванное подъемом на высоту облачного слоя эндогенных газов.

Предполагаются следующие задачи дальнейшего исследования:

1. Оценка достоверности ЛОА как прогностического признака.
2. Проверка гипотезы о механизме образования ЛОА по данным о температуре, влажности, атмосферном давлении.

Благодарности (на ваше усмотрение)

Автор выражает благодарность своему научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору кафедры динамической геологии Томского государственного университета Парначеву Валерий Петровичу за предложенное направление научного поиска.

Библиография

1. Графеев О.Е. Аномалии озонового слоя как предвестник землетрясений на Камчатке // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы: Материалы V Всероссийской конференции с участием иностранных ученых, посвященной памяти академика Н.А. Логачева в связи с 95-летием со дня рождения, 2024. С. 33 – 34.
2. Ларин В.Н. Земля: состав, строение и развитие (альтернативная глобальная концепция): дисс. д. геол.-минерал. наук. Москва, 1991 г. 46 с.
3. Морозова Л.И., Николаев А.В., Пулинец С.А. Облачные аномалии и землетрясения // Геология и геофизика юга России, 2020. Т. 10. № 3. С. 57 – 78.
4. Сывороткин В.Л. Озонная методика изучения водородной дегазации Земли // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время, 2013. Т. 4. Вып. 1.
5. Environment and Climate Change Canada. URL: https://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/clf2/selectMap? (дата обращения: 15.01.2025).
6. Euro-Mediterranean Seismological Centre. URL: https://emsc-csem.org (дата обращения: 15.01.2025).
7. NASA EarthData. Worldview Snapshots. URL: https://wvs.earthdata.nasa.gov (дата обращения: 15.01.2025).

Особенности геологического строения Иорданской рифтовой долины

Дьяконов В.В. (МГРИ, mdf.rudn@mail.ru),*
Махмуд Х.А. (МГРИ, Hamza.elmansy@vk.com),
Погребс Н.А. (МГРИ, pogrebs@yndexl.ru)

Аннотация

В тезисах изложены основные геологические сведения, существующие на сегодняшний день о строении Иорданского рифта на территории Аравийского полуострова.

Содержатся исторические сведения из трудов Страбона. Представлена геологическая гипотеза гибели городов Садом и Гоморра.

Ключевые слова

Иорданский рифт, вулканы, асфальт, газ, землетрясения

Теория

Иорданская рифтовая долина (Гхор, Эль-Гор), прослеживается в субмеридиональном (ССВ) направлении от Красного моря по заливу Акаба, долине Вади-эль-Араба, Мертвому морю, долине р. Иордан, долине р. Эль-Литании и долине р. Эль-Аси (Оронт). Общая протяженность рифта составляет 1170 км., при ширине 15-30 км. Некоторые исследователи рассматривают его в качестве северного продолжения (фрагмента) Восточно-Африканского рифта (от озера Ньяса на юге, по долине реки Нил, до ее устья), смещенного по зоне Красноморского рифта, северо-западного направления.

На всем протяжении, Иорданская рифтовая долина, сопровождается, с запада и востока, параллельно ей вытянутыми не широкими (30-60 км.) и не высокими (не более 1500 м.) горными хребтами. Особый интерес вызывают восточные горные сооружения. В строении гор, в восточном борту рифта, принимают участие молодые (антропоген) эффузивные магматические породы, излияния лав могло происходить в историческое время.

На интервале Иорданского рифта от залива Акаба до устья реки Иордан на севере, выявлены несколько молодых вулканов, приуроченных к горам восточного борта. Это вулканы (скорее вулканические конусы): Эль - Атаита (1641 м) 30° 40' с. ш., 35° 39' в.д.**;** Наср-эд-Дейр (1356 м), 30° 48' с.ш., 35° 35' в.д.**;** Эд-Дабаб (1305 м) 31°02' с.ш., 35°38' в.д., Шихан (1065 м) 31°23' с.ш., 35°44' в.д. и др. Все они сложены щелочными базальтами. Их относительная, высота не превышает 80 — 130 м, а диаметр— 500 м. Возраст наиболее молодых лавовых потоков на некоторых вулканах не превышает *4 тыс. лет*.

Между Мертвым морем и Тивериадским озером, по восточному борту рифта долины р. Иордан, расположен Аджлуиский молодой свод, несущий лавовое плато с вулканами плейстоценового возраста. Наибольших размеров достигает вулкан Умм-эд-Дарадж (1247 м). 32° 19' с. ш., 35° 48' в.д, в 50 км. к северу от столицы Иордании города Амман.

К востоку молодой вулканизм не имеет тесной связи с рифтовой системой и распространен на больших территориях. Здесь выделяется район плата Эд-Друз. Плато сложено плиоценовыми базальтами мощностью 700 — 800 м, увенчано конусами из шлаковых лав, насаженных на разломы северо-западного направления. Наиболее крупный вулкан здесь —Римах (1224 м), на южном краю Эд-Друз. 32° 18' с.ш., 36°53' в.д. [1]. Согласно «Библейской энциклопедии Брокгауза», в этой местности когда-то действовал вулкан. В древнеримскую эпоху она называлась Авранитидой и включала в себя чрезвычайно плодородную равнину, лежащую западнее и северо-западнее массива Эд-Друз (Рис. 1)

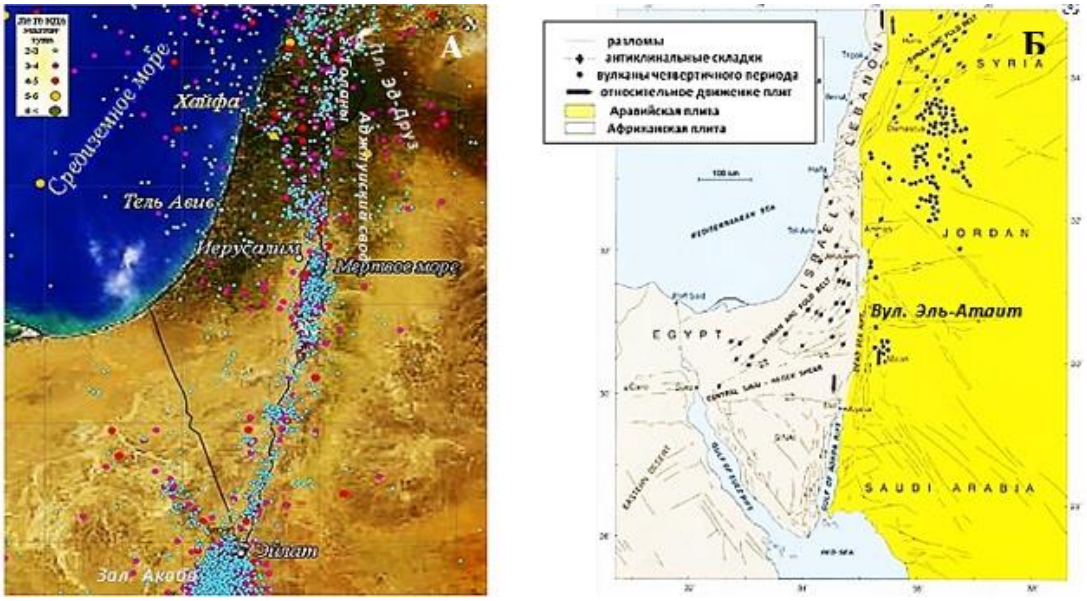


Рисунок 1. А – карта эпицентров землетрясений в пределах Иорданского рифта (arktal.livejournal.com›50541.htm); Б – карта тектонических элементов в пределах Иорданского рифта(https://vk.com/photo-97386292_457244352)

Еще севернее, на Голанских высотах откартировано 11 вулканических куполов [3]. Магматические породы - базальтового состава. Для туристов самым удивительным на Голанах являются знаменитые базальтовые столбы, из которых природа построила стены всех каньонов на Голанах. Столбы очень геометричны - они четырех-пяти и шестигранные. В некоторых местах точность геометрии поражает. Так, например, на речке Эль – Ярмук (Шестиугольников) они шестигранные, а на ручье Аит они преимущественно пятигранные и ветвистые (Рис. 2).



Рисунок 2. Потоки лав базальтов со столбчатой отдельностью на Голанских высотах

Это происшествие не нашло своего отражения в каталоге «извержений вулканов мира», но занимает видное место в Библии – это гибель городов Садом и Гоморра [2]. На изложении библейского сюжета мы останавливаться не будем, а приведем краткое географо-геологическое описание и некоторые исторические сведения об этом участке Иорданского рифта.

Этимология названий городов, приводимая в Википедии: «Содо́м (ивр. סְדוֹם, Sədom — букв. «горящий»; греч. Σόδομα) и Гомо́рра (ивр. עֲמוֹרָה, ʿAmora — букв. «погружение, потопление»; греч. Γόμορρα) — два известных библейских города.

Города входили в Содомское пятиградие (*Содом*, *Гоморра*, *Адма*, *Севоим* и *Сигор*) и находились, согласно Ветхому Завету, в районе Мёртвого моря, однако точное место было неизвестно.

Упоминание о Содоме встречается в сочинениях Страбона «География» [5], у Иосифа Флавия в «Иудейских древностях», в сочинениях Корнелия Тацита и др. Ниже приведем цитату из сочинения Страбона «География»: «Озеро Сирбонида велико. Вода его настолько тяжела, что здесь не нужно умения плавать: человек, погрузившийся в озеро до пупа, немедленно поднимается.

Озеро полно асфальта. От времени до времени асфальт извергается на поверхность из самой глубины с пузырьками, как будто происходит кипение воды. Поверхность воды, вздуваясь, получает вид холма. Вместе с асфальтом поднимается на поверхность большое количество похожей на дым копоти, но незаметной для глаза. От этой копоти ржавеет медь, серебро, все блестящие предметы и даже золото. Окрестные жители, как только их сосуды покрываются ржавчиной, знают, что начинается извержение асфальта; затем они приготовляются к добыванию его с помощью плотов, сооружаемых из камыша. Асфальт представляет собой глыбу земли, которая сначала под влиянием тепла становится жидкой, а затем извергается наружу, разливаясь по поверхности. Потом от действия холодной воды (ибо такова и есть вода в озере) земля эта снова переходит в твердое состояние, так что ее нужно резать и рубить. Асфальт плавает на поверхности благодаря тому естественному свойству воды, в силу которого, как я уже сказал, здесь не нужно умения плавать. Жители подплывают на плотах, вырубают асфальт и увозят такое количество, сколько каждый может взять.

Таково свойство этого явления. …… То, что это явление происходит в середине озера, понятно, потому что и источник огня и асфальта находится посередине. Однако извержение происходит нерегулярно, потому что движение огня, как и многих других токов воздуха, не подчиняется известному нам порядку. Подобные же явления можно наблюдать у Аполлонии в Эпиротиде.

В пользу того, что эта земля насыщена огнем, приводят много других доказательств. Так, около Моасад показывают обрывистые обожженные скалы и во многих местах расселины и подобную пеплу почву: из гладких скал каплями струится смола, и кипящие потоки издали распространяют зловоние; часто попадаются разрушенные жилища. Поэтому приходится верить весьма распространенным среди местных жителей преданиям о том, что некогда здесь было 13 городов, из которых главный город — Содомы — имел около 60 стадий в окружности. От землетрясений, извержений огня и горячих асфальтовых и сернистых вод озеро внезапно вышло из берегов, и огонь охватил скалы; что же касается городов, то одни были поглощены землей, а другие покинули жители, еще имевшие возможность бежать». (Рис. 3).

Добыча битума составляла важную статью дохода жителей этого региона. Начало использование битума в строительстве относится к глубокой древности. Он стал очень популярным стройматериалом уже за несколько тысяч лет до нашей эры. Жители Вавилона и Ассирии использовали это сырье в качестве цементирующего материала и как гидроизолятор. Мертвое море обеспечивало египтян битумом, используемым в качестве бальзамирующего вещества трупов умерших. До конца XIX века море называлось Асфальтовым. Любопытно, что в современных туристических буклетах этот природный феномен не упоминается.



Рисунок 3. Глыбы битума в Мертвом море и битумные ямы на берегу.
LARGE BITUMEN MASS FLOATING ON THE DEAD SEA IN 1969 (GIDEON HADAS)

В 1924 году археологами Уильямом Олбрайтом и Майклом Кейли были произведены раскопки в предполагаемом местонахождении библейских городов, на юго-востоке Мертвого моря. Раскопки показали, что вскрытые развалины поселений были разрушены в результате природной катастрофы, вероятнее всего землетрясения, вызвавшим пожар около 2000 года до н.э. Наиболее вероятными продуктами возгорания являлись битум, нефть и газ [4].

В геологической истории развития Иорданского рифта землетрясений было много, целый ряд из них – катастрофические, приводившие к крупным разрушениям и гибели десятков тысяч человек. Землетрясения продолжаются и сегодня. На рис 1 А приводится карта фокальных точек землетрясений за последние сто лет (Рис. 1 - А). Хотелось бы обратить внимание читателей на один поразительный факт – с 2000 года до н.э., гибели городов Содома и Гоморры и др., в истории региона не было зафиксировано ни одного *природного* пожара, возникшего в результате многочисленных землетрясений.

Приведенный выше материал, позволяет высказать предположение, что трагедия библейских городов Содома, Гоморра и трех других, могла произойти в результате стечения целого ряда природных явлений, сильного землетрясения, вызвавшего подъем большого количества битума с попутным газом и извержение вулкана. Если окажется, что на месте катастрофы, «подобную пеплу почву» диагностируют как вулканический продукт, то эта катастрофа, связанная с вулканами будет первой в нашей истории.

Библиография

1. Апродов В.А. Вулканы. М., «Мысль»,1982 г.
2. Библейская Энциклопедия Брокгауза. Г.майер, Ф. Ринекер. Из-во Костюков, 2017г., 1088 с.
3. Карта тектонических элементов Иорданского рифта - https://vk.com/photo-97386292_457244352
4. Опарин А.А. Садом и Гоморра: археология, история, геология. Журнал «Обзор мировых вопросов», №4, 2011, стр. 9-19. Эл. версия: www.obzormv.org).
5. Страбон. География (в 17 книгах). Из-во «Наука», Ленинград, 1964 г.

Палеовулканическая реконструкция Африкано-Сицилийского «порога»

Дьяконов В.В.* (МГРИ, mdf.rudn@mail.ru),
Май Варди (МГРИ, maouwarda1993@gmail.com),
Наравас А.К. (МГРИ, anaravas@mail.ru)

Аннотация

Выполненное нами дешифрирование космических снимков, анализ геологического строения рассматриваемой территории и различных геофизических явлений, проявленных на данной территории (эпицентров землетрясений, карты гравитационных и магнитных аномалий, топографических карт, карты тепловых потоков), а также вопросы геологического строения островов в акватории Средиземного моря между островом Сицилия и побережьем Туниса, позволяют предположить присутствие крупного магматического сооружения центрального типа.

Ключевые слова

Средиземное море, Алжир, Тунис, о. Пантеллерия, о. Линоза, палеовулканическое сооружение

Теория

Северо-восточная часть Алжира (к востоку от долготы 7040//, г. Аннаба) и вся территория Туниса представляют собой Западный фрагмент (Рис.1) крупного палеовулканического сооружения, с диаметром основания 700 км, мезо-кайнозойского

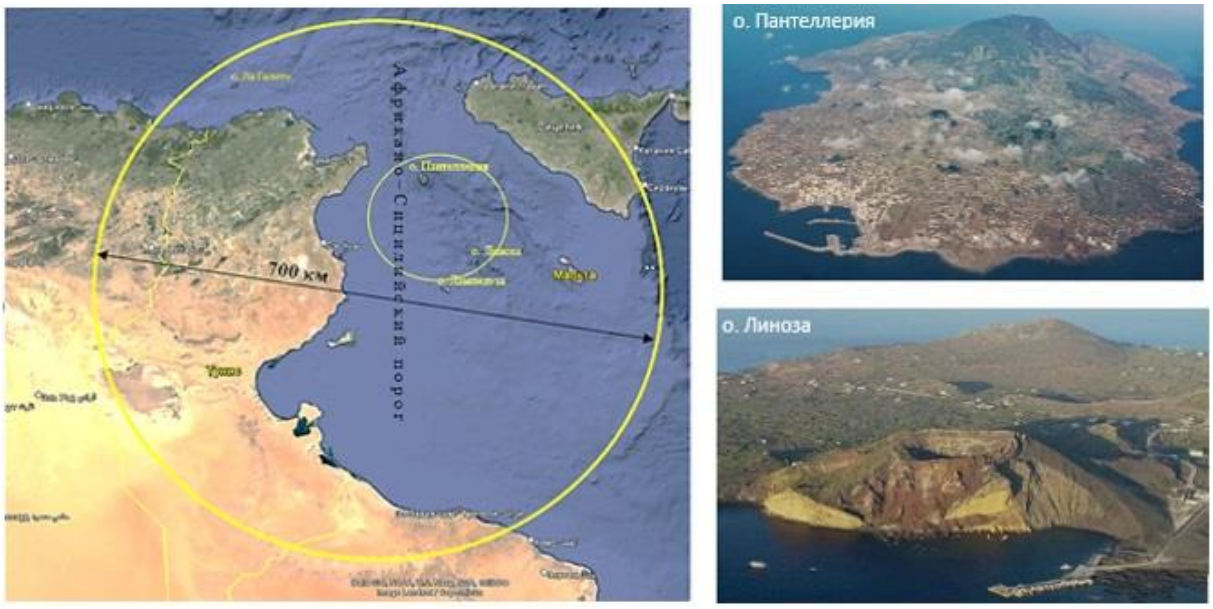


Рисунок 1. Вешняя граница Пантеллерийского палеовулканического сооружения и центральная область развития жерловых фаций. (https://bangkokbook.ru), (Wikipedia)

возраста, включающего в себя Африкано-Сицилийский «порог» глубиной Средиземного моря 300-500 метров, окруженного глубоководными впадинами Тирренского и Ионического морей (с глубиной свыше 3 км.). Жерловая структурно-формационная зона располагается в центральной части Африкано-Сицилийского «порога». Над уровнем моря возвышаются

вулканические острова – Пантеллерия и Линоза, и зафиксированы многочисленные подводные вулканические конусы.

Африкано-Сицилийский порог на продолжении долгого времени подвергался геоморфологическим и геологическим исследованиям. Основные геоморфологические результаты исследований позволили выделить шельф и погруженный шельф, а внутри их отчетливо фиксируются горсты, грабены, вулканические пики и резкие уступы (Рис. 2) [3].

В пределах центральной части «порога» располагаются, помимо вулканических островов, и подводные вулканические конусы. Так в пределах банки Адвентура выявлены

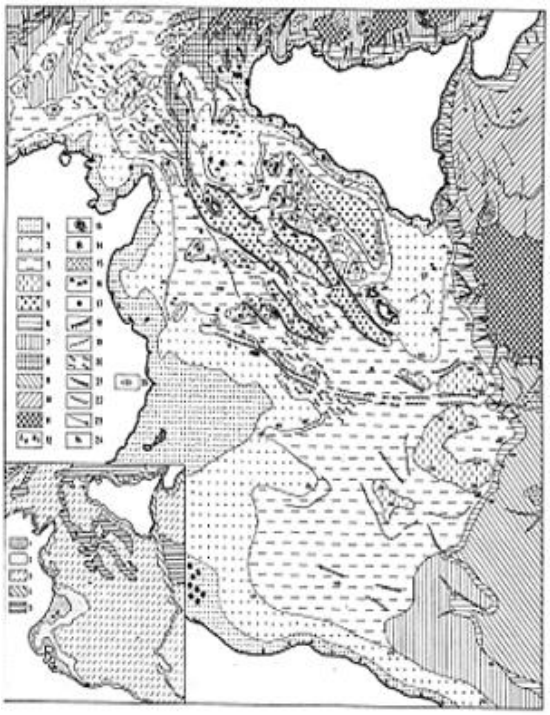


Рис. 2. Геоморфологическая карта Африкано – Сицилийского порога (по материалам Ю.Д. Евсюкова).
Шельф: I -прибрежная отмель, 2-равнины шельфа, 3 _ погруженный шельф, 4_поднятия погруженного шельфа, 5_ впадины шельфа. Материковый склон: 6-уступы материкового склона, 7 __ наклонные равнины материкового склона, 8-мелкогорно ложбинный рельеф материкового склона. Материковое подножие: 9_структурные наклонные равнины материкового подножия, 10 - конусы выноса дутьевых потоков. Котловины геосинклинального моря: 11_плоские абиссальные и су абиссальные равнины. Отдельные формы и комплексы форм: 12_абразионные османцы: а) надводные, б) подводные, 13 - надводные вулканы, 14-подводные вулканы, 15 _- подводные горы различного происхождения, 16 - холмы и группы холмов различного происхождения, I7_ холмы, обусловленные соляной тектоникой, I8_ подводные уступы преимущественно тектонического происхождения, I9_ уступы различного происхождения, 20 _- мелкорасчлененный рельеф зон интенсивного тектонического дробления, 21_подводные каньоны, 22_ су абиссальные подводные 23 - эрозионные ложбины, выработанные Врезка-типы денудации и аккумуляции: воздействия, 2- т о же в 4- аккумулятивно-эрозионный, гравитационный, 5 субабиссальныи и

четыре вулканических конуса, а в пределах банки Террибле – три. Некоторые из ни х активны в настоящее время. Поднятые на поверхность образцы были датированы. Так на бровках конусов обнажаются породы средне-миоценового, эоценового, олигоцен-миоценового и триасового возраста. В целом Центральная область характеризуется наиболее сложным рельефом дна, который представлен системой впадин (грабенов) и поднятий (горстов) погруженного шельфа. Область включает все крупные депрессии Африкано-Сицилийского порога: Мальтийскую, Пантеллерийскую, Линосскую впадины, Лампедузский грабен, а также несколько небольших отрицательных форм рельефа. Эти морфоструктуры определяют облик порога и, судя по их морфологии, созданы в своей основе накоплением магматических пород, дизъюнктивными тектоническими дислокациями.

Весь описываемый регион, как отмечалось выше, с востока ограничен Мальтийским эскарпом. Это крупнейший уступ в пределах всего Средиземного моря. Отчетливо выраженный, он начинается у Мессинского пролива и протягивается к югу почти на 500 км, отделяя Африкано-Сицилийский порог от впадин Ионического моря и Центрального бас- сена Средиземного моря. На севере, у восточного побережья Сицилии, бровка эскарпа постепенно погружается от 140-150 до 200 м, в средней части она достигает глубин 645 м, в районе долины Герона и восточнее банки Медина глубины бровки 400-590 м, затем -к югу они увеличиваются до 800 - 1000 м. На этих же отрезках эскарпа его подножие находится на глубине от 800-900 до 3600 м. Севернее долины Герона эскарп разветвляется: нижняя ветвь (Мединский эскарп)

резко поворачивает на восток, верхняя продолжается к югу вплоть до юго-восточного Тунисско - Ливийского шельфа. Ширина Мальтийского эскарпа колеблется от 5 - 8 до 15-20 км, а местами доходит до 30 км. Его крутизна изменяется от 300 (отдельные участии уступов близки к вертикальным) до 6 -10о.

В Мальтийский эскарп врезана крупная подводная долина Герона - продолжение Лампедузского грабена. Южная оконечность эскарпа ограничена долиной Мелита. Эскарп осложнен многочисленными каньонами, врезанными в его верхнюю часть на глубину от 150-300 до 1000 м и более. Наиболее крупные подводные каньоны находятся к юго-востоку от Сицилии и к востоку от Мальты и названы соответственно Кассибиле (по названию реки в юго-восточной части Сицилии, долина которой является наземным продолжением этого каньона) и Мальтийским.

Отмеченные выше геоморфологические особенности Африкано-Сицилийского порога позволяют прийти к выводу, что в формировании современного рельефа рассмотренной части Средиземного моря главную роль играли процессы магматической деятельности и наложение дизъюнктивной тектоники.

Для острова Пантеллерия характерно наличие бимодальной ассоциации базальтового и трахит-риолитового вулканизма, причем первый в значительной степени подчинен. Что однозначно показывает, что вулканическое сооружение находится на заключительном этапе эффузивного развития – формировании кислого стратовулканического сооружения. (Рис. 1)

Не оставляет сомнений и вулканическое происхождение острова Линоза (Рис. 1). В его строении преобладают вулканические породы кислого состава, аналогичные породам острова Пантеллерия [4].

На территории восточного Алжира и Туниса развиты продукты Альпийской складчатости включая Восточную часть Тель – Атласских гор, складчато-глыбовую синклиналь Телль-Атлас, Тунисским и Сахарским Атласами (хребты Тебесса и Туниси), между которыми располагаются плата Северный и Высокий Тель. Представляют собой Западную склоновую часть палеовулканического сооружения Африкано - Сицилийского порога. В ее строении принимают участие отложения мезо-кайнозойского чехла, перекрывающие магматические породы от мела до современных [1, 2].

По внешнему контуру сооружения концентрируются зоны эпицентров землетрясений.

Библиография

1. Алиева М.М. Геология и нефтегазоносность Алжирских Атласов. Из-во «Недра»-Москва 1971, стр. 256.
2. Дьяконов В.В., В. Мау, Погребс Н.А. Геологические условия формирования свинцово-цинковых месторождений Алжирской Народной Демократической Республики. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2024; 66 (1):104-110.
3. Евсюков Ю.Д. «Основные черты геоморфологии Африкано-Сицилийского порога», Геоморфология, №4, 1979г.)
4. Махуд, Гейл А.; Хилдрет, Уэс (июнь 1986 г.). «Геология щелочного вулкана на Пантеллерия, Сицилийский пролив». Бюллетень вулканологии. 48 (2–3): 143–172.

Верхневендские отложения Московской синеклизы Восточно-Европейской платформы в скважине Солигаличская-1

Зенкаева А.В.* (ФГБУ «ВНИГНИ», a.zenkaeva@vnigni.ru),
Павлова Т.В. (ФГБУ «ВНИГНИ», pavlovatanya1998@yandex.ru),
Верчеба А.А. (МГРИ, aa_ver@mail.ru)

Аннотация

В работе рассматривается актуальность исследования вендского периода (650–541 млн лет назад) – ключевого этапа в истории Земли, ознаменованного появлением многоклеточных организмов и ранних животных, но характеризующегося неполнотой геологических и палеонтологических данных.

Существующие представления о вендском периоде, требующие пересмотра, подчеркивают необходимость современных исследований.

Признание стратотипическими разрезов Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ (Россия) (Международная стратиграфическая шкала, 1996 г.) обуславливает особую значимость этих регионов для глобальной корреляции и понимания ранней эволюции жизни.

Проблема заключается в необходимости актуализации палеонтологических данных, полученных для верхневендских отложений в конце XIX века, с применением современных методов микропалеонтологии и учетом новейших данных по палеоэкологии вендских организмов.

Ключевые слова

Палеонтология, Московская синеклиза, ВЕП, микрофоссилии

Теория

Московская синеклиза представляет собой крупную отрицательную тектоническую структуру докембрийского фундамента в пределах Восточно-Европейской платформы. Она расположена в центральной части Русской плиты и занимает площадь около 1 млн квадратных километров.

Синеклиза рассматривается как надрифтовый прогиб, который образовался в верхнем венде – палеозое, в период развития Восточно-Европейской платформы на плитном этапе.

Московская синеклиза простирается с запада на восток от Смоленска до Нижнего Новгорода и с севера на юг от Ярославля до Тулы, а также граничит на севере и северо-востоке (с Валдайской возвышенностью), на востоке и юго-востоке (с Приволжской возвышенностью), на юге и югозападе (с Центрально-Русской возвышенностью), на западе и северо-западе (с Балтийским щитом) (Рисунок 1). [3]

Отложения скважины Солигаличская-1 представлены тремя системами: девонская (средний отдел), вендская (верхний отдел) и рифейская.

Образования верхнего венда залегают трансгрессивно с глубоким размывом на отложениях рифея. Верхний отдел венда в скважине представлен двумя горизонтами: редкинским и котлинским.

В редкинском горизонте выделяется редкинская серия, которая впоследствии делится на две подсерии: нижнюю, включающую плетневскую свиту, и верхнюю – гаврилов-ямскую, непейцинскую и макарьевскую свиты.

В котлинском горизонте выделяется поваровская серия, которая залегает на редкинских отложениях со значительным размывом. В составе серии выделяется любимская свита. [2]

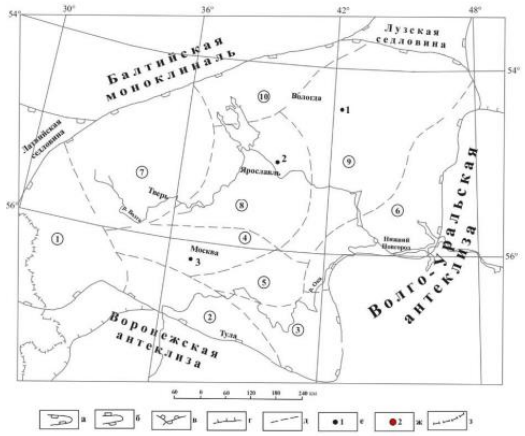


Рисунок 1. Условные обозначения: а - границы синеклиз, б - границы антеклиз и моноклиналей, в - границы седловин, г - границы современного распространения вендских отложений, д - границы структурно-фациальных районов, е - основные скважины и их номера, ж - скважины со стратотипическими разрезами, з - государственная граница Российской Федерации. Скважины: 1 - Солигаличская 1, 2 - Толбухинская 1, 3 - Апрелевская 1

Для изучения скважины было отобрано 30 литологических шлифов и 14 образцов керна в Апрелевском отделении ФГБУ «ВНИГНИ».

Петрографическое изучение шлифов проводилось на микроскопе Альтами 3.

Разрез скважины преимущественно представлен терригенными породами: алевролитами и песчаниками различной размерности и аргиллитами алевритовыми, а также пепловыми туфами и туффитами (Рисунок 2).

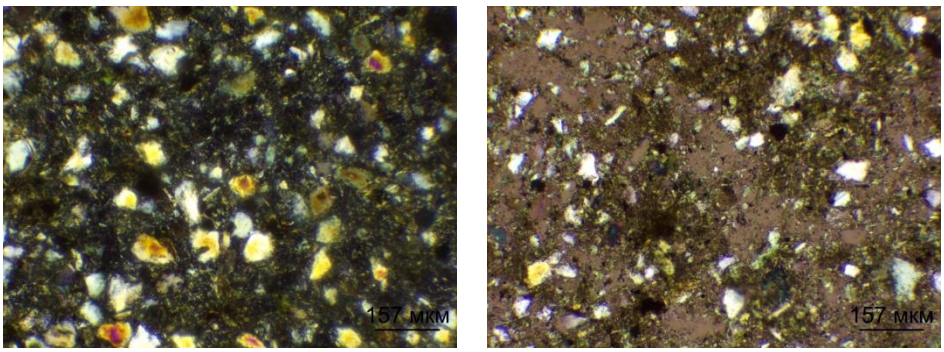


Рисунок 2. **Справа:** песчанистый алевролит, шлиф № 4, интервал 1746,80-1752,80
Слева: глина алевритовая, шлиф № 14, интервал 1818,80-1824,80 м

Для извлечения органостенных микрофоссилий из образцов керна была выбрана щадящая методика.

Образцы керна обрабатываются в концентрированной (40%) плавиковой кислоте (HF) для удаления силикатсодержащих минералов, после чего промываются в дистиллированной воде до нейтрализации кислотной среды.

Чтобы освободить получившийся осадок от фторидов образцы помещаются в 10%-ый раствор соляной кислоты (HCl).

После чего осадок промывается дистиллированной водой до нейтрализации и пропускается через полиэфирное сито (размер ячеек – 10 мкм), чтобы избавиться от тонкодисперсной взвеси.

Далее органомацерат изучается под бинокуляром Olympus CX43. Органические остатки из осадка отбираются медицинской пипеткой на предметное стекло и консервируются полиэстером Витрогель (монтирующая среда).

Для возможности дальнейшего изучения из оставшегося осадка изготавливаются традиционные палинологические препараты в той же консервационной среде. [1]

В ходе палеонтологического исследования верхневендских отложений скважины было выявлено, что распределение образцов по свитам оказалось неравномерным: 10 образцов было отобрано из макарьевской свиты, 5 – из непейцинской и 2 – из гаврилов-ямской. Образцы из любимской и плетневской свит отсутствуют.

Большинство палинологических препаратов, полученных в ходе исследования, оказались “пустыми”, не неся никакой информации.

При изготовлении постоянных препаратов и их последующем микроскопическом исследовании, в образцах, относящихся к границе непейцинской и гаврилов-ямской свит, были выявлены органические остатки удовлетворительной сохранности. Эти остатки, по предварительным данным, представлены нитевидными структурами, органическими пленками и акритархами (Рисунок 3).

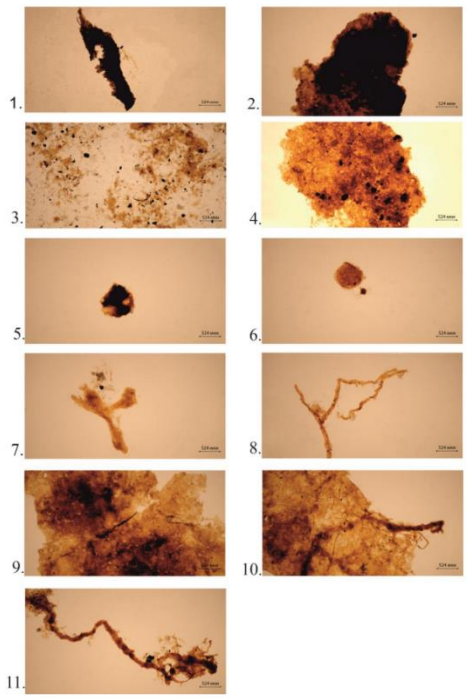


Рисунок 3. Микрофоссилии, обнаруженные в отложениях скважины Солигаличская-1: 1. Образец С-1746, гл. 1746 м; 2. Образец С-1770, гл. 1770 м; 3, 4. Образец С-1812, гл. 1812 м; 5, 6, 7. Образец С-1837, гл. 1837 м; 8, 9, 10, 11. Образец С-1983, гл. 1983 м

Учитывая ограниченный объем данных, полученных в результате изучения данной коллекции образцов, дальнейшие исследования верхневендских отложений Московской синеклизы представляются перспективными и необходимыми для получения более полной картины палеобиоразнообразия этого временного интервала. [4]

Выводы

В ходе проведенного палеонтологического исследования верхневендских отложений скважины Солигаличская-1, расположенной в пределах Московской синеклизы, был реализован комплексный подход к изучению палинологического материала.

Анализ полученных препаратов выявил неоднородность палеонтологической информации. Значительная часть препаратов оказалась неинформативной, не содержащей органических остатков, пригодных для дальнейшего изучения. Несмотря на это, в некоторых препаратах предположительно были обнаружены органические пленки, нитевидные структуры и акритархи, что указывает на наличие в изученных отложениях органических остатков. Эти находки, хотя и представлены в ограниченном количестве, но имеют важное значение для дальнейших исследований. Они свидетельствуют о палеонтологическом потенциале верхневендских отложений скважины Солигаличская-1 и открывают перспективы для детального изучения биостратиграфии и палеоэкологии данного региона.

Полученные результаты, несмотря на их ограниченный характер, позволяют сделать вывод о необходимости продолжения палеонтологических исследований данного региона, с акцентом на более тщательный отбор и анализ образцов.

Библиография

1. Голубкова Е.Ю., Кузьменкова О.Ф., Кушим Е.А., Лапцевич А.Г., Плоткина Ю.В., Манкевич С.С. Распространение микрофоссилий в отложениях венда Оршанской впадины Восточно-Европейской платформы (Беларусь) // Стратигр. Геол. корреляция. 2021. Т. 29, № 6. С. 24–38.

2. Стратиграфическая схема вендских отложений Московской синеклизы. Объяснительная записка. Москва, 1996. 46 с.

3. Чамов Н. П. Тектоно-седиментационная история среднерусского авлакогена и московской синеклизы // Литология и полезные ископаемые, 2017, № 6, с. 78–98

4. Grazhdankin D. Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota // J. Paleontol. 2014. V. 88 (2). P. 269–283.

Карельская учебная геологическая практика: цели, задачи и результаты

Межеловская С.В. (МГРИ, ФГУН Геологический институт Российской академии наук, Mezhelsofya@gmail.com)

Аннотация

Полевая геологическая практика в Республике Карелия, реализованная в июле 2024 года для студентов Геологоразведочного факультета. по специальности "Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых" позволила закрепить знания по следующим дисциплинам: общая геология, структурная геология, минералогия, историческая геология. Данная практика позволяет приобрести следующие знания и умения: представление о геологическом строении Карелии; знакомство с проблемами датировки докембрийских метаморфических комплексов, методикой их изучения, картирования, выявления возрастных соотношений; знание условий образования различных генетических типов пород и ассоциаций прежде всего магматических и метаморфических, проявленных в районе практики, и методов их исследования; знание параметров тех или иных геологических процессов, масштабов и форм их проявления в районе; знания основных этапов деформаций (пликативных и дизъюнктивных) механизмов их образования проявленных в районе практики знания об использовании минералов и горных пород района практики, а также промышленный потенциал региона на примере действующих промышленных объектов.

Ключевые слова

Геологическая практика, Республика Карелия, образовательные компетенции

Теория

В июле 2025г. студенты 2-ого курса обучения по специальности «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых» проходили учебную геологическую практику в Республике Карелия. Актуальность практики заключается в знакомстве студентов с геологией и минералогией Карело-Кольского региона, закрепление теоретических знаний по дисциплинам: общая геология, структурная геология, минералогия, историческая геология. Приобретение навыков полевой работы геолога и минералога. Ключевой целью практики является ознакомление студентов с основными методами полевой работы геолога в маршрутах, а также при документации естественных обнажений и горных выработок в районах с развитием докембрийских магмато-метаморфических комплексов. Практика направлена на формирование и развитие практических навыков и компетенций в сфере профессиональной деятельности геолога и минералога. Основными задачами практики являются: изучение геологического строения районов, структур и состава магматических и метаморфических толщ и промышленных металлических/неметаллических месторождений и жил пегматитов; освоение методов документации естественных обнажений и горных выработок, в том числе ведение полевого дневника; приобретение навыков составления крупномасштабных зарисовок и возрастных взаимоотношений различных генетических ассоциаций пород и минералов; приобретение навыков отбора образцов и проб, ведение их учѐта и детального описания; изучение генетических признаков различных геологических процессов, проявленных в районах практики; определения промышленной ценности и значимости, а также качества и возможного применения минералов и горных пород районов практики; знакомство с методикой проведения полевых маршрутов, а также основными приемами использования GPS-навигаторов для ориентирования на местности и привязки точек наблюдений; освоение методики применения цифровых сервисов Sherpa ведение электронного полевого дневника, создание ГИС-проекта с привязкой растровых графических

изображений (геологических и топографических карт, спутниковых изображений) для дальнейшего создания карт фактического материала с привязанными точками наблюдений; знакомство с принципами работы с горным компасом: определение элементов залегания горных пород, складчатых форм и разрывных нарушений; приобретение практических навыков картирования метаморфических комплексов; знакомство студентов с основными приемами камеральной обработки полученных материалов. Продолжительность практики составила две недели, в течении которых студенты прошли десять геологических маршрутов.

Первая часть практики проходила в Прионежском районе Южной Карелии, где студентам удалось изучить опорные разрезы Онежской структуры палеопротерозоя. Отложения протоплатформенного чехла палеопротерозойского возраста на территории Балтийского щита разделяются на шесть региональных надгоризонтов (от древних к молодым): сумийский, сариолийский, ятулийский, людиковийский, вепсийский и калевийский. Самыми древними образованиями Прионежского района в рамках практики являются кварцитопесчаники и метабазальты, метаандезибазальты, зачастую с миндалекаменными текстурами. Данные образования фиксируют первый этап рифтогенеза территории в интервале 2.5-2.4 млрд лет. Примерно на рубеже 2.3 млрд лет наша планета была практически полностью покрыта ледником [4] это период Гуронского оледенения. Метатерригенные и метавулканогенные породы, а также продукты деятельности древних ледников (диамектиты) были изучены студентами вдоль трассы Санкт-Петербург-Мурманск. В ятулийское время произошло великое окислительное событие GOE (Great Oxidation Event) [3] и в древних бассейнах седиментации стали накапливаться мощные карбонатные толщи с тяжелой изотопной меткой углерода, осадконакопление сопровождалось синхронным вулканизмом основного состава, в результате деятельности которого были сформированы многочисленные покровы и потоки базальтов. С данными отложениями студенты познакомились в рамках маршрута в каньон Гирвас и долину р. Суна. Людиковийский этап становления Онежской структуры ознаменован накоплением мощных толщ высокоуглеродистых пород заонежской свиты – феномен «Шуньга». В рамках практики студенты посетили геологический памятник природы в одноименном населенном пункте, где сохранились небольшие штольни заброшенные еще с концов XIX века. В далеком 1877 году д.г-м.н Александр Александрович Иностранцев определил породу как новый крайний член в ряду природных некристаллических углеродов, не являющихся каменным углём и дал название — шунгит по названию заонежского села Шуньга, где данные породы впервые были обнаружены и действовала штольня. Также в рамках маршрута студенты посетили два промышленных объекта Зажогинская и Максовская залежи шунгитовых пород, которые активно отрабатываются для цветной и черной металлургии. В бортах карьеров обнажаются черные в разной степени углеродсодержащие породы, иногда встречаются небольшие гипабисальные тела габбродолеритов представленные силлами и в редких случаях дайками. Эффузивная фация представлена многочисленными потоками метабазальтов и метапикритов, зачастую с подушечной отдельностью. В этих вулканитах в пределах кряжа Ялгуба встречаются вариолитовые структуры, которые характеризуются наличием в основной массе породы сферических образований (вариолей), они образованы радиально расположенными волокнами плагиоклаза, между которыми встречаются мельчайшие зерна пироксена и участки стекла. Отложения вепсийского надгоризонта в Онежской структуре представлены терригенными отложениями петрозаводской и шокшинской свит, прорванные силлами габбродолеритов (Ропручейский силл). Шокшинская свита известна своими декоративными свойствами и использовалась в создании гробницы Наполеона, мавзолея В.И. Ленина, этими породами вымощена набережная в г. Петрозаводск.

Вторая часть практики проходила в окрестностях Костомукшского заповедника и Национального парка Калевала. Структурно район относится к Западно-Карельской гранит-

зеленокаменной тектонической зоне. В ее строении преобладающее развитие имеют образования лопийского и нерасчлененного саамско-лопийского структурных этажей, представленные, в основном, плутоническими и более ограниченно развитыми метаморфизованными осадочно-вулканогенными породами среднего, средне-верхнелопийского и верхнелопийского ярусов. Костомукшская структура приурочена к северо-восточной части Балтийского щита в центральной части Карельского кратона. В маршрутах студенты познакомились со стратифицированными образованиями ниемиярвинской, рувинваарской и костомукшской свит, с последней связано крупнейшее на северо-западе месторождение железистых кварцитов. Ниемиярвинская свита относится к контонской серии. Породы свиты развиты, в основном, в западной части Костомукши в виде северо-восточной полосы. Нижняя стратиграфическая граница в пределах изученной территории отсутствует. Верхняя граница согласная, иногда тектонизированная, проходит по подошве кислых пирокластических пород шурловарской свиты. В составе преобладают метабазальты преобразованные в эпидот-полевошпат-роговообманковые сланцы, амфиболиты. В подчиненном количестве присутствуют коматииты. Породы рувинваарской свиты развиты в восточной части Костомукши, образуя две полосы субмеридионального простирания. Западная полоса длиной 10 км и шириной 3–4 км на широте оз. Контоккиярви резко выклинивается и далее к югу представлена системой клавишных блоков, зажатых между гранитами суккозерского комплекса гранитоидов. Менее протяженная восточная полоса резко срезается гранитами Таловейсовского массива нюкозерского комплекса. Породами свиты сложена также локальная, сложно построенная Контокская структура высокого порядка, расположенная в восточной части Контокско-Кимасозерской синформы. Свита сложена в основном метаэффузивами коматиитовой серии, иногда наблюдаются реликтовые структуры спинифекс. Породы слагают мощные потоки и покровы вулканитов ультраосновного состава, наблюдаются маломощные прослои пирокластического материала. Породы претерпели несколько этапов деформаций с образованием складок различных порядков [1]. Образования костомукшской свиты на рассматриваемой территории имеют ограниченное развитие, локализуясь в двух синформных структурах Костомукшской подзоны: в Южно-Костомукшской и Контокско-Кимасозерской. В Южно-Костомукшской структуре одноименная свита развита на ее крыльях в виде фрагментов, трассирующихся в поле мигматитов и мигматит-гранитов. По составу свита представлена метаморфизованными песчано-глинистыми осадками флишевого типа. Продуктивная толща сложена железистыми кварцитами относимыми к формации BIF (banded iron formation) и вмещает крупнообъемное оруденение. Все железистые кварциты - это слоистые породы от грубой (мощность 5-10см) до тонкой слоистости (мощность 0.5-1.5см), тонкозернистые. Главным рудным минералом является магнетит, представленный несколькими генерациями. Возраст рудоносных пород оцененный по самой молодой доминирующей популяции детритового циркона составил 2.76–2.74 млрд лет [1, 2].



Рисунок 1. Студенты группы РМ-22 на фоне бортов карьера "Рыбрека", сложенных габбродолеритами Ропручейского силла (Прионежский район)

Выводы

Учебная геологическая практика в Республике Карелия для студентов геологических специальностей это наиболее рациональный элемент учебного процесса, необходимый для усвоения студентами материала по диагностике и условиям образования магматических и метаморфических пород, а также закрепления материала по ряду дисциплин, которое невозможно без полевого этапа.

Библиография

1. Горьковец В.Я., Раевская М.Б. Костомукшский неоархейский зеленокаменный пояс / Материалы конференции "Гранит-зеленокаменные системы архея и их поздние аналоги". Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2009. С. 27-35.
2. Слабунов А.И., Нестерова Н.С., Максимов О.А. Геохимия и условия формирования мезоархейских полосчатых железистых кварцитов (BIF-1) Костомукшского зеленокаменного пояса Карельского кратона / Геохимия. 2024. Т. 69. № 3. С. 252-274.
3. Frantz O.O., Spangenberg, J. E., Bekker, A., König, S.,Stüeken, E. E., Hofmann, A. Moderate levels of oxygenation during the late stage of Earth's Great Oxidation Event. Earth and Planetary Science Letters. T.594. 2022. pp. 1-12.
4. Warke M.R., Rocco T. Di, Zerkle A.L., Lepland A., Prave A.R., Martin A.P., Ueno Y., Condon D.J., Claire M.W. The great oxidation event preceded a paleoproterozoic “snowball Earth” Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 117 24. 2020. pp. 13314-13320.

Региональная геодинамическая обстановка при формировании Марджанбулакского рудного поля

Рахматуллаева Ш.Д.* (ТашГТУ им. Ислама Каримова, shaxzodarax1997@gmail.com), Туляганова Н.Ш. (ТашГТУ им. Ислама Каримова, nargiza.tulyaganova@mail.ru)

Аннотация

Работа посвящена понятию о геодинамики – науки о процессах, протекающих в системе Земли и о силовых полях,проявляющихся в этих процессах. Главной задачей геодинамического анализа является исследование, включающее в себя определение геодинамической обстановки, формирования геологических тел, разработки геодинамических моделей формирования и локализации месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова

Геодинамика, рудное поле, напряжение, рудоносность, литосферные плиты

Теория

В последнее время в геологической литературе, посвященной геологии, тектонике, магматизму, гидрогеологии и другим наукам Земли фигурирует слово «геодинамика». Однако суть геодинамики в этих геологических процессах во многих случаях не раскрывается, отсутствует единая точка зрения в понятии геодинамика. В геологическом словаре 1973 года геодинамика определяется:-«наука о процессах, протекающих в системе «Земли», и о силовых (энергетических) полях, проявляющихся в этих процессах» [3].

С развитием геологии на основе новых геологических методов исследования, позволивших получить новые данные о строении и развитии геосфер Земли, которые расширили представления о геодинамике. Так в горной энциклопедии 1984 года геодинамика определяется: - «наука о глубинных силах и процессах, возникающих в результате эволюции Земля, как планеты и определяющих движение масс вещества и энергии внутри Земли и в её внешних твердых оболочках» [2].

Как известно Узбекистан занимает лидирующую позицию по золоту, а также по урану. Перспективы расширения сырьевой базы золота республики, по мнению многих исследователей (И.Х. Хамрабаев, Ф.А. Усманов, Ю.С. Савчук, Р.Х. Миркамалов, М.К. Турапов, Ф.К. Диваев, М.М. Пирназаров, М.С. Карабаев и др.) связаны с домезозойскими образованиями Кызылкумской золоторудной провинции, где на сегодняшний день известны ряд крупных месторождений золота среди которых выделяется уникальное месторождение Мурунтау.

Это наиболее общее представление о геодинамике и его придерживаются многие исследователи занимающиеся тектоникой и геодинамикой. Это определение фигурирует в энциклопедическом справочнике «Планета Земля», том «Тектоника и геодинамика» [2004], где отмечано, что «геодинамика-синтетическая наука, опирающиеся на весь комплекс наук о Земле и учитывающая космический фактор, в том числе взаимодействие системы Земля-Луна и обращение Земли по галактической орбите» [1].

Л.И. Красный, Б.А. Блюман и другие выделят общую, частную, историческую и региональную геодинамики, в тоже время Л.П. Зоненшайн, А.Е. Шейдеггер (1979, с.311) предлагают разделить геодинамику на: эндогенную и экзогенную. Кроме этих подразделений существует и глубинная геодинамика, предложенная Н.Л. Добрецовым (1994, 299с.)

Бурное развитие геодинамических исследований в Узбекистане связано с выходом в свет монографии Л.П. Зоненшайна о геодинамике литосферных плит в 1979 году.

Большой вклад в изучении геодинамики домезозойского периода развития Тянь-Шаня и его отдельных регионов внесли Т.Н. Долимов, П.А. Мухин, И.М. Голованов и В.И. Троицкий, Ю.С. Савчук, Р.Х. Миркамалов, М.К. Турапов, Э.Р. Базарбаев, Л.Р. Садикова, Б.С. Нуртаев, Х.Д. Ишбаев, А.А. Кустарникова, Р.Д. Дженчураева, И.Н. Ганиев и др. В результате их работ выделены структурно-вещественные комплексы, определены геодинамика определенных этапов развития её последствие, установлена взаимосвязь проявлений эндогенного оруденения (золото, серебро, вольфрам, железо и др.) с определенными этапами геодинамического развития регионов, разработаны модели геодинамических обстановок различных этапов развития, составлены геодинамические карты исследуемых территорий на региональном уровне [7,8].

Главной задачей геодинамического анализа является исследование включающее в себя определение геодинамической обстановки формирования геологических тел разработки геодинамических моделей формирования и локализации месторождений полезных ископаемых [4]

Изучением геодинамики Тянь-Шаня и его отдельных регионов занимаются в институте минеральных ресурсов (Р.Х.Миркамалов, Ф.К.Диваев) и геологии и геофизики (А.А. Кустарникова, М.М. Мансуров, А.Х. Туресебеков и др.).

Р.Х. Миркамалов и др. [6] указывая, что Южный Тянь-Шань представляет дивергентный складчатый пояс, сформированный за счет закрытия Туркестанского палеоокеанического бассейна (позднемовсковское время), отмечают, что в структурном отношении пояс представляет собой серию аккреционных комплексов: кремнисто-вулканогенные толщи докембрия; карбонатно-терригенные флиш и черносланцевые образования раннего палеозоя; катормайской и терригенно-вулканогенно-кремнистыми образованиями среднего палеозоя. Образования этих комплексов связано с различными этапами тектоно-геодинамического развития региона. Изменчивые в пространстве и во времени тектоно-магматические процессы и связанный с ними геодинамический режим, по их данным определили металлогенический облик Южного Тянь-Шаня, металлогеническую специализацию структурно-вещественных комплексов, структурно-тектоническую позицию рудных месторождений (Рис. 1).

По данным Р.Х. Миркамалова и др. [6] в ЮжноТяньШаньском складчато-надвиговом поясе рудные месторождения формировались:

- в надвиговых структурах субдукционных этапах (Мурунтау, Кокпатас и др.);
- в коллизионных структурах (Даугызтау, Чармитан, Марджанбулак и др.);
- в постколлизионном этапе геодинамики (Высоковольтное и др.);
- месторождения в офолитовых комплексах (Fe);
-месторождения, связанные с коллизионными магматическими поясами (Саутбай, Ингичке и др.);
- месторождение рифтовыхвулкано-плутонических поясов (Хандиза);
- внутриплитныемагматическиекомплексы (Карашахо).

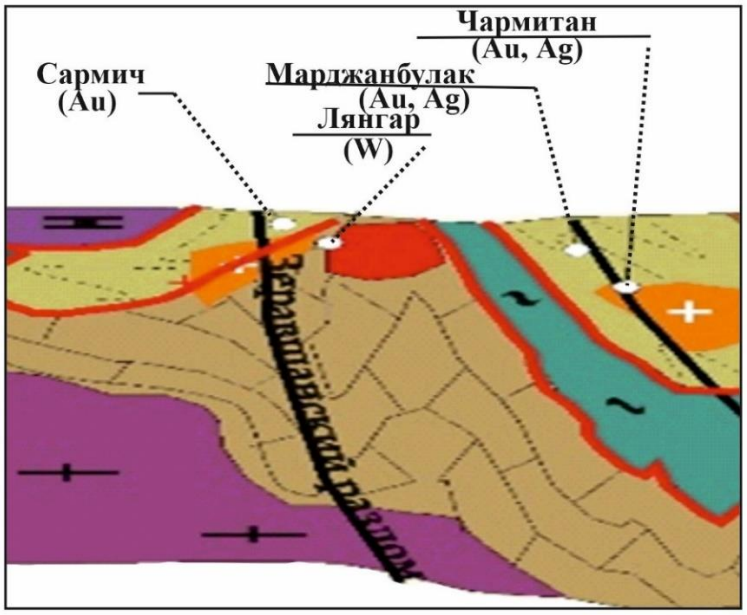


Рисунок 1. Структурная позиция Марджанбулакского рудного поля
в складчатой системе Тянь-Шаня (по Р.Х. Миркамалову, 2010)

Исследуемое Марджанбулакское рудное поле относится к коллизионному типу. По Р.Х. Миркамалову [6] месторождение Марджанбулак находится на продолжении Караулхона-Чармитанской зоны смятия. Вмещающими породами является изоклинально складчатый терригенный флишмарджанбулакской свиты верхнего ордовика. Коллизионному этапу развития Тянь-Шаня как отмечают Р.Х. Миркамалова, П. Мухин, Ю.С. Савчук и др. характерно образование складчато-надвиговых, сбросо-сдвиговых структурных систем, которые совместно с магматизмом, геологическими образованиями и их метасоматическими изменениями определили размещение эндогенного оруденения: месторождений золота, серебра, вольфрама и др. Несколько иной подход в определении геодинамической обстановки при формировании некоторых рудных месторождений Au, W предлагают А.А. Кустарникова, М.М. Мансуров, Ю.О. Михайлова. по их мнению ряд месторождений этих металлов (Алтынказган, Сентябр, Сармыч, Гужумсай, Койтаж, Сарытау и др), куда входит и Марджанбулакформи-ровались в условиях коллизионносубдукционной геодинамической обстановки [5].

Ярким примером золото-колчеданного типа является месторождение Амантайтау. Оно находится в верхних частях бесапанской свиты (мурунская), в составе которой отмечены вулканиты.

В Нуратинском регионе к колчеданному типу М.М. Мансуров и др. относят месторождение Марджанбулак. Здесь в одноименной рудовмещающей терригенно-сланцевой свите (O_2 -S_1) развиты субсогласные дайки и силы диабазов и субщелочных базальтов мальгузарского диабаз-диорит-гранитоидного комплекса.

Общим для колчеданных месторождений по минералогическим исследованиям является развитие в рудах ранней золото-(арсенопирит)- пиритовой и метаморфогенной золото-пирит-арсенопиритовой ассоциаций, которые определяют золото продуктивность руд. С этими ассоциациями связано 80-90 % золота в Амайтайтау, Кокпатасе, Марджанбулаке [5].

Выводы

Таким образом, анализ геологических данных о геодинамике Южно Тянь-Шаньского складчато-надвигового пояса в его различных этапах развития показывает, что коллизионный (по Р.Х. Миркамалову) и коллизионно-субдукционный (по М.М. Мансурову и др.) является «важнейшей в формировании плутогенно-гидротермальных месторождений» [5], в том числе месторождения Марджанбулак. Золото контролирующая его система формировалась в ходе структурно-геодинамического развития и на основе вещественного состава вмещающей среды обусловленных тектономагматическими и геодинамическими процессами.

Библиография

1. Аплонов С.В. Геодинамика. Из-во С.-Петербургского университета.. СПбГУ-2001. С.345.
2. Горная энциклопедия. -М.; Советская энциклопедия, Том I, 1984. Стр. 532-533
3. Геологический словарь. -М.; «Недра». Том I, 1973, стр. 143
4. Красный Л. И., Петров О. В., Блюман Б. А. Планета Земля. Том:Тектоника и геодинамика. Из-во ВСЕГЕИ. Санкт-Петербург –2004. – 652 с.
5. Кустарникова А.А., Усманов А.И., Бабаджанов А.А, Мансуров М.М., Марипова С.Т. и др. Металлогения золота и меди в Западном Узбекистане. Институт геология и геофизика им Х.М.Абдуллаева. -Т., 2012. 410 с.
6. Миркамалов Р.Х. и др. Атлас моделей рудных месторождений Узбекистана.-Т.: ГП «НИИМР», 2010. -100с.
7. Рахматуллаева Ш. Д., Туляганова Н. Ш., Турапов М.К. К вопросу изучения геолого-структурных позиций золоторудных проявлений Марджанбулакского рудного поля (Нуратинский регион) Вестник НУУз 3/12024279-282
8.Turapov,M.K., Akbarov,H.A., Tulyaganova,N.S., Ummatov,N., Raxmatulayeva, S.D.Role of regional faults in the formation and placement of gold ore objects in western Uzbekistan-2023.E3S Web of Conferences 371,01022.

Bibliographia

1. Aplonov S.V. Geodinamika. Iz-vo S.-Peterburgskogo universiteta.. SPbGU-2001. S.345.
2. Gornaya ensiklopediya. -M.; Sovetskaya ensiklopediya, Tom I, 1984. Str. 532-533
3. Geologicheskiy slovar. -M.; «Nedra». Tom I, 1973, str. 143
4. Krasnыy L. I., Petrov O. V., Blyuman B. A. Planeta Zemlya. Tom:Tektonika i geodinamika. Iz-vo VSEGEI. Sankt-Peterburg –2004. – 652 s.
5. Kustarnikova A.A., Usmanov A.I., Babadjanov A.A, Mansurov M.M., Maripova S.T. i dr. Metallogeniya zolota i medi v Zapadnom Uzbekistane. Institut geologiya i geofizika im X.M.Abdullayeva. -T., 2012. 410 s.
6. Mirkamalov R.X. i dr. Atlas modeley rudnыx mestorojdeniy Uzbekistana.-T.: GP «NIIMR», 2010. -100s.
7. Raxmatullayeva Sh. D., Tulyaganova N. Sh., Turapov M.K. K voprosu izucheniya geologo-strukturnыx pozisiy zolotorudnыx proyavleniy Mardjanbulakskogo rudnogo polya (Nuratinskiy region) Vestnik NUUz 3/12024279-282
8.Turapov,M.K., Akbarov,H.A., Tulyaganova,N.S., Ummatov,N., Raxmatulayeva, S.D. Role of regional faults in the formation and placement of gold ore objects in western Uzbekistan-2023. E3S Web of Conferences 371,01022.

Признаки прижизненного и посмертного прикрепления эпибионтов к организму-субстрату

Кальбова П.И.* (МГРИ, pikalbova@mail.ru),
Лебедянцева В.Я. (МГРИ, vika3581@yandex.ru)

Аннотация

Рассмотрены признаки прижизненного и посмертного прикрепления эпибионтов (мшанки, микроконхиды, корнулитиды, краниды) к организму–субстрату (табулятоморфные кораллы, четырёхлучевые кораллы, брахиоподы).

Ключевые слова

Эпибионты, брахиоподы, табулятоморфные кораллы, четырёхлучевые кораллы, мшанки, микроконхиды, корнулитиды, краниды, прижизненное поселение, посмертное поселение, организм–субстрат

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии. В общем комплексе проблем эпибиоза существенное значение имеет решение вопроса, прикрепилась ли данная форма к твёрдой оболочке другого организма при его жизни или уже после его смерти. Проведённые нами в последние годы исследования эпибиоза [1–4] позволяют сделать следующие выводы.

Ясным указанием на инкрустацию при жизни служащего субстратом организма является расположение различных (микроконхиды, мшанки) прикрепленных форм на периферийных (вдоль самого края комиссуры) частях раковин брахиопод, обеспечивающее лучшие условия питания, дыхания и, возможно (при резком захлопывании створок), очищения от ненужных частичек донных отложений создаваемым находившимися в постоянном движении ресничками лофофора брахиоподы потоком воды при раскрывании раковины организма–субстрата. Прекрасным примером этому являются наблюдавшийся нами гирляндный характер нарастания корнулитид на раковины “приютивших” их атрипид Desquamatia (Independatrypa) subindependensis из верхнего девона Закавказья, когда особи, входящие в гирлянду, имеют примерно одинаковую величину, а цепочки трубочек, направленных устьем строго к лобному краю, расположены параллельно отступившему вперёд лобному краю (рис. 1, фиг. *1*). По мере роста раковины брахиоподы, происходило и увеличение размеров трубок корнулитид. Аналогичное расположение корнулитид наблюдалось нами и у спириферид Cyrtina praecedens из нижнего девона Подолии. По–другому обстоит дело с гирляндами микроконхид, когда цепочки примерно одинаковых по размеру спиральных трубочек располагаются параллельно лобному краю раковины брахиопод. Микроконхиды первоначально обосновывались на небольшом расстоянии от комиссуры. Поскольку они строили трубочки улиткообразной формы с “вращающимся” устьем, это приводило к “отставанию” от роста раковины брахиоподы и постепенному удалению поселенца от переднего края раковины. Следовательно, чем дольше живёт микроконхида на створке брахиоподы, тем дальше она будет располагаться от её лобного края и тем крупнее она будет. Подобное закономерное изменение размеров трубок на створке (более крупные трубки расположены на удалении от комиссуры, а мелкие трубки приближены к ней) было зафиксировано у Cyrtina praecedens (рис. 1, фиг. *2*). Гирляндный характер

расположения микроконхид вблизи передней комиссуры наблюдался также у Estonirhynchia estonica из силура острова Сааремаа (Эстония), у Athyris concentrica из верхнего девона Липецкой области и у Iowatrypa timanica из верхнего девона Южного Тимана. Очень часто участки вблизи комиссуры успешно осваивали и мшанки, причём нередко их колонии были строго ограничены комиссурой. Колонии были зафиксированы у Athyris concentrica (рис. 1, фиг. *3*), Estonirhynchia estonica, Licharewia rugulata из пермских отложений Самарской области, Aulosteges horrescens из пермских отложений Самарской области, Cyrtina praecedens и Iowatrypa timanica. Доля мшанок, находящихся в непосредственной близости от комиссуры, может быть весьма значительной. Так, у Aulosteges horrescens она составляет 82,7%, а у Licharewia rugulata 80% от всех изученных раковин. Среди поселенцев помимо мшанок и микроконхид в непосредственной близости у передней комиссуры на раковинах Estonirhynchia estonica наблюдались также краниды (рис. 1, фиг. *4*).

Показателем прижизненного прикрепления является расположение эпибионтов только на одной створке брахиопод. Многочисленные подобные случаи были отмечены у Iowatrypa timanica (рис. 1, фиг. *5*). Преимущественное прикрепление мшанок к спинным створкам наблюдалось и у 12 видов девонских атрипид Закавказья. Это выглядит естественным, так как у раковин данных брахиопод брюшная створка обычно более плоская и именно на ней живому взрослому организму было “удобнее” лежать на грунте. Также подавляющее большинство мшанок предпочитало селиться на брюшных створках брахиопод Aulosteges horrescens. На них обнаружено 90,6% колоний. Это также выглядит вполне естественным, так как продуктиды располагались на грунте на плоской спинной створке, когда раковина принимала наиболее гидродинамически устойчивое положение выпуклой стороной вверх.

Показателем прижизненного прикрепления можно считать поселение мшанок и микроконхид на кораллитах хорошей сохранности с неразрушенной эпитекой, на которой видны кольцевые линии её нарастания и продольная ребристость. Подобное наблюдалось на скелетах всех изученных видов одиночных кораллов, в частности у Tabulophyllum normale (рис. 1, фиг. *6*). О прижизненном прикреплении говорит также расположение эпибионтов с разных сторон кораллитов. Данный факт наблюдался у многочисленных верхнедевонских кораллов из Южного Тимана – Tabulophyllum gorskyi, Tabulophyllum normale, а также Tabulophyllum weberi. У некоторых кораллитов Tabulophyllum weberi мшанки инкрустируют почти всю поверхность. В пользу прижизненного прикрепления мшанок может также свидетельствовать их расположение строго вдоль края воронковидных чашек кораллитов Tabulophyllum weberi (рис. 1, фиг. *7*), при этом в самих чашках эпибионтов не наблюдается.

При посмертном прикреплении эпибионты использовали субстрат лишь в качестве опоры. В пользу посмертного обрастания брахиопод может свидетельствовать беспорядочность прикрепления микроконхид разного размера к различным участкам поверхности их раковин. Не менее ясным указанием на прикрепление после смерти организма–субстрата является расположение прикрепленных форм (особенно если их много) на обеих створках брахиопод. Этому могла способствовать нестабильная среда с активной гидродинамикой – донные течения, поверхностное волнение или штормовые события, приводящие раковины погибших брахиопод на некоторое время в движение и неоднократно переворачивающие их.



Рисунок 1. Примеры прижизненного и посмертного прикрепления эпибионтов к организму–субстрату. Увеличено

В частности, у 31,5% экземпляров Licharewia rugulata мшанки были обнаружены на обеих створках на самых различных участках их поверхности, причём среди них встречена одна раковина, почти полностью покрытая мшанками с обеих сторон (рис. 1, фиг. *8*). У атрипид Iowatrypa timanica микроконхиды покрывают обе створки раковины в подавляющем большинстве случаев (86,1%), при этом они часто необычайно обильны – максимальное их число на одной створке брахиоподы – 41 экземпляр. Надёжным индикатором посмертного прикрепления являются многочисленные случаи перехода колоний мшанок через комиссуру раковины брахиопод. Случаи перехода мшанок через комиссуру зафиксированы у Licharewia rugulata, Iowatrypa timanica и у Athyris concentrica (рис. 1, фиг. *9*). Возможным показателем посмертного прикрепления является поселение обрастателей на кораллитах с разрушенной текой, на которой видны элементы внутреннего скелета (септального и межсептального аппаратов). Подобное, в частности, наблюдалось у Tabulophyllum weberi (рис. 1, фиг. *10*). На посмертное поселение указывает также расположение эпибионтов только с одной стороны кораллитов. Это могло происходить тогда, когда остатки погибших кораллов лежали на грунте, а эпибионты крепились с верхней стороны, используя всю доступную поверхность. Так, ровно у половины изученных образцов кораллов Tabulophyllum weberi микроконхиды

расположены только с одной стороны кораллита. В пользу посмертного прикрепления однозначно говорит расположение микроконхид в чашке кораллита, что могло произойти только после смерти стрекающего организма. Прикрепление микроконхид и мшанок к массивным полипнякам фавозитид Thamnopora rigida из верхнего девона Южного Тимана было всегда посмертным. Нами наблюдались многочисленные случаи, когда крошечные трубки микроконхид Palaeoconchus cf. tenuis (58% от их общего числа), располагались непосредственно в чашках Thamnopora rigida. Эпибионты удалось наблюдать и в воронковидных чашках других кораллов. Так трубка микроконхиды была отмечена в чашке кораллита Tabulophyllum gorskyi, колонии мшанок наблюдались в чашке кораллита Tabulophyllum normale (рис. 1, фиг. *11*) и в трёх чашках у Calophyllum profundum из пермских отложений Самарской области. На посмертное прикрепление однозначно указывает расположение колонии мшанок на поперечном сколе основания кораллита Tabulophyllum normale, а также обнаружение микроконхид на сколе полипняка Thamnopora rigida (рис. 1, фиг. *12*). О посмертном поселении свидетельствуют и два образца, на которых колония мшанок частично покрывает раковину Athyris concentrica, а частично её внутреннее ядро.

Выводы

Проведённое исследование показало, что при изучении эпибиоза недостаточно установить и отметить сам факт прикрепления, необходимо ещё обратить внимание на его особенности, в том числе на то, в какой именно части организма–субстрата наблюдается это прикрепление. В случае прижизненного прирастания обе формы (и прикрепившаяся, и служащая субстратом) являются членами одного биоценоза, и обе дают материал для фациальных реконструкций на основе данных их экологического анализа. В случае посмертного поселения выводы, основанные на экологическом анализе обеих форм, будут неправильными, поскольку форма, являющаяся субстратом, может и не входить в состав данного биоценоза и может даже относиться к более древней геологической эпохе.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
3. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
4. Кальбова П.И., Вайтиева Ю.А., Сёмина Р.И., Царев Р.В., Комаров В.Н. Атрипиды Iowatrypa timanica (Markovsky) и эпибиоз // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М.: “ПАРАДИГМА”, 2024. С. 38–44.

Находки эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Tabulophyllum normale (Walth.) из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана

Короленко П.С.* (МГРИ, wxrtvoll@yandex.ru),
Лебедянцева В.Я. (МГРИ, vika3581@yandex.ru),
Кальбова П.И. (МГРИ, pikalbova@mail.ru),
Миронова Д.Н. (МГРИ, mirono.01@inbox.ru)

Аннотация

Приведены данные о находках эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Tabulophyllum normale (Walth.) из сирачойской свиты (верхний фран) на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой).

На долю кораллитов с мшанками приходится 8,5% от общего числа изученных образцов, на долю кораллитов с микроконхидами – 8,1%, что свидетельствует о довольно частом использовании данными организмами кораллитов Tabulophyllum normale в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о значительном числе мшанок и микроконхид в палеобиоценозах.

Ключевые слова

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, четырёхлучевые кораллы, франский ярус, Южный Тиман

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов [1–10]. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии.

Материалом для данного исследования послужила коллекция четырёхлучевых кораллов Tabulophyllum normale (Walth.) численностью 198 экземпляров, находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция была собрана сотрудниками Палеонтологического Бюро на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой) в стратотипическом разрезе сирачойской свиты (верхний фран). Образцы представлены кораллитами хорошей сохранности.

При детальном анализе имеющихся материалов на 30 образцах Tabulophyllum normale (что составляет 15,2% от их общего числа) были найдены различные эпибионты – мшанки, микроконхиды, а также организмы не совсем ясной систематической принадлежности. Колонии мшанок выявлены на 17 кораллитах.

Среди мшанок нами были выявлены не менее четырёх различных морфотипов. Чаще всего встречались массивные обрастающие корковые колонии, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата (рис. 1, фиг. *1*). Они наблюдались на 10 кораллитах. Возможно, данные колонии принадлежат роду Atactotoechus Duncan, 1939. Он объединяет несколько видов, имеющих сравнительно широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода ограничено средним и верхним девоном.

На трёх образцах зафиксированы мшанки в виде относительно толстых массивных ветвей, по всей видимости, принадлежащие к роду Leioclema, Ulrich, 1882 (рис. 1, фиг. *3*). Следует отметить, что мшанки рода Leioclema характеризуются большой пластичностью и изменчивостью своих колоний, способных приспосабливаться к разным условиям обитания.

Среди них преобладают ветвистые и обрастающие колонии. Мшанки рода Leioclema прикреплялись к субстрату только начальной частью – стелющимся, обрастающим субстрат основанием, от которого, постепенно поднимаясь вверх, развивалась ветвистая колония. Род Leioclema объединяет много видов, имеющих широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода охватывает интервал от ордовика до триаса.

На трёх кораллитах обнаружены тонкие ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных коротких или длинных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке (рис. 1, фиг. *2*). Рассматриваемые колонии, по всей видимости, принадлежат роду Corynotrypa Bassler, 1911. Он насчитывает порядка 26 видов, распространённых в ордовике и силуре Эстонии, а также в интервале от ордовика до перми в США и Западной Европе (Англия, Германия, Норвегия, Польша, Франция, Швеция).

На четырёх кораллитах наблюдались колонии в виде бугорков, по всей видимости, также относящиеся к роду Leioclema. Все обнаруженные нами мшанки были определены предварительно, со значительной долей условности, так как для их точной диагностики необходимы прозрачные ориентированные шлифы или использование методов томографии. Сделать это в настоящее время, к сожалению, не представляется возможным.

На 10 кораллитах выявлена только одна колония мшанок, на двух – две колонии, на одном – четыре колонии, и ещё на одном кораллите – пять колоний мшанок.

Размеры корковых колоний варьируют от 1,7 мм до 8,0 мм, но обычно составляют 4,0–6,0 мм. Размеры колоний рода Leioclema следующие: бугорки имеют величину от 1,3 мм до 2,5 мм, а ветвистые разновидности – от 3,0 мм до 6,4 мм. Размеры тонких ветвящихся колоний мшанок варьируют от 6,0 мм до 15,0 мм. Обычно мшанки занимают относительно небольшие участки кораллитов.

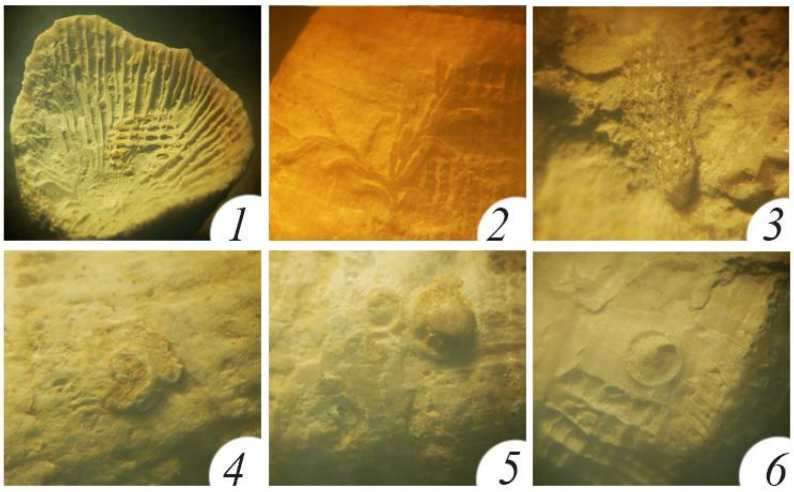


Рисунок 1. Эпибионты на кораллитах Tabulophyllum normale. Верхний девон, верхнефранский подъярус, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта (урочище Сирачой). Увеличено

Как правило, на одном кораллите наблюдается только один морфотип мшанок. В трёх случаях зафиксировано совместное нахождение трёх различных морфотипов. На одном кораллите удалось обнаружить совместное нахождение бугорчатой колонии рода Leioclema, корковой колонии и тонкой ветвящейся колонии.

На пяти образцах наблюдалось совместное нахождение мшанок и микроконхид. Факты нарастания колоний мшанок друг на друга не зафиксированы.

Микроконхиды обнаружены на 16 кораллитах (рис. 1, фиг. *4–6*). Среди них нами предварительно установлен вид Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby, 1839).

У нас не вызывает никакого сомнения то, что систематический состав обнаруженных микроконхид шире указанного. Для их точной диагностики необходимо использование сканирующего электронного микроскопа. На восьми образцах выявлена одна трубка, на пяти – две, на одном – три, на одном – четыре и на одном экземпляре – семь трубок. Всего, таким образом, выявлено 32 трубки палеоконхусов.

Расположение трубок различно. Когда к кораллиту прикреплена одна трубка, она, естественно, располагается с какой–то одной его стороны. Когда кораллит инкрустируют две или большее число трубок, они обычно располагались с разных сторон кораллита. Микроконхиды обычно располагаются на значительном расстоянии друг от друга. Тем не менее, в ряде случаев их раковины соприкасаются (рис. 1, фиг. *5*).

Среди Palaeoconchus cf. tenuis отмечены лишь спиральные, округлые в плане трубки. Тем не менее, следует отметить, что сохранность большинства Palaeconchus cf. tenuis недостаточно хорошая и потенциально имевшиеся распрямлённые части трубок, возможно, могли быть обломаны.

Почти все трубки Palaeoconchus cf. tenuis частично или полностью вскрыты и заполнены вмещающей породой. Одна трубка сохранилась целой. На её поверхности наблюдаются тончайшие пластины нарастания шириной 0,1–0,2 мм.

Размеры изученных Palaeoconchus cf. tenuis варьируют в пределах от 0,4 мм до 2,6 мм, но обычно составляют 0,6–2,1 мм. Максимальный диаметр трубки в области апертуры достигает 0,4 мм. В [10] размеры аналогичных раковин составляют 0,8–2,9 мм.

Интересным является решение вопроса о том, прикреплялся ли эпибионт к скелету другого организма при его жизни или уже после гибели. В первом случае обе формы (и служащая субстратом, и прикрепившаяся) являются представителями одного палеобиоценоза и могут дать неоценимый материал для фациальных реконструкций. Во втором случае заключения, базирующиеся на экологическом исследовании обеих форм, были бы ошибочными, поскольку организм, являвшийся субстратом, мог не только не входить в состав данного комплекса, но и иметь значительно более древний возраст. Чётким указанием на прикрепление при жизни служащего субстратом животного является расположение приросших существ на периферийных частях раковин, обеспечивающее лучшие условия питания при функционировании организма–субстрата. Свидетельством поселения прикреплённых беспозвоночных на остатках отмерших организмов являются их находки на внутренних участках этих скелетных образований или на тех поверхностях, которые при жизни организма были закрыты мягким телом. Прикрепление к раковинам глубоко зарывавшихся беспозвоночных также возможно только после их смерти.

Поселение изученных мшанок, на наш взгляд, в основном было прижизненным. Об этом может свидетельствовать их прикрепление к кораллитам с сохранившейся эпитекой, а также расположение некоторых колоний с разных сторон кораллитов. В пользу посмертного прикрепления однозначно говорит расположение колонии мшанок в чашке кораллита (рис. 1, фиг. *1*), а также на поперечном сколе основания одного кораллита.

Поселение изученных микроконхид, на наш взгляд, в большинстве случаев было прижизненным. Об этом может свидетельствовать их прикрепление к кораллитам с неразрушенной эпитекой, а также расположение трубок с разных сторон кораллитов.

Выводы

На долю кораллитов с мшанками приходится 8,5% от общего числа изученных образцов, на долю кораллитов с микроконхидами – 8,1%, что свидетельствует о довольно частом использовании данными организмами кораллитов Tabulophyllum normale в качестве

субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о значительном числе мшанок и микроконхид в палеобиоценозах.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вайтиева Ю.А., Качалина М.Д., Волкова Е.А., Комаров В.Н. О находках сверлильщиков и эпибионтов на раковинах среднепермских продуктид Aulosteges horrescens (Verneuil) (Brachiopoda) из окрестностей села Байтуган (Самарская область) // Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: геология, геотектоника, геодинамика, региональная геология, палеонтология. Материалы XVI Международной научно–практической конференции “Новые идеи в науках о Земле”. Т.1. М.: МГРИ. 2023. С. 236–239.
3. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
4. Вологина А.С., Молодова В.Д., Комаров В.Н. Четырёхлучевые кораллы Tabulophyllum weberi и эпибиоз // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М.: “ПАРАДИГМА”, 2024. С. 18–24.
5. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
6. Кальбова П.И., Вайтиева Ю.А., Сёмина Р.И., Царев Р.В., Комаров В.Н. Атрипиды Iowatrypa timanica (Markovsky) и эпибиоз // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М.: “ПАРАДИГМА”, 2024. С. 38–44.
7. Комаров В.Н., Верба Т.И., Вайтиева Ю.А. Спириферииды Licharewia rugulata и эпибиоз // Природа. 2023. № 8. С. 41–47.
8. Комаров В.Н., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Брахиоподы Estonirhynchia estonica острова Сааремаа // Природа. 2023. № 4. С. 60–65.
9. Комаров В.Н., Самохвалов С.А., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Датские рожицы: крымские краниидыы – взгляд из глубины времён // Природа. 2023. № 1. С. 42–49.
10. Vinn O., Wilson M.A. Microconchid–dominated hardground association from the Late Pridoli (Silurian) of Saaremaa, Estonia // Palaeontologia Electronica. 2010. No 13.2.9A. P. 1–12.

Новые данные о различных микробиальных образованиях Европейской России

Маленкина С.Ю. (Музей Землеведения МГУ им. М. В. Ломоносова, maleo@mail.ru)*

Аннотация

В работе рассмотрено строение различных микробиальных построек, отличающиеся по форме, размеру и составу. Установлено, что среди них отчетливо диагностируются тромболиты, строматолиты, онколиты. Особенно подробно в исследовании анализируются онколиты и строматолиты разных местонахождений и возраста, их структура и обстановки их формирования.

Ключевые слова

Строматолиты, онколиты, цианобактерии, юра, палеоген

Источники финансирования

Работа выполнена выполнена в рамках госзадания Музея землеведения МГУ АААА-А16-116042010088-5 «Эволюция геодинамических обстановок и глобальные природные процессы.

Теория

Сообщества бактерий и цианобактерий, создающие микробиальные карбонаты и другие осадки, формируют тонкие микробальные пленки и маты и порождают определенные осадочные структуры. Микробиалиты — органоседиментационные структуры, возникающие в результате взаимодействия микробов с окружающей средой и являющиеся результатом процессов органоминерализации. Эти процессы приводят к структурам ранней литификации, которые подразделяются согласно классификации Р. Райдинга [7] на три главные категории микробиалитов: строматолиты (ламинарные), тромболиты (сгустковые) и лейолиты (бесструктурные). В нашем исследовании особое внимание уделяется строматолитам и онколитам, характеризующимся слоистыми макротекстурами, образуемыми эпизодической аккрецией путем улавливания, связывания и цементации зерен биопленками, а также прямым осаждением внутри экзополимерной субстанции, выделяемой микробиальными матами, или на ее поверхности. Онколиты отличаются от строматолитов, тем, что являются продуктом неприкрепленных к дну бентосных микробиальных сообществ.

Несмотря на то, что за рубежом существует довольно обширная литература по данным микробиалитам, у нас они остаются еще достаточно малоизученными. Исследование микробиальных построек и в частности юрских строматолитов и онколитов проводится нами уже сравнительно давно в разных регионах: Москве, Московской, Костромской, Нижегородской и Оренбургской областях [1-4]. В последнее время начато изучение палеогеновых микробиалитов Поволжья. За это время из различных обнажений была собрана их представительная коллекция, различающихся как по форме, так и по составу [3]. Они образуют как одиночные тела разнообразной формы и размеров, так и скопления, по форме разделяются на пластообразные, линзовидные, куполовидные, желваковые, столбообразные и округло-шаровидные постройки. Состав построек чаще всего карбонатный, но отмечаются также железистые, глауконитовые, фосфатные и кремнистые. Иногда в них наблюдается переслаивание светлых карбонатных слойков осажденных цианобактериями, бурых железистых, отложенных железобактериями, а также шамозита, иногда фосфата и др., т.е. совершенно разных по составу и осаждавшихся в различных pH и Eh условиях. Это косвенно свидетельствует, что они могли формироваться одновременно в разных слоях (занятых

различными бактериями и цианобактериями) единого микробиального мата, а затем после перерыва и возобновления жизнедеятельности мата все это многократно повторялось.

Онколиты представляют собой концентрически слоистые шаровидные образования. Юрские разновидности – это желто-бурые ооиды с тонкопереслаивающимися слоями или ламинами карбонатного вещества, шамозита, гетита, гидрогетита с подчиненными количествами фосфата и кремнезема. Форма их чаще всего овальная, реже сферическая, нередко неправильная, угловатая, сплюснутая или миндалевидная, присутствуют также их фрагменты, обросшие новыми ламинами. Слои разной толщины (2-20 мкм), с неровными границами, разной окраской слоев. Ядром служат минералы, биокласты и обломки самих онколитов. Вмещающими породами служат глины, мергели и пески среднего и верхнего келловея, а также серые глины низов оксфорда, содержатся ооиды и в фосфоритовых конкрециях этих возрастов. Отложения часто лежат непосредственно на расчлененных, подвергшихся интенсивному выветриванию и карсту, каменноугольных отложениях, которые и были источником железа для них.

Изученные ранее юрские строматолитовые постройки Европейской России, относятся, согласно классификации М.Е. Раабен [5], к морфологическим типам желваковых и пластовых строматолитов и приурочены к различным свитам среднего келловея-оксфорда [1, 2]. Постройки сложены тонкими чередующимися слоями известкового вещества (от микрона до 1-2 мм), иногда ожелезненного, пиритизированного, глауконита и фосфата, редко нацело фосфатны. Слойки четкие, волнистые, с выпуклыми вверх наслоениями, иногда распадающиеся на короткие микростолбики. Продуцентами являются преимущественно цианобактерии в сообществе с различными бактериями (В СЭМ наблюдаются минерализованные чехлы нитей и остатки гликокаликса). В постройках могут присутствовать красные водоросли (соленопоровые). Келловейские и нижнеоксфордские строматолиты – желваки, корки и пластовые постройки (от первых см до 15-25 см), иногда соединяющиеся общими наслоениями, нередко повторяющими палеорельеф дна. На постройках отмечаются серпулиды, двустворки, гастроподы, во вмещающем осадке встречаются остатки головоногих (морские условия), по характеру осадка – в нижней части литоральной зоны с периодически активной гидродинамикой и частично в сублиторальной зоне с более спокойными условиями. Среднеоксфордские постройки представлены бугристыми полусферами и желваками (10-25 см), на которых обычно наблюдаются серпулиды, двустворки, гастроподы, брахиоподы, морские ежи и стеногалинные корневые части стеблей Cyclocrinus insignis (Trautschold) (нормальная соленость). Во вмещающем осадке обычны остатки аммонитов и белемнитов. Постройки наклонены, перевернуты, иногда неоднократно (мелководные условия, с активной гидродинамикой). Они образовались в литоральной зоне с изменчивой гидродинамикой бассейна на неровном нестабильном субстрате. Верхнеоксфордские строматолиты представляют собой своеобразные комплексы отдельных желваков не очень больших размеров и пластовых образований (мощностью 0,05-0,2 м) в значительной степени глауконитовых по составу, залегающих прямо на глине, либо на остатках макрофауны (желваки), протягивающиеся не прерываясь десятки метров. На них и в осадках отмечаются многочисленные остатки гастропод, двустворок, брахиопод, аммонитов и белемнитов, что дополнительно свидетельствует о фотической зоне их формирования. Данные строматолиты относятся к микритовым строматолитам по классификации Р. Райдинга и формировались в преимущественно тиховодной обстановке почти нулевой седиментации в слабо восстановительной среде, что подтверждается их составом. Вероятно, они отлагались в дистальных частях сублиторали. По изменению состава вмещающих осадков за рассматриваемый период (келловей-оксфорд), можно заключить, что происходило очень медленное погружение территории, что способствовало росту биогермов и лишь в конце позднего оксфорда, вероятно, глубина увеличилась настолько, что все приподнятые участки

дна оказались ниже фотической зоны и строматолитообразование прекратилось. Это подтверждается также общим нарастанием трансгрессивных тенденций в это время на Восточно-Европейской платформе.

Особым случаем являются фосфатные кимериджские столбчатые строматолиты долины р. Сухой Песчанки (недалеко от Соль-Илецка) [2] и внешне похожие на них неветвящиеся (редко расщепленные) палеогеновые столбчатые строматолиты Камышина, которые состоят в основном из сцементированных оксидом кремния зерен кварца. [4]. Кимериджские столбчатые строматолиты, вероятно, возникли на границе литоральной и сублиторальной зон в условиях периодически активной гидродинамики, с существенными поставками терригенного осадочного материала, возможно, в том числе эолового происхождения, поступавшего в бассейн и отлагавшегося одновременно с нарастанием строматолитов. Он обуславливал разобщение строматолитовых построек, их столбообразную форму, что давало возможность ссыпаться излишнему кластическому материалу с построек в промежутки между ними. Все столбики первоначально сформированы на крупных ядрах макрофауны, предопределивших их изначально куполообразную форму и возможно обеспечивших им питательную среду на раннем этапе. Вероятно, слойки сразу после отложения фосфатизировались путем бактериально опосредованного осаждения аморфного фосфата кальция, процесс минерализации происходил синседиментационно или во время самой ранней стадии диагенеза сразу после деградации и переработки органического вещества отмирающего микробиального мата и захваченных распадающихся макрофаунистических остатков нарастающим сверху матом.

Камышинские палеоценовые строматолиты представляют собой субцилиндрические вертикальные столбики различного размера: подавляющее большинство среднего размера – диаметром 10-20 см не превышающие 1-1,5 м и редкие единичные диаметром 30-50 см высотой 1-2,5 м. Сечения столбиков часто с четкой слоистостью неравномерной толщины, подчеркнутой чередованием темных и светлых куполовидных слойков (ожелезнение). Иногда она затушевывается окварцеванием, видимо более поздним, от строматолитов остаются лишь тени. Степень окварцевания очень сильно различается в пределах одного массива. Иногда очень заметен контраст плотности вмещающей породы, стенок и менее плотных строматолитовых столбиков. Более сильное окварцевание отчетливо выделяется более светлым цветом. Вероятно, они формировались в сходных с кимериджскими условиях и были первоначально карбонатными, а впоследствии окварцеваны.

Выводы

1. Онколиты, формировались в крайне мелководных обстановках близ поверхности раздела вода-осадок в изменчивых окислительно-восстановительных условиях при достаточно активном гидродинамическом режиме.
2. Строматолиты, в зависимости от формы, формировались в литоральных, сублиторальных и промежуточных условиях.
3. Рост наслоений порождался чередованием аккреции за счет седиментации и нарастанием новой пленки мата.

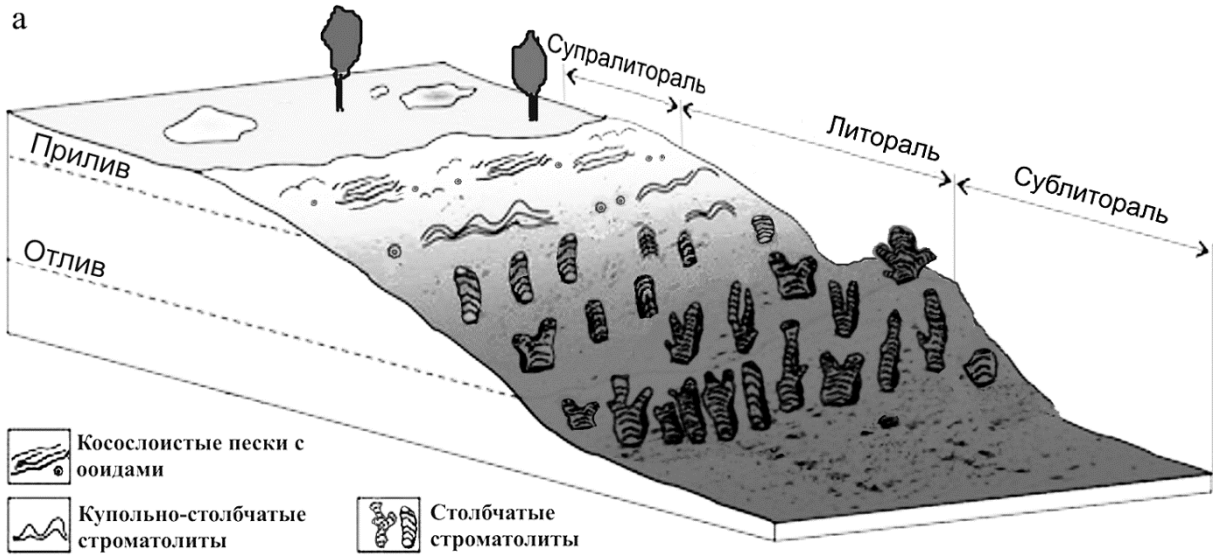


Рисунок 1. Реконструкция обстановок осадконакопления существовавших во время формирования микробиальных построек

Библиография

1. Малёнкина С.Ю. Юрские строматолиты Восточно-Европейской платформы: новые местонахождения, морфология построек и среда их формирования // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Третье Всерос. совещание: научные материалы. Саратов: Изд. центр «Наука», 2009. С. 129-132.

2. Маленкина С.Ю. Юрские микробиальные постройки Русской Плиты: органоминерализация и породообразующие организмы // Водоросли в эволюции биосферы. Серия «Гео-биологические системы». М.: ПИН РАН. 2014. С. 170-186.

3. Маленкина С.Ю. Уникальная коллекция юрских строматолитов Европейской России как потенциал для экспозиции в Музее землеведения МГУ // Дубинин Е. П. (ред.). Наука в вузовском музее: Материалы ежегодной Всероссийской научной конференции с международным участием. Москва, 12–14 ноября 2019 г. М.: Макс-Пресс. С. 77-81.

4. Маленкина С. Ю., Иванов А. В. Проблема генезиса палеогеновых столбчатых строматолитов местонахождения Камышинские уши // Геология морей и океанов: Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. — Т. 4. — ИО РАН Москва: 2023. — С. 67–71.

5. Раабен М.Е. Строматолиты // Розанов А. Ю. (ред.). Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. С. 52–58.

Riding R. Microbialites, stromatolites, and thrombolites // Encyclopedia of Geobiology. Encycl. of Earth Science Series. Springer. Heidelberg: 2011, P. 635

Новые данные о находках эпибионтов на раковинах спириферид Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed) из фаменского яруса Северо-Западного Каратау (Центральный Казахстан)

Меркулов И.Е.* (МГРИ, Ivanmerkulov20092005@gmail.com),
Шалимова Т.И. (МГРИ, tan.shalimova@yandex.ru)

Аннотация

Приведены данные о находках эпибионтов (мшанок и микроконхид) на раковинах спириферид Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed) из хантагинской свиты (нижний фамен) бассейна реки Хантаги (северо–западный Каратау, Центральный Казахстан).

На долю раковин с мшанками приходится 11,1% от общего числа изученных образцов Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed). Столько же приходится и на долю раковин с микроконхидами. Это свидетельствует о довольно частом использовании мшанками и микроконхидами раковин спириферид в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о довольно большом числе обрастателей в палеобиоценозах.

Ключевые слова

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, спириферииды, фаменский ярус, Каратау, Центральный Казахстан

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов [1–18]. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии.

Материалом для данного исследования послужила коллекция спириферид Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed) численностью 18 экземпляров, находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция была собрана О.В. Юферевым в бассейне реки Хантаги на юго–западных склонах северо–западного Каратау (Центральный Казахстан). Материал происходит из аккузской пачки (хантагинская свита, нижний фамен). Брахиоподы представлены раковинами хорошей сохранности.

При детальном анализе имеющихся материалов на трёх раковинах Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed) (что составляет 16,7% от общего числа изученных экземпляров) были найдены мшанки и микроконхиды (рис. 1). На одной раковине эти эпибионты были обнаружены совместно.

Мшанки обнаружены в центральной части брюшных створок у двух экземпляров (11,1% от общего числа).

Среди мшанок нами выявлен один морфотип – ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке (рис. 1, фиг. *1*), по архитектуре очень напоминающие род Eridotrypa, известный из ордовикских, силурийских и девонских отложений различных регионов мира.

На каждом образце выявлена только одна колония мшанок. Размеры мшанок составляют 3,0 мм и 5,0 мм соответственно.

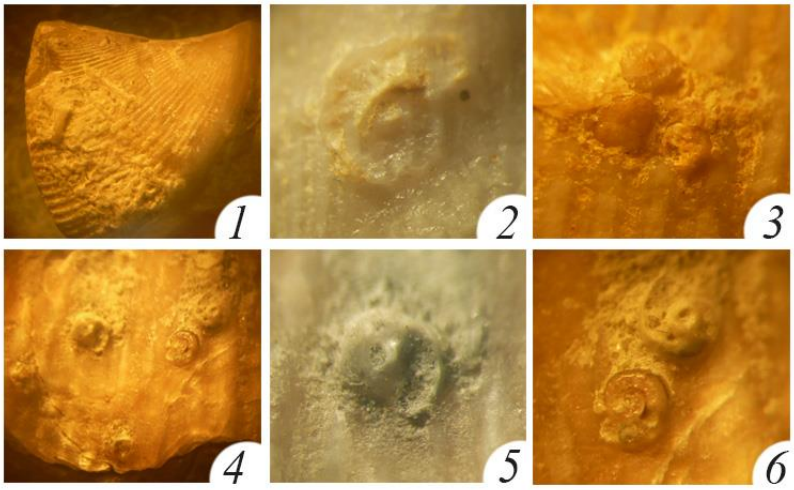


Рисунок 1. Эпибионты на раковинах спириферид Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed): *1* – мшанки рода Eridotrypa; *2–6* – микроконхиды Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby). Верхний девон, нижнефаменский подъярус, хантагинская свита; бассейн реки Хантаги, северо–западный Каратау, Центральный Казахстан. Увеличено

Среди микроконхид нами предварительно установлен один вид – Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby, 1839) (рис. 1, фиг. *2–6*). У нас не вызывает никакого сомнения то, что систематический состав обнаруженных микроконхид шире указанного. Следует отметить, что для более точной диагностики эпибионтов необходимы прозрачные ориентированные шлифы и использование методов томографии.

Трубки Palaeoconchus cf. tenuis обнаружены на двух раковинах (11,1% от общего числа). На спинной створке одного экземпляра выявлено шесть трубок, расположенных у переднего края раковины. На другом образце на брюшной створке выявлено шесть трубок, расположенных в синусе у переднего края, а на спинной створке найдена одна трубка, расположенная в центре створки. Всего, таким образом, зафиксировано 13 палеоконхусов.

Микроконхиды обычно располагаются на небольшом расстоянии друг от друга. Иногда они образуют очень плотные поселения, касаясь друг друга, а иногда и нарастая друг на друга (рис. 1, фиг. *3*).

Среди Palaeoconchus cf. tenuis отмечены лишь спиральные трубки, округлые в плане. Обычно трубки полностью или частично вскрыты. Целых трубок меньше.

Насколько можно судить по экземплярам хорошей сохранности, большинство трубок характеризуются гладкой наружной поверхностью.

На одной трубке наблюдались тончайшие линии роста, расположенные примерно через 0,07 мм друг от друга.

Размеры наблюдаемых Palaeoconchus cf. tenuis варьируют от 0,4 мм до 2,8 мм, но обычно составляет 0,5–1,5 мм в диаметре. В [18] размеры аналогичных раковин составляют 0,8–2,9 мм.

Максимальный замеренный диаметр трубки в области апертуры составляет порядка 0,9 мм, обычно он меньше.

Интересным является решение вопроса о том, прикреплялся ли эпибионт к скелету другого организма при его жизни или уже после гибели. В первом случае обе формы (и служащая субстратом, и прикрепившаяся) являются представителями одного палеобиоценоза и могут дать неоценимый материал для фациальных реконструкций. Во втором случае заключения, базирующиеся на экологическом исследовании обеих форм, были бы ошибочными, поскольку организм, являвшийся субстратом, мог не только не входить в состав

данного комплекса, но и иметь значительно более древний возраст. Чётким указанием на прикрепление при жизни служащего субстратом животного является расположение приросших существ на периферийных частях раковин, обеспечивающее лучшие условия питания при функционировании организма–субстрата. Свидетельством поселения прикреплённых беспозвоночных на остатках отмерших организмов являются их находки на внутренних участках этих скелетных образований или на тех поверхностях, которые при жизни организма были закрыты мягким телом. Прикрепление к раковинам глубоко зарывавшихся беспозвоночных также возможно только после их смерти. Прикрепление микроконхид, расположенных вблизи переднего края раковин, без сомнения было прижизненным. Расположение микроконхид на обеих створках раковины Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed), а также прикрепление мшанок к центральной части раковин допускает как прижизненное, так и посмертное прикрепление эпибионтов.

Выводы

На долю раковин с мшанками приходится 11,1% от общего числа изученных образцов Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed). Столько же приходится и на долю раковин с микроконхидами, что свидетельствует о довольно частом использовании мшанками и микроконхидами раковин спириферид в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о довольно большом числе обрастателей в палеобиоценозах.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вайтиева Ю.А., Качалина М.Д., Волкова Е.А., Комаров В.Н. О находках сверлильщиков и эпибионтов на раковинах среднепермских продуктид Aulosteges horrescens (Verneuil) (Brachiopoda) из окрестностей села Байтуган (Самарская область) // Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: геология, геотектоника, геодинамика, региональная геология, палеонтология. Материалы XVI Международной научно–практической конференции “Новые идеи в науках о Земле”. Т.1. М.: МГРИ. 2023. С. 236–239.
3. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
4. Драгина К.А, Исаева С.А., Комаров В.Н. К вопросу об объективности палеонтологических выводов - новые данные о находках мшанок на полипняках Thamnopora rigida Sokolov (Favositida) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 107. С. 319–333.
5. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
6. Кальбова П.И., Вайтиева Ю.А., Сёмина Р.И., Царев Р.В., Комаров В.Н. Атрипиды Iowatrypa timanica (Markovsky) и эпибиоз // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М.: “ПАРАДИГМА”, 2024. С. 38–44.
7. Кальбова П.И., Лебедянцева В.Я., Комаров В.Н. О признаках прижизненного и посмертного прикрепления эпибионтов к организму–субстрату // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 101. С. 99–116.
8. Карташова З.Д., Куртикова Е.Л., Комаров В.Н. О находках мшанок на раковинах атиридид Cryptothyrella norilica (Nikiforova) (Brachiopoda) из агидыйского горизонта

(теличский ярус, силур) бассейна реки Верхняя Томба (Якутия) // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 133–149.

9. Карташова З.Д., Куртикова Е.Л., Комаров В.Н. О находках мшанок на раковинах атиридид Athyris kiltitalica Martynova (Brachiopoda) из нижнего фамена бассейна реки Хантаги (Центральный Казахстан)// Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 178–192.

10. Комаров В.Н., Верба Т.И., Вайтиева Ю.А. Спириферіды Licharewia rugulata и эпибиоз // Природа. 2023. № 8. С. 41–47.

11. Комаров В.Н., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Брахиоподы Estonirhynchia estonica острова Сааремаа // Природа. 2023. № 4. С. 60–65.

12. Комаров В.Н., Самохвалов С.А., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Датские рожицы: крымские краниды – взгляд из глубины времён // Природа. 2023. № 1. С. 42–49.

13. Короленко П.С., Миронова Д.Н., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на полипняках Thamnopora rigida Sokolov (Favositida) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 96. С. 41–56.

14. Куртикова Е.Л., Карташова З.Д., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на раковинах атиридид Cryptothyrella norilica (Nikiforova) (Brachiopoda) из агидыйского горизонта (теличский ярус, силур) бассейна реки Верхняя Томба (Якутия) // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 154–168.

15. Серяева А.Р., Трайдова Л.С., Комаров В.Н. Новые данные о находках эпибионтов на полипняках Thamnopora rigida Sokolov (Favositida) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 107. С. 305–318.

16. Тарасов Д.А., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на раковинах атиридид Athyris kiltitalica Martynova (Brachiopoda) из нижнего фамена бассейна реки Хантаги (Центральный Казахстан) // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 112–126.

17. Шалимова Т.И., Меркулов И.Е., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на раковинах брахиопод Cyrtospirifer (Cyrtospirifer) pamiricus pamiricus (Reed) из фаменского яруса северо–западного Каратау (Центральный Казахстан) // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 209–218.

18. Vinn O., Wilson M.A. Microconchid–dominated hardground association from the Late Pridoli (Silurian) of Saaremaa, Estonia // Palaeontologia Electronica. 2010. No 13.2.9A. P. 1–12.

О случаях совместного обитания эпибионтов и сверлильщиков на организме-субстрате

Ширяева П.В. (МГРИ, polsha0000000@gmail.com),*
Монгуш А.Э. (МГРИ, mo.al.00@inbox.ru)

Аннотация

Приведены новые данные о случаях совместного обитания эпибионтов на раковинах брахиопод, а также на кораллитах и полипняках кораллов.

Ключевые слова

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, брахиоподы, табуляты, четырёхлучевые кораллы

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии. В общем комплексе проблем эпибиоза существенное значение имеет решение вопроса о случаях и особенностях совместного нахождении различных эпибионтов на организме–субстрате. Проведённые нами в последние годы исследования эпибиоза [1–4] позволяют сделать следующие выводы.

У ринхонеллид Estonirhynchia estonica H. Schmidt (венлокский ярус; Эстония, остров Сааремаа, клиф Парамайя) эпибионты обнаружены на 27 экземплярах. На 10 раковинах (что составляет 37% от всех образцов с эпибионтами) различные обрастатели обнаружены совместно (рис. 1, фиг. *1*). На пяти раковинах совместно с Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby) выявлены от одной до двух колоний мшанок. При этом в одном случае крошечная спираль непосредственно контактирует с мшанкой, что можно трактовать, как поселение палеоконхуса у края колонии (рис. 1, фиг. *1а*). На четырёх спинных створках Estonirhynchia estonica совместно с микроконхидами обнаружены четыре раковины краниид Petrocrania gracilis (Huene) (рис. 1, фиг. *1б*).

Очень интересен экземпляр, на котором вместе с четырьмя Palaeoconchus cf. tenuis обнаружена колония табулят Paleofavosites secundus (Klaamann). Помимо этих поселенцев на раковине Estonirhynchia estonica насчитывается не менее 27 мелких, размером 0,9–1,3 мм, раковин краниид Propatella palmaria Holmer, Popov et Basset. На одной раковине Estonirhynchia estonica совместно обнаружены колония мшанок, одна частично разрушенная раковина Petrocrania gracilis (размер 2,8 мм), две раковины Propatella palmaria, не менее 10 Palaeoconchus cf. tenuis, а также единственный обнаруженный Cornulites sp. длиной 1,8 мм. В процессе изучения материала удалось наблюдать случаи многоярусного поселения эпибионтов, когда организмы, прирастающие к ринхонеллидам, в последующем сами оказываются объектами прикрепления для других поселенцев. В одном случае палеоконхус нарастает на мшанку. На двух образцах наблюдалось нарастание палеоконхусов на краниид Petrocrania gracilis. На одном экземпляре выявлено обрастание мшанкой раковины Petrocrania gracilis (Huene), при этом колония с брюшной створки ринхонеллиды переходит через переднюю комиссуру. На 33 экземплярах Estonirhynchia estonica H. Schmidt были обнаружены следы жизнедеятельности сверлящих организмов. Из них на 10 образцах (30% от всех образцов со сверлениями) наблюдались и эпибионты – микроконхиды, сетчатые колонии мшанок размером от 2,0 мм до 8,5 мм, а также краниды Petrocrania gracilis. Сквозные перфорации были зафиксированы на двух раковинах Petrocrania gracilis.

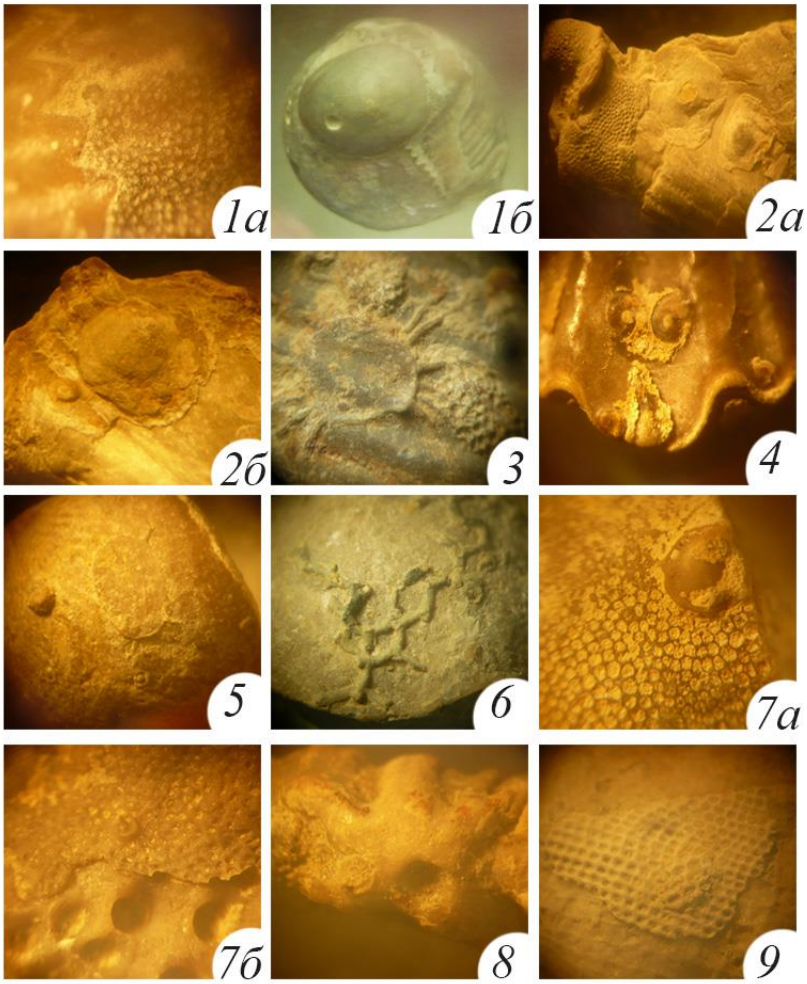


Рисунок 1. Примеры совместного нахождения различных эпибионтов на организме–субстрате. Увеличено

У атиридид Athyris concentrica (Buch) (фаменский ярус, елецкий горизонт; Липецкая область, окрестности города Ельца) эпибионты обнаружены на 132 экземплярах. Лишь на 3 раковинах (что составляет 2,2% от всех образцов с эпибионтами) различные обрастатели (микроконхиды и мшанки) обнаружены совместно. На двух раковинах удалось наблюдать случаи многоярусного поселения эпибионтов. На 59 экземплярах Athyris concentrica (Buch) были обнаружены следы жизнедеятельности сверлящих организмов. Из них лишь на 7 образцах (11,8% от всех образцов со сверлениями) наблюдались и эпибионты (мшанок). У спириферид Licharewia rugulata (Kutorga) (средняя пермь, нижнеказанский подъярус, байтуганские слои; Самарская область, окрестности села Байтуган) эпибионты обнаружены на 549 экземплярах. На шести раковинах (что составляет 1,1% от всех образцов с эпибионтами) различные обрастатели обнаружены совместно. На четырёх раковинах совместно с мшанками обнаружены гастроподы Lepetopsis golowkinskyi Netschajew (рис. 1, фиг. *2*). На одном образце зафиксированы гастроподы Lepetopsis golowkinskyi Netschajew и микроконхиды Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby) (рис. 1, фиг. *2б*). Также на одном образце встречены мшанки и продуктиды (рис. 1, фиг. *3*). На одной раковине удалось наблюдать многоярусное поселение эпибионтов, когда раковина продуктиды прикрепилась к корковой колонии мшанок (рис. 1, фиг. *3*). Следы сверлений обнаружены нами на 9 раковинах Licharewia rugulata (Kutorga). Из

них лишь на одном образце (11,1% от всех образцов со сверлениями) наблюдались и эпибионты (мшанки).

У продуктид Aulosteges horrescens (Verneuil) (средняя пермь, нижнеказанский подъярус, байтуганские слои; Самарская область, окрестности села Байтуган) эпибионты обнаружены на 167 экземплярах. Лишь на одной раковине (что составляет 0,6% от всех образцов с эпибионтами) различные обрастатели обнаружены совместно (мшанки и гастроподы Lepetopsis golowkinskyi Netschajew). Следы жизнедеятельности сверлильщиков обнаружены нами на 16 раковинах Aulosteges horrescens (Verneuil). Ни на одной из них эпибионты не обнаружены. У спириферид Cyrtina praecedens Kozlowski и Howellella angustiplicatus Kozlowski (лохковский ярус, борщовский горизонт; Подолия) эпибионты обнаружены на 19 экземплярах (на 17 раковинах Cyrtina praecedens Kozlowski и на двух раковинах Howellella angustiplicatus Kozlowski). Совместно различные эпибионты были обнаружены на четырёх раковинах (что составляет 23,5% от всех образцов с эпибионтами). На двух раковинах совместно наблюдались микроконхиды и мшанки, и на двух – микроконхиды и корнулиты (рис. 1, фиг. *4*). У атрипид Iowatrypa timanica (Markovsky) (верхний фран, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта, урочище Сирачой) эпибионты обнаружены на 112 экземплярах. Совместно различные эпибионты были обнаружены на 15 раковинах (что составляет 13,3% от всех образцов с эпибионтами). На девяти раковинах совместно наблюдались микроконхиды и мшанки, и на шести – микроконхиды и продуктиды (рис. 1, фиг. *5, 6)*. Следы сверлений обнаружены нами на 7 раковинах Iowatrypa timanica (Markovsky). Из них на четырёх образцах (57,2% от всех образцов со сверлениями) наблюдались и эпибионты (микроконхиды). У фавозитид Thamnopora rigida Sokolov (верхний фран, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта, урочище Сирачой) эпибионты обнаружены на 48 полипняках. На 16 полипняках (что составляет 33,3% от всех образцов с эпибионтами) различные эпибионты были обнаружены совместно. Совместно наблюдались: мшанки Atactotoechus и ветвящиеся колонии (два образца); мшанки Atactotoechus и Leioclema (четыре образца); мшанки Atactotoechus и Leioclema и микроконхиды (шесть образцов); ветвистые мшанки, Atactotoechus и микроконхиды (два образца); ветвистые мшанки, Leioclema и микроконхиды (два образца); мшанки Atactotoechus и микроконхиды (один образец); мшанки Leioclema и микроконхиды (четыре образца); ветвящиеся колонии мшанок и микроконхиды (один образец). В подавляющем большинстве случаев различные эпибионты располагаются на расстоянии друг от друга. Лишь на двух полипняках наблюдалось нарастание микроконхид на колонии мшанок Atactotoechus (рис. 2, фиг. *7*). У четырёхлучевых кораллов Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) (верхний фран, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта, урочище Сирачой) эпибионты обнаружены на 11 образцах. Случаев совместного нахождения различных эпибионтов не выявлено. У четырёхлучевых кораллов Tabulophyllum normale (Walth.) (верхний фран, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта, урочище Сирачой) эпибионты обнаружены на 30 кораллитах. На пяти образцах (что составляет 16,6% от всех образцов с эпибионтами) наблюдалось совместное нахождение микроконхид и мшанок. У четырёхлучевых кораллов Tabulophyllum weberi (Leb.) (верхний фран, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта, урочище Сирачой) эпибионты обнаружены на 237 экземплярах. На 24 кораллитах (что составляет 10,1% от всех образцов с эпибионтами) наблюдалось совместное нахождение микроконхид и мшанок (рис. 1, фиг. *8*). В трёх случаях было зафиксировано прикрепление раковины микроконхиды к корковым колониям мшанок. У одного из образцов на звёздчатой колонии мшанок размером 10,0 мм было отмечено поселение двух микроконхид размером 1,3 и 1,8 мм соответственно (рис. 1, фиг. *8*). На одном экземпляре наблюдалось прикрепление ветвистой колонии мшанок к корковой колонии. У четырёхлучевых кораллов Calophyllum profundum (Germar) (средняя пермь, нижнеказанский подъярус, байтуганские слои; Самарская область, окрестности села Байтуган) эпибионты обнаружены на 125 образцах.

На 7 кораллитах (что составляет 5,6% от всех образцов с эпибионтами) наблюдалось совместное нахождение микроконхид и мшанок. При этом на двух кораллитах зафиксировано прикрепление микроконхид к корковым колониям мшанок, и ещё на двух – поселение одной корковой колонии мшанок на другой (рис. 3, фиг. 9).

Выводы

Число образцов с эпибионтами у разных видов обычно очень невелико (от 0% до 17%). В редких случаях оно превышает треть от общего числа изученных экземпляров (33,3% и 37,0% соответственно). Число образцов с эпибионтами у кораллов значительно больше (на порядок), чем у брахиопод. Исключение составляют лишь ринхонеллиды Estonirhynchia estonica. Случаи многоярусного поселения эпибионтов примерно с одинаковой частотой были встречены и на брахиоподах и на кораллах. Число объектов с многоярусным поселением у разных видов варьирует в очень широких пределах – от 0% до 66,7% от общего числа образцов с эпибионтами. Чаще всего наблюдались случаи прикрепления микроконхид к колониям мшанок (52,6%), а также поселение одних колоний мшанок на других (21,1%). Прямой корреляции между общим числом образцов отдельных видов и числом образцов с многоярусным поселением эпибионтов не выявлено. Так, у Athyris concentrica эпибионты обнаружены только на 2,2% от всех образцов с эпибионтами, однако многоярусное поселение зафиксировано у 66,7% из них. Следы жизнедеятельности сверлильщиков наблюдаются на раковинах разных видов брахиопод совместно с эпибионтами довольно часто (от 0% до 30,0%).

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
3. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
4. Комаров В.Н., Верба Т.И., Вайтиева Ю.А. Спириферидны Licharewia rugulata и эпибиоз // Природа. 2023. № 8. С. 41–47.

Находки эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана

Ширяева П.В.* (МГРИ, polsha0000000@gmail.com),
Монгуш А.Э. (МГРИ, mo.al.00@inbox.ru)

Аннотация

Приведены данные о находках эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) из сирачойской свиты (верхний фран) на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой). На долю кораллитов с мшанками приходится 9,8% от общего числа изученных образцов, на долю кораллитов с микроконхидами – 14,6%, что свидетельствует о довольно частом использовании данными организмами кораллитов Tabulophyllum gorskyi в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о значительном числе мшанок и микроконхид в палеобиоценозах.

Ключевые слова

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, четырёхлучевые кораллы, франский ярус, Южный Тиман

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов [1–10]. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии.

Материалом для данного исследования послужила коллекция четырёхлучевых кораллов Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) численностью 41 экземпляр, находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция была собрана сотрудниками Палеонтологического Бюро на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой) в стратотипическом разрезе сирачойской свиты (верхний фран). Образцы представлены кораллитами хорошей сохранности.

При детальном анализе имеющихся материалов на 11 образцах Tabulophyllum gorskyi (что составляет 26,8% от их общего числа) были найдены различные эпибионты – мшанки, микроконхиды, а также организмы не совсем ясной систематической принадлежности (рис. 1).

Колонии мшанок выявлены на четырёх кораллитах. Среди мшанок нами были выявлены три различных морфотипа.

На трёх образцах зафиксированы мшанки, по всей видимости, принадлежащие к роду Leioclema, Ulrich, 1882. Следует отметить, что мшанки рода Leioclema характеризуются большой пластичностью и изменчивостью своих колоний, способных приспосабливаться к разным условиям обитания. Среди них преобладают ветвистые и обрастающие колонии. Мшанки рода Leioclema прикреплялись к субстрату только начальной частью – стелющимся, обрастающим субстрат основанием, от которого, постепенно поднимаясь вверх, развивалась ветвистая колония. Род Leioclema объединяет много видов, имеющих широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода охватывает интервал от ордовика до триаса.

На одном экземпляре установлена массивная обрастающая корковая колония, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата (рис. 1, фиг. *1*). Возможно, данная колония принадлежит роду

Atactotoechus Duncan, 1939. Он объединяет несколько видов, имеющих сравнительно широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода ограничено средним и верхним девоном.

На двух кораллитах наблюдались тонкие ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных коротких или длинных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке (рис. 1, фиг. *2, 3*). Рассматриваемые колонии, по всей видимости, принадлежат роду Corynotrypa Bassler, 1911. Он насчитывает порядка 26 видов, распространённых в ордовике и силуре Эстонии, а также в интервале от ордовика до перми в США и Западной Европе (Англия, Германия, Норвегия, Польша, Франция, Швеция).

Для точной диагностики мшанок необходимы прозрачные ориентированные шлифы и использование методов томографии.

На двух кораллитах выявлена только одна колония мшанок, на одном – две колонии, и ещё на одном кораллите – три колонии.

Размеры колоний рода Leioclema составляют 1,0; 1,2 и 2,2 мм. Размер корковой колонии достигает 8,0 мм. Размеры тонких ветвящихся колоний мшанок составляют 12,0; 13,0 и 17,0 мм. Обычно мшанки занимают относительно небольшие участки кораллитов.

В одном случае наблюдалось совместное нахождение рода Leioclema и корковой колонии. На одном кораллите зафиксировано совместное прикрепление рода Leioclema и тонкой ветвистой колонии. Совместное нахождение мшанок и микроконхид не наблюдалось. Факты нарастания колоний мшанок друг на друга не зафиксированы.

Микроконхиды установлены на шести кораллитах. Среди них нами предварительно установлены два вида – Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby, 1839) и Microconchus sp. У нас не вызывает никакого сомнения то, что систематический состав обнаруженных микроконхид шире указанного. Для их точной диагностики необходимо использование сканирующего электронного микроскопа.

Трубки Palaeoconchus cf. tenuis обнаружены на пяти кораллитах (рис. 1, фиг. *4, 5*). На четырёх образцах выявлено по одной трубке. На двух экземплярах наблюдалось по две трубки. Всего, таким образом, выявлено восемь трубок палеоконхусов.

Расположение трубок различно. Когда к кораллиту прикреплена одна трубка, она, естественно, располагается с какой–то одной его стороны. Когда к кораллиту прикреплены две трубки, они всегда располагались с разных сторон кораллита. Микроконхиды всегда располагаются на значительном расстоянии друг от друга.

Среди Palaeoconchus cf. tenuis отмечены лишь спиральные, округлые в плане трубки. Тем не менее, следует отметить, что сохранность большинства Palaeconchus cf. tenuis недостаточно хорошая и потенциально имевшиеся распрямлённые части трубок, возможно, могли быть обломаны. Четыре полые трубки Palaeoconchus cf. tenuis частично или полностью вскрыты и заполнены вмещающей породой. Три трубки сохранились целыми. Насколько позволяет судить сохранность, трубки характеризуются гладкой наружной поверхностью (рис. 1, фиг. *5*).

Размеры изученных Palaeoconchus cf. tenuis обычно варьируют в пределах от 1,1 мм до 2,0 мм. Самая крупная трубка имеет размер 2,4 мм (рис. 3, фиг. *4*). Максимальный диаметр трубки в области апертуры у этой раковины составляет 0,6 мм. В [10] размеры аналогичных раковин составляют 0,8–2,9 мм.

На одном кораллите обнаружена изогнутая вскрытая трубка, по всей видимости, принадлежащая роду Microconchus Murchison, 1839 (рис. 1, фиг. *6*). Длина трубки составляет 3,1 мм, а диаметр в области апертуры – 0,34 мм. На одном кораллите выявлена тонкая пателловидная низкоконическая колпачковидная раковина эпибионта. Она имеет диаметр 1,3 мм и характеризуется округлой апертурой. Вершина центральная. Боковые участки раковины уплощены. Поверхность с тончайшими концентрическими кольцами нарастания.

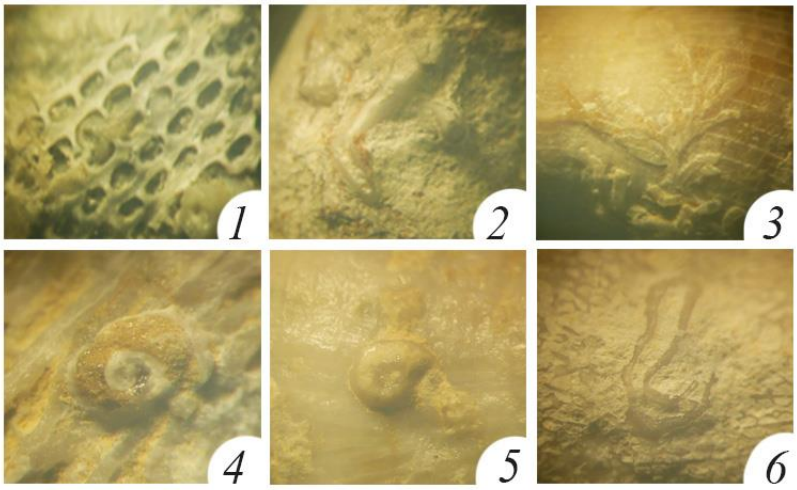


Рисунок 1. Эпибионты на кораллитах Tabulophyllum gorskyi. Верхний девон, верхнефранский подъярус, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта (урочище Сирачой). Увеличено

Данная окаменелость, по всей видимости, относится к гастроподам. Однако необходимо отметить, что похожую низкоконическую форму раковины потенциально могли иметь и беззамковые брахиоподы – краниды. Для окончательного решения вопроса о систематической принадлежности обнаруженного колпачковидного эпибионта необходимо будет в будущем использовать методы томографии.

Интересным является решение вопроса о том, прикреплялся ли эпибионт к скелету другого организма при его жизни или уже после гибели. В первом случае обе формы (и служащая субстратом, и прикрепившаяся) являются представителями одного палеобиоценоза и могут дать неоценимый материал для фациальных реконструкций. Во втором случае заключения, базирующиеся на экологическом исследовании обеих форм, были бы ошибочными, поскольку организм, являвшийся субстратом, мог не только не входить в состав данного комплекса, но и иметь значительно более древний возраст. Чётким указанием на прикрепление при жизни служащего субстратом животного является расположение приросших существ на периферийных частях раковин, обеспечивающее лучшие условия питания при функционировании организма–субстрата. Свидетельством поселения прикреплённых беспозвоночных на остатках отмерших организмов являются их находки на внутренних участках этих скелетных образований или на тех поверхностях, которые при жизни организма были закрыты мягким телом. Прикрепление к раковинам глубоко зарывавшихся беспозвоночных также возможно только после их смерти.

Поселение изученных мшанок, на наш взгляд, было прижизненным. Об этом может свидетельствовать их прикрепление к кораллитам с неразрушенной эпитекой, а также расположение некоторых колоний с разных сторон кораллитов.

Прикрепление изученных микроконхид могло быть как прижизненным, так и посмертным. В пользу прижизненного прикрепления трубок говорит их расположение на кораллитах хорошей сохранности с сохранившейся эпитекой.

В пользу посмертного прикрепления говорит расположение палеоконхусов на кораллитах с разрушенной внешней стенкой, а также расположение трубки в чашке кораллита.

Выводы

На долю кораллитов с мшанками приходится 9,8% от общего числа изученных образцов, на долю кораллитов с микроконхидами – 14,6%, что свидетельствует о довольно

частом использовании мшанками и микроконхидами кораллитов Tabulophyllum gorskyi в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о значительном числе мшанок и микроконхид в палеобиоценозах.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
3. Вологина А.С., Молодова В.Д., Комаров В.Н. Четырёхлучевые кораллы Tabulophyllum weberi и эпибиоз // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М.: “ПАРАДИГМА”, 2024. С. 18–24.
4. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
5. Кальбова П.И., Вайтиева Ю.А., Сёмина Р.И., Царев Р.В., Комаров В.Н. Атрипиды Iowatrypa timanica (Markovsky) и эпибиоз // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М.: “ПАРАДИГМА”, 2024. С. 38–44.
6. Комаров В.Н., Верба Т.И., Вайтиева Ю.А. Спириферииды Licharewia rugulata и эпибиоз // Природа. 2023. № 8. С. 41–47.
7. Комаров В.Н., Волкова Е.А., Качалина М.Д. О находках краниид (Brachiopoda) на раковинах венлокских ринхонеллид на о. Сааремаа (Эстония) // Био- и геособытия в истории Земли. Этапность эволюции и стратиграфическая корреляция. Материалы LXIX сессии Палеонтологического общества при РАН. СПб. Картфабрика ВСЕГЕИ, 2023. С. 62–63.
8. Комаров В.Н., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Брахиоподы Estonirhynchia estonica острова Сааремаа // Природа. 2023. № 4. С. 60–65.
9. Комаров В.Н., Самохвалов С.А., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Датские рожицы: крымские крании – взгляд из глубины времён // Природа. 2023. № 1. С. 42–49.
10. Vinn O., Wilson M.A. Microconchid–dominated hardground association from the Late Pridoli (Silurian) of Saaremaa, Estonia // Palaeontologia Electronica. 2010. No 13.2.9A. P. 1–12.

Новые данные о находках эпибионтов на брахиоподах Retzia macula Martynova из нижнего фамена бассейна реки Хантаги (Центральный Казахстан)

Трайдова Л.С. (МГРИ, traidova-l@yandex.ru)*

Аннотация

Приведены данные о находках эпибионтов (мшанок, корнулитид и микроконхид) на раковинах брахиопод Retzia micula Martynova из хантагинской свиты (нижний фамен) бассейна реки Хантаги (северо–западный Каратау, Центральный Казахстан).

На долю раковин с мшанками приходится 2,4% от общего числа изученных образцов Retzia micula, с корнулитидами – 1,5%, с микроконхидами – 12,3%, что может свидетельствовать о преобладании среди эпибионтов в палеобиоценозах микроконхид.

Ключевые слова

Эпибионты; мшанки; корнулитиды; микроконхиды; брахиоподы; Retzia micula; хантагинская свита; нижний фамен; река Хантаги; северо–западный Каратау; Центральный Казахстан

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов [1–5]. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии.

Материалом для данного исследования послужила коллекция брахиопод Retzia micula Martynova, 1961 численностью 463 экземпляра, находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция была собрана О.В. Юферевым в бассейне реки Хантаги в северо–западном Каратау (Центральный Казахстан). Материал происходит из аккузской пачки (хантагинская свита, нижний фамен). Брахиоподы представлены раковинами хорошей сохранности.

При детальном анализе имеющихся материалов на 65 раковинах Retzia micula (что составляет 14,0% от их общего числа) были найдены различные эпибионты – мшанки, корнулитиды и микроконхиды.

Мшанки обнаружены на 11 экземплярах Retzia micula – на девяти брюшных и на трёх спинных створках. Приведённые данные показывают, что мшанки предпочитали селиться на брюшной створке. Это выглядит естественным, так как спинная створка у Retzia micula была более плоская и именно на ней брахиоподы предпочитали лежать на грунте. Среди мшанок нами были выявлены три различных морфотипа. Чаще всего (на восьми образцах) нами наблюдались довольно тонкие ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных коротких или длинных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке (рис. 1, фиг. *1*). Подобные колонии по архитектуре напоминают род Corynotrypa, насчитывающий порядка 26 видов. На двух образцах зафиксированы мшанки в виде относительно толстых массивных ветвей, по всей видимости, принадлежащие к роду Leioclema (рис. 1, фиг. *2*). Мшанки рода Leioclema прикреплялись к субстрату только начальной частью – стелющимся, обрастающим субстрат основанием, от которого, постепенно поднимаясь вверх, развивалась ветвистая колония. Род Leioclema объединяет много видов, имеющих широкое географическое распространение. На двух экспонатах наблюдались массивные обрастающие корковые сетчатые колонии, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата (рис. 1, фиг. *3*). Подобные мшанки, по всей видимости,

относятся к роду Atactotoechus, объединяющему несколько видов, имеющих сравнительно широкое географическое распространение. На 10 образцах выявлена одна колония мшанок, на одном экспонате – две колонии. Всего, таким образом, обнаружено 12 колоний мшанок.

Примерно у 64% образцов колонии располагаются в центральной части створок. На остальных экземплярах мшанки наблюдались вблизи комиссуры вблизи переднего или боковых краёв и иногда строго ограничены комиссурой. Величина тонких ветвящихся колоний мшанок меняется от 1,3 мм до 12,5 мм. Среди них преобладают колонии, имеющие длину 4,0–5,7 мм. Размеры ветвистых колоний меняются от 1,2 мм до 5,0 мм. Размеры массивных корковых колоний варьируют от 2,4 мм до 3,0 мм.

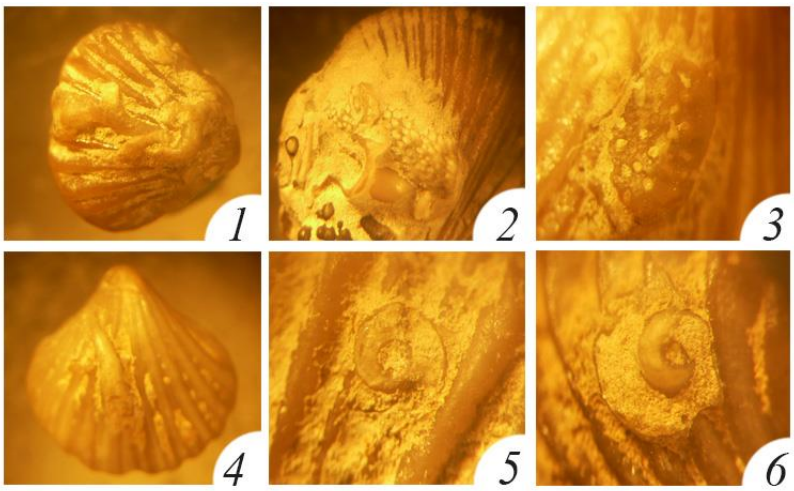


Рисунок 1. Эпибионты на брахиоподах Retzia micula: *1–3* – мшанки; *4* – корнулитиды; *5–6* – микроконхиды. Верхний девон, нижнефаменский подъярус, хантагинская свита; северо–западный Каратау, Центральный Казахстан. Увеличено

Корнулитиды Cornulites Schlotheim, 1820 обнаружены на семи образцах – на трёх брюшных и пяти спинных створках (рис. 1, фиг. *4*). При этом на одном экземпляре они одновременно встречены на обеих створках. Эти данные показывают, что корнулитидам в целом было всё равно, на какой створке брахиопод поселятся. На четырёх образцах наблюдался один корнулит. На трёх раковинах их обнаружено по два. Всего, таким образом, выявлено 10 корнулитов. Корнулитиды всегда располагаются вблизи переднего края раковин Retzia micula. Трубки правильной конической формы, стелющиеся по поверхности створок. Большинство из них прямые, обычно направленные строго в сторону переднего края раковин брахиопод. В этом случае трубки, как правило, расположены в межрёберных промежутках и в сторону переднего края быстро расширяются вслед за расширяющимися межрёберными промежутками. Три трубки ориентированы косо по отношению к рёбрам. На одной спинной створке Retzia micula наблюдалась очень необычная ориентировка двух трубок корнулитов (длиной 0,8 и 3,3 мм соответственно) устьем в сторону от переднего края. Большинство трубок целые или немного вскрытые в передней части. Лишь один корнулит вскрыт почти на всю длину. На корнулитах наблюдались отчётливые линии роста. Они совпадают с пережимами и придают трубкам характерное чётковидное строение. Расстояние между линиями роста составляет 0,25–0,34 мм. Длина изученных Cornulites варьирует от 0,5 до 4,0 мм. Преобладания трубок какой–то определённой величины не отмечено. Диаметр апертуры у изученных экземпляров достигает 0,9 мм.

Среди микроконхид нами установлен один вид – Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby, 1839) (рис. 1, фиг. *5–6*). Трубки Palaeoconchus cf. tenuis обнаружены на 57 раковинах Retzia

micula – на 45 брюшных створках (что составляет 78,9% от общего числа образцов с микроконхидами) и на 12 спинных створках. При этом на 10 образцах микроконхиды выявлены сразу на обеих створках раковины. Приведённые данные показывают, что микроконхиды предпочитали селиться на брюшной створке. Всего обнаружено не менее 113 палеоконхусов. У раковин брахиопод, покрытых микроконхидами с обеих сторон, число последних немного больше на брюшных створках (22 трубки), чем на спинных створках (18 трубок). Обычно микроконхид на створках немного. Наибольшее число трубок на одной створке девять. На одной раковине максимально наблюдалось также девять трубок. Микроконхиды почти в равных пропорциях прикреплены либо вблизи комиссуры, либо в центральной части створок. У трёх экземпляров зафиксированы гирлянды микроконхид и отчётливое уменьшение размеров трубок по мере приближения к переднему краю раковины. Обычно раковины микроконхид расположены на некотором расстоянии друг от друга. Иногда они соприкасаются. Крошечные трубки Palaeoconchus cf. tenuis обычно наблюдались в межрёберных промежутках. Впоследствии, по мере увеличения размера трубок, они переходили и на поверхность рёбер. Тем не менее, на довольно многих образцах видно, что трубки изначально прикреплялись к поверхности рёбер. Почти все Palaeoconchus cf. tenuis характеризуются плоскоспиральными округлыми в плане трубками. Целые трубки Palaeoconchus cf. tenuis встречаются немного чаще частично или полностью вскрытых, заполненных вмещающей породой трубок. Насколько можно судить по экземплярам хорошей сохранности, трубки почти всегда характеризуются гладкой наружной поверхностью. Лишь у одного экземпляра наблюдались тончайшие линии роста, расположенные примерно через 0,14 мм. Размеры Palaeoconchus cf. tenuis варьируют от 0,1 до 2,7 мм, но обычно составляют 0,2–1,8 мм в диаметре. Максимальный замеренный диаметр трубки в области апертуры составляет 0,52 мм, обычно он меньше.

Поселение мшанок на изученных брахиоподах могло быть как прижизненным, так и посмертным. О прижизненном прикреплении свидетельствуют находки колоний мшанок в непосредственной близости от комиссуры. На посмертный характер прикрепления может указывать расположение мшанок в центральной части створок. Вне всякого сомнения, о прижизненном прикреплении корнулитид свидетельствует их расположение у переднего края раковин и ориентировка устьем в его сторону. О посмертном обрастании говорит ориентировка трубок корнулитов устьем в сторону от переднего края. Прикрепление изученных микроконхид могло быть как прижизненным, так и посмертным. В пользу прижизненного прикрепления свидетельствуют расположение многих из них у самого края передней комиссуры, гирляндный характер расположения трубок, а также отчётливое уменьшение размеров трубок по мере приближения к переднему краю раковин Retzia micula. Поселение вдоль периферии створок брахиопод–хозяек связано с выгодой, которую Palaeoconchus получали именно вблизи комиссуры, когда обновление воды за счёт находившихся в постоянном движении ресничек лофофора брахиоподы было практично для питания, дыхания и, возможно, очищения от ненужных частичек донных отложений. Поскольку Palaeoconchus строили трубочки улиткообразной формы с “вращающимся” устьем, это приводило к “отставанию” от роста раковины брахиоподы и постепенному удалению поселенца от переднего края раковины. Следовательно, чем дольше живёт Palaeoconchus на створке брахиоподы, тем дальше он будет располагаться от её лобного края. По мере удаления от лобного края раковины будет также происходить увеличение размеров Palaeoconchus. В пользу посмертного прикрепления может говорить расположение палеоконхусов на обеих створках брахиопод, а также незакономерное распределение на раковинах брахиопод трубок различного размера.

В ряде случаев наблюдалось совместное прикрепление разных эпибионтов. На пяти экземплярах (45% от всех образцов с мшанками) мшанки наблюдались вместе с

микроконхидами, причём на одном образце зафиксировано прикрепление корковой сетчатой колонии мшанок к палеоконхусу. На одной раковине мшанки обнаружены совместно с корнулитидами. На четырёх образцах корнулитиды встречены совместно с микроконхидами.

Выводы

На долю раковин с мшанками приходится 2,4% от общего числа изученных образцов Retzia micula, а на долю раковин с корнулитидами – 1,5%, что свидетельствует о крайне редком использовании данными обрастателями скелетов брахиопод в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о небольшом количестве мшанок и корнулитид в палеобиоценозах. На долю раковин с микроконхидами приходится 12,3% от общего числа исследованных образцов Retzia micula, что свидетельствует о довольно частом использовании этими обрастателями скелетов брахиопод в качестве субстрата. Это может указывать и на значительное количество микроконхид в палеобиоценозах.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
3. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
4. Серяева А.Р., Трайдова Л.С., Комаров В.Н. Новые данные о находках эпибионтов на полипняках Thamnopora rigida Sokolov (Favositida) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 107. С. 305–318.
5. Серяева А.Р., Трайдова Л.С., Комаров В.Н. О находках мшанок и корнулитид на раковинах брахиопод Retzia macula Martynova из нижнего фамена бассейна реки Хантаги (Центральный Казахстан) // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 110. С. 24–36.

Использование экспозиций Геолого-палеонтологического музея МГРИ в преподавании курса «Историческая геология»

Андрухович А.О.* (МГРИ, andruhovichao@mgri.ru),
Комаров В.Н. (МГРИ, komarovvn@mgri.ru),
Туров А.В. (МГРИ, turovav@mgri.ru)

Аннотация

Указаны учебные дисциплины, уровни образования и факультеты, студентам которых преподается историческая геология. Приводится содержание экспозиций витрин Геолого-палеонтологического музея МГРИ, относящихся к отделу «Историческая геология». Показана роль материалов экспозиций данного и других отделов музея для решения учебных и научных задач, стоящих при изучении дисциплины. Намечены направления дальнейшего совершенствования экспозиций музея как учебного комплекса, используемого, в частности, для внедрения мультимедийной подачи материалов.

Ключевые слова

Историческая геология, Геолого-палеонтологический музей, палеогеография, эволюция Земли

Теория

Учебная дисциплина «Историческая геология» в настоящее время преподается в качестве самостоятельной дисциплины в рамках специалитета по направлению «Прикладная геология» студентам второго курса геологоразведочного, гидрогеологического и нефтегазового факультетов. Она также входит в состав комплексных дисциплин «Историческая геология с основами палеонтологии», «Основы палеонтологии, стратиграфии и исторической геологии», «Основы палеонтологии, стратиграфии, исторической и региональной геологии» для студентов – бакалавров и специалистов различных факультетов (гидрогеологического, геофизического, технологии разведки и разработки).

Одной из задач изучения исторической геологии является получение представлений об основных этапах и закономерностях геологического развития Земли и жизни на ней. Для этого в Геолого-палеонтологическом музее МГРИ создан отдел «Историческая геология», в экспозицию которого входят материалы по геологической истории Земли [2, 4]. Экспозиция включает ряд витрин, каждая из которых посвящена определенному этапу этой истории. Это витрины по раннему докембрию (архей – ранний протерозой), позднему протерозою и по каждому периоду фанерозоя [3]. Создание витрин в течение многих лет осуществляли сотрудники кафедры региональной геологии и палеонтологии МГРИ (в настоящее время – кафедра палеонтологии и региональной геологии). Некоторые материалы подбирались еще в Геолого-палеонтологическом музее МГРИ имени А.П. и М.В. Павловых в старом здании института на Моховой, 11 (ныне – Государственный геологический музей имени В.И. Вернадского РАН); при переезде МГРИ в современное здание эти материалы вошли в состав новых экспозиций.

Экспозиция каждой витрины включает ряд обязательных материалов (Рис. 1.):

1. Стратиграфическая шкала с детальностью до яруса, совмещенная с зональной шкалой, с указанием абсолютных датировок границ.

2. Характерные комплексы окаменелостей, привязанные к стратиграфической шкале (в ряде случаев – размещенные непосредственно на ней).



Рисунок 1. Витрина экспозиции отдела «Историческая геология» (триасовый период)

3. Стратиграфические колонки типовых регионов распространения отложений данного возраста.

4. Палеогеографические карты, различные схемы, разрезы, показывающие расположение на поверхности Земли в данное время различных географических элементов (континентов, океанов, морей, островов); палеогеографических обстановок (гор, равнин, морского шельфа, ложа океанов), палеотектонических структур и т.д.

5. Каменный материал, дающий представление о руководящих ископаемых, наиболее характерных разновидностях горных пород и полезных ископаемых.

6. Текстовые и фотоматериалы, характеризующие данный интервал и поясняющие приведенные карты и схемы.

Кроме представленных на витринах образцов, в фондах музея имеется большое количество каменного материала по представленным в экспозиции интервалам. Коллекции, хранящиеся в музее, позволяют проводить и плодотворные научные исследования по различным вопросам истории геологии, палеонтологии, стратиграфии, палеогеографии и других наук. Выставленный в музее огромный и, на первый взгляд, очень разноплановый фактический материал на самом деле тесно связан единой обобщающей идеей, призванной создать объективную и целостную картину геологической истории Земли.

При изучении курса «Историческая геология» студенты неоднократно обращаются к экспозиции музея во время лабораторных занятий с преподавателем и самостоятельно.

Для более полного и глубокого усвоения содержания курса студенты изучают материалы по палеогеографии различных возрастных интервалов, составу опорных разрезов и характерных разновидностей горных пород, руководящим комплексам ископаемых остатков, размещению важнейших полезных ископаемых. Экспозиции помогают наглядно представить этот весьма сложный и объемный материал (Рис. 2).

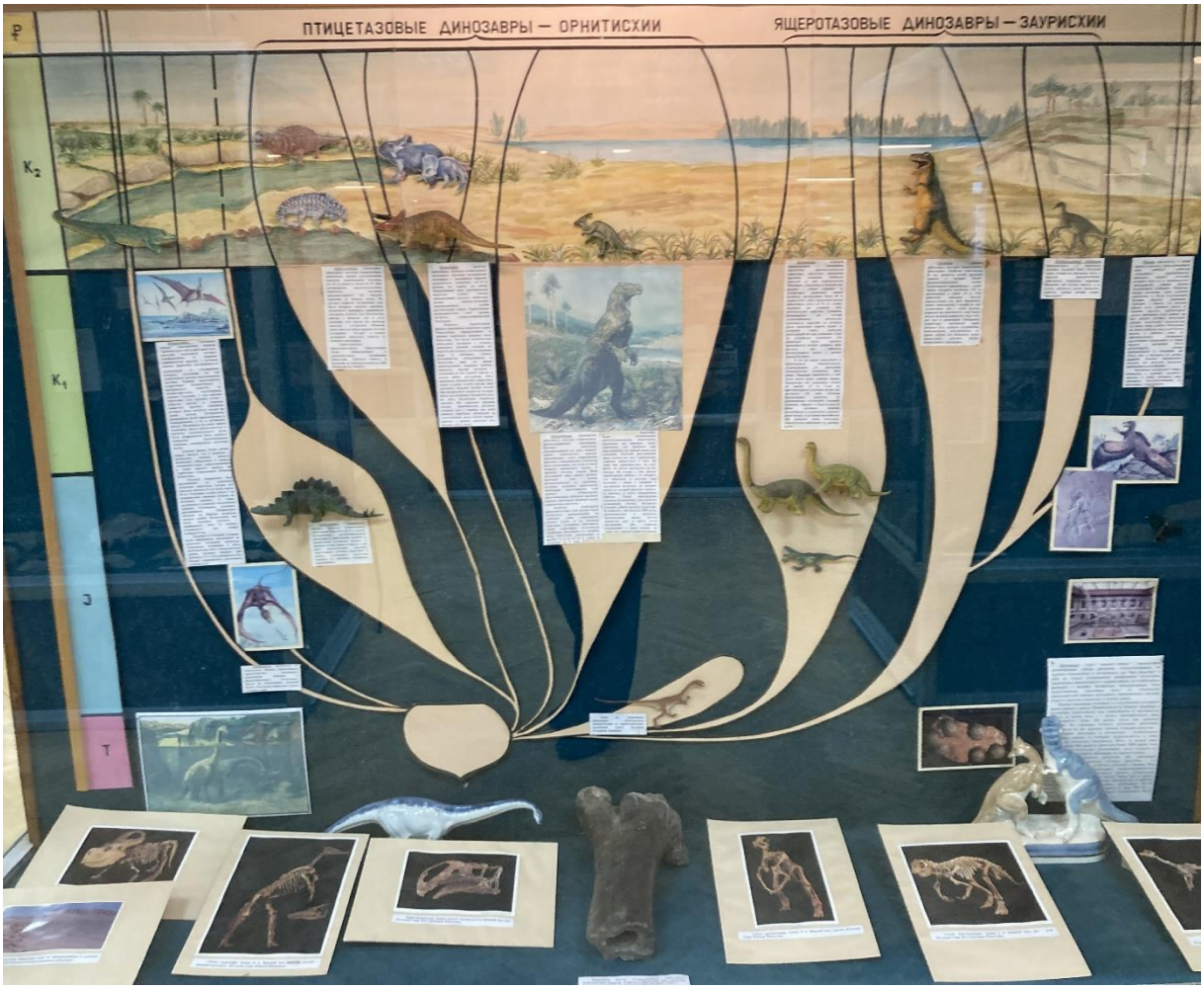


Рисунок 2. История развития мезозойских динозавров

Под руководством преподавателя студенты изучают методику составления обзорных палеогеографических карт, реконструкции положения материков и океанов, определения физико-географических особенностей разных периодов. Полученная информация используется при написании курсовой работы по исторической геологии.

Для изучения характерных комплексов окаменелостей, кроме экспозиций отдела «Историческая геология», также используется отдел «Палеонтология», в котором представлены расположенные в строгом систематическом порядке многочисленные остатки животных и растений, а также типы ориктоценозов, формы сохранности окаменелостей. Отдел «Региональная геология» помогает изучению опорных разрезов различных регионов и временных интервалов. В экспозициях данного отдела представлены материалы по составу и строению отложений Восточно-Европейской и Сибирской платформ, Алтае-Саянской складчатой области, Тимано-Печорской, Западно-Сибирской и Туранской плит, Урала, Крыма, Кавказа, Забайкалья и Прибайкалья, Сихотэ-Алиня, Камчатки и Верхояно-Чукотской области, Подмосковья. Каждая экспозиция содержит физические н геологические карты, разрезы, фотографии типичных обнажений и образцы горных пород.

На основе экспозиций и фондов Геолого-палеонтологического музея студентами и сотрудниками МГРИ проводятся научные исследования. Так, недавно завершено масштабное исследование эпибиоза – поселения одних организмов на поверхности других [1]. Материал

для исследования был ранее собран специалистами Палеонтологического бюро МГРИ, сотрудниками кафедры палеонтологии и региональной геологии, отдельными геологами.

Экспозиции отдела «Историческая геология», как и других отделов музея, продолжают пополняться и совершенствоваться. На основе современных данных уточняются стратиграфические схемы и разрезы, обновляются палеогеографические карты, иллюстративные материалы, коллекции дополняются новыми образцами. Предполагается внедрение мультимедийных технологий – звукового сопровождения (аудиогида) по витринам экспозиции, представляющего собой фонограмму, состоящую из нескольких аудио фрагментов, привязанных к размещенным на витрине материалам. Аудиогид можно будет загрузить на мобильный телефон из бесплатного приложения izi.Travel или с помощью QR кодов, расположенных на экспозициях.

Выводы

Изучение экспозиций Геолого-палеонтологического музея позволяет студентам получить более наглядные представления о содержании различных разделов исторической геологии, дополнить информацию о геологической истории Земли, составе опорных разрезов различных регионов и характерных разновидностях горных пород, руководящих комплексах ископаемых остатков, размещении важнейших полезных ископаемых. Это помогает успешнее решать задачи учебной дисциплины, на более высоком уровне развивать профессиональные компетенции, достигать лучших результатов образовательного процесса.

Библиография

1. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. – М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. – 118 с.
2. МГРИ. История. Люди: к 90-летию МГА-МГРИ / Е.Л. Гольдман, П.В. Полежаев, Г.И. Садовский, В.М. Цейслер, В.М. Швец; под ред. Е.Л. Гольдмана, В.М. Цейслера. – М.: КДУ, 2008. – 296 с.
3. Цейслер В.М. Геолого-палеонтологический музей имени А.П. и М.В. Павловых в МГРИ // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2009. – № 5. – С. 83-84.
4. Цейслер В.М., Лозовский В.Р., Комаров В.Н. Геолого-палеонтологический музей МГГРУ // Проблемы региональной геологии: музейный ракурс. – М.: Акрополь. 2004.– С. 137-139.

О необычной форме сохранности фрагментов стеблей криноидей

Гречишникова Я.Д. (МГРИ, grechishnikova.yd@vims-geo,ru),*
Комаров В.Н. (МГРИ, komarovmgri@mail.ru)

Аннотация

Приведены данные о первых находках отпечатков фрагментов стеблей морских лилий на эпитеке четырёхлучевых кораллов. Сделаны выводы о процессе их образования. Установлено палеоэкологическое значение отпечатков.

Ключевые слова

Палеоэкология, отпечатки, фрагменты стеблей морских лилий, эпитека, четырёхлучевые кораллы

Теория

Сложнейший путь органических остатков от момента гибели организмов в биосфере через их захоронение и фоссилизацию в литосфере называется тафономическим циклом. В нём выделяют четыре основных этапа, на каждом из которых остатки живых существ подвергаются активному воздействию различных процессов. Большинство этих процессов не приурочено только к одному этапу, а начинает оказывать влияние уже в предшествующем или продолжает свою “деятельность” на последующем этапе. Это определяется взаимосвязанностью и взаимообусловленностью данных процессов. В результате неоднократного воздействия на исходный комплекс остатков организмов различных факторов в ходе всего тафономического цикла происходит искажение качественных и количественных соотношений, а также пространственного положения окаменелостей. Детальное изучение тафономического цикла является необходимым для комплексного литолого–фациального исследования осадочных толщ, а также детальной корреляции отложений.

На каждом этапе тафономического цикла доминирующую роль играет определённый комплекс факторов. На заключительном четвёртом этапе, после того, как местонахождение в результате различных процессов оказывается выведено на дневную поверхность, на первое место выходят такие факторы, как физический (механическая деструкция) и химический (растворение и замещение). Происходит изменение местонахождения в зоне поверхностного выветривания. При изучении ископаемых остатков важно не спутать их изначальную неполноту, которая существовала к моменту их захоронения, с вторичной неполнотой, связанной с разрушением (возможно многократным) древними эрозионными процессами уже сформировавшегося местонахождения.

В результате тафономического цикла образуются ориктоценозы со структурой различной степени сложности. Именно они и являются источником фактического материала для палеонтологов.

Биотические и абиотические факторы разрушения и захоронения организмов приводят к появлению разных форм (или типов) сохранности окаменелостей или, как их иначе называют, фоссилий (лат. fossilis – погребенный, ископаемый). По степени полноты и специфики сохранности существует следующая классификация форм сохранности: субфоссилии, эуфоссилии, ихнофоссилии, копрофоссилии, хемофоссилии и гастролиты.

Палеоэкология, изучающая реконструкции экосистем геологического прошлого и их развитие во времени, занимает одно из важнейших мест в комплексе геологических наук. Это обусловлено как общим повышением внимания к экологическим проблемам, так и необходимостью осуществления комплексного подхода к исследованию биосферы в целом. Результаты палеоэкологического анализа получают все более широкое применение в

теоретической и прикладной геологии, прежде всего для фациального анализа, палеогеографии и детальной стратиграфии. Изучение процессов исторического развития организмов во взаимосвязи с изменениями среды их обитания, имеет большое значение для теоретической биологии и общей экологии.

В процессе изучения эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) нами были исследованы четыре вида одиночных четырёхлучевых кораллов [1–6, 8]. Три из них (Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) (41 экземпляр), Tabulophyllum normale (Walth.) (198 экземпляров), а также Tabulophyllum weberi (Leb.) (1231 экземпляр)) происходят из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана (р. Ухта, урочище Сирачой). Вид Calophyllum profundum (Germar) (856 экземпляров) был обнаружен в байтуганских слоях нижнеказанского подъяруса окрестностей села Байтуган (Камышлинский район, северо–восток Самарской области).

У трёх видов на поверхности кораллитов были неожиданно обнаружены отпечатки члеников стеблей морских лилий (рис. 1). Найти описания подобных форм сохранности в литературе нам не удалось. У Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) отпечатки обнаружены на семи кораллитах (17,1% от всех изученных образцов), у Tabulophyllum normale (Walth.) они выявлены на 10 кораллитах (5,1%), у Calophyllum profundum (Germar) они зафиксированы на трёх кораллитах (0,4%).

У Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) всего обнаружено 15 отпечатков, у Tabulophyllum normale (Walth.) – 10 отпечатков, и у Calophyllum profundum (Germar) – три отпечатка.

Таким образом, можно сделать вывод, что обнаруженные отпечатки представляют собой довольно редкие образования.

Среди отпечатков члеников стеблей можно установить минимум два различных морфотипа, отличающихся диаметром внутреннего канала. Величина отпечатков на всех кораллитах идентична и варьирует от 1,2 мм до 4,4 мм. Преобладание отпечатков какого–то определённого размера не отмечено.

Следует отметить, что сирачойская свита и байтуганские слои богаты остатками разнообразной бентосной фауны, в том числе и криноидеями. Изображения морских лилий из байтуганских слоёв приведены, в частности, в [7, рис. 4, фиг. *10, 12*]. Много члеников стеблей криноидей наблюдали и мы во вмещающей породе, которая частично сохранилась на изученных образцах.

Остатки четырехлучевых кораллов сохраняются в виде скелетных образований эктодермального происхождения, которые служили опорой и защитой живым полипам.

Чашка кораллита, расположенная в его верхней части, представляет собой детальный слепок с нижней скелетообразующей части мягкого полипа, которая имела сложное строение и закономерно изменялась во времени. Именно в области чашки происходил рост стенок кораллита и образование внутренних скелетных структур (септального и межсептального аппаратов).

Верхняя, свободная часть полипа, вероятно, имела довольно простое, мало изменявшееся строение в виде кожистого мешка с ротовым отверстием, окруженным щупальцами.

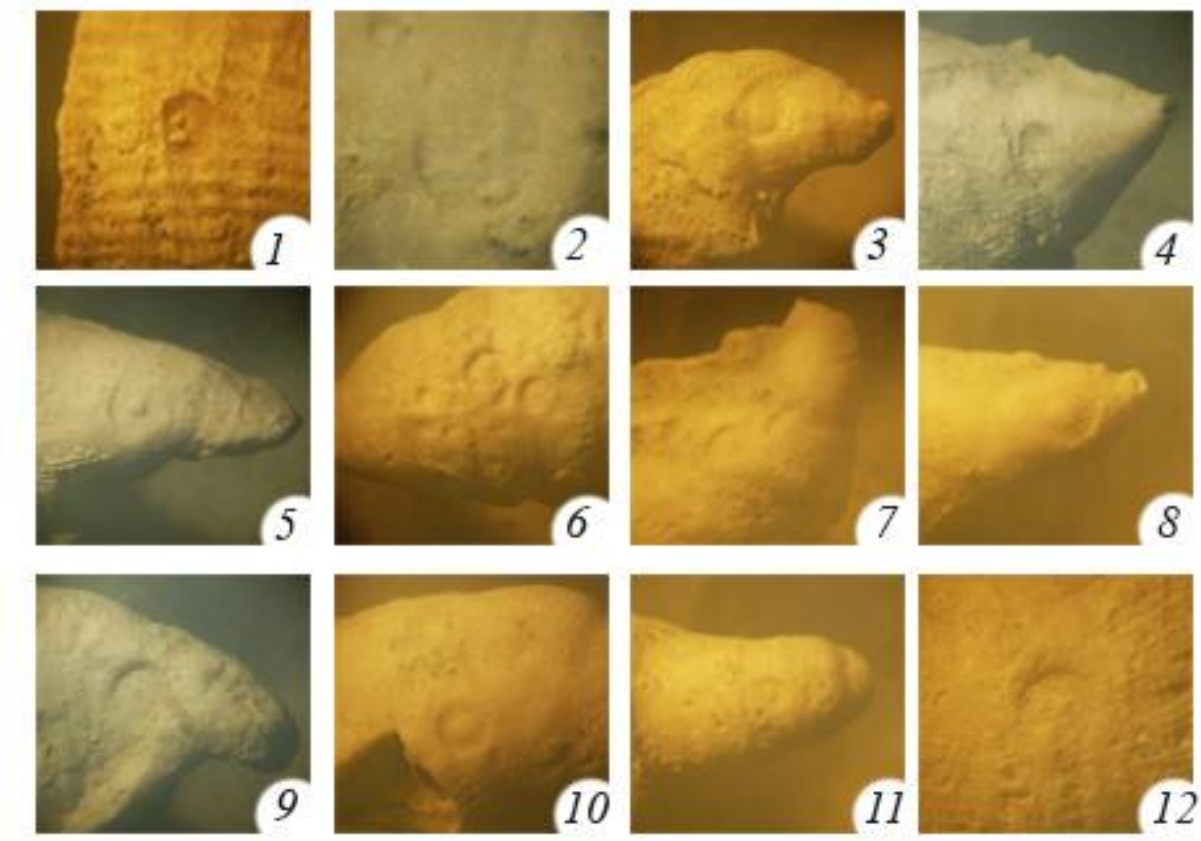


Рисунок 1. Отпечатки фрагментов стеблей морских лилий на эпитеке кораллов: *1–2* – Calophyllum profundum (Germar); *3–7* – Tabulophyllum gorskyi (Bulv.); *8–12* – Tabulophyllum normale (Walth.). Увеличено

Стенка кораллита росла непрерывно и неравномерно быстро, формируя на эпитеке кольцевые линии нарастания. Темпы отложения известкового вещества, тесно связанные с условиями окружающей среды, а, возможно, и с сезонными явлениями, определяли внешнюю форму скелета. Величина скелетообразующей части полипа могла сильно изменяться под влиянием внешних условий. Но даже при её неизменной величине и форме внешняя форма кораллита могла получиться различной. По мере роста мог изменяться диаметр чашки. Это приводило к тому, что внешняя форма кораллита осложнялась более или менее резкими чередующимися вздутиями и пережимами. В молодом возрасте четырёхлучевые кораллы почти всегда были прикреплены к субстрату. Во взрослом состоянии они часто свободно лежали на дне.

Выводы

Как на поверхности кораллитов могли образоваться отпечатки члеников стеблей криноидей? Ситуацию можно представить следующим образом.

Лежащий на дне кораллит продолжал непрерывно расти. Когда край чашки, продвигаясь по субстрату, встречал на своём пути лежащий на грунте членик морской лилии, он постепенно покрывал его. При этом членик мешал росту стенки кораллита в толщину. Более толстый слой эпитеки формировался вокруг членика стебля, а сам он оказывался как бы погруженным в эпитеку. Позднее (от начальных стадий фоссилизации до частичного разрушения кораллита в зоне гипергенеза), после отделения членика от кораллита возникал отпечаток.

У большинства образцов (80%) был обнаружен только один отпечаток членика стебля морских лилий. Он всегда надёжно указывает, на какой стороне лежал кораллит на грунте, по крайней мере, на момент окончательного формирования отпечатка. У трёх экземпляров Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) было обнаружено больше отпечатков (два, три и шесть соответственно). У одного экземпляра Tabulophyllum normale (Walth.) было выявлено два отпечатка. Все отпечатки расположены вдоль кораллитов (иногда непосредственно от каблучка прирастания до края чашки) и только с одной его стороны, которая при жизни полипа была стабильно обращена к грунту. Подобное расположение отпечатков, безусловно, указывает на спокойную гидродинамическую обстановку в древних морских бассейнах.

Библиография

1. Вологина А.С., Молодова В.Д., Комаров В.Н. О находках мшанок на полипняках Tabulophyllum weberi (Tetracoralla) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 96. С. 77–91.
2. Вологина А.С., Молодова В.Д., Комаров В.Н. Четырёхлучевые кораллы Tabulophyllum weberi и эпибиоз // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М.: “ПАРАДИГМА”, 2024. С. 18–24.
3. Вологина А.С., Молодова В.Д., Комаров В.Н. О находках мшанок на четырёхлучевых кораллах Calophyllum profundum (Germar) из байтуганских слоёв (нижнеказанский подъярус) окрестностей села Байтуган (Самарская область) // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 99. С. 117–131.
4. Короленко П.С., Миронова Д.Н., Комаров В.Н. О находках мшанок на кораллитах Tabulophyllum normale (Walth.) (Tetracoralla) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 97. С. 261–274.
5. Лебедянцева В.Я., Кальбова П.И., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на кораллитах Tabulophyllum normale (Walth.) (Tetracoralla) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 99. С. 91–102.
6. Лебедянцева В.Я., Комаров В.Н. О находках микроконхид на полипняках Tabulophyllum weberi (Tetracoralla) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 97. С. 215–228.
7. Паперный М.Л. Новый вид макрофитных водорослей из пермских отложений северо–востока Самарской области (с. Русский Байтуган) // Известия вузов. Геология и разведка. 2019. № 1. С. 24–31.
8. Ширяева П.В., Монгуш А.Э., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на кораллитах Tabulophyllum gorskyi (Bulv.) (Tetracoralla) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 97. С. 243–255.

Новые данные о находках эпибионтов на фавозитидах Thamnopora rigida Sokolov из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана

Драгина К.А. (МГРИ, dragina_kristina@mail.ru),*
Исаева С.А. (МГРИ, Llunahaile@yandex.ru),
Серяева А.Р. (МГРИ, alisealise5@gmail.com),
Трайдова Л.С. (МГРИ, traidova-l@yandex.ru)

Аннотация

Приведены новые данные о находках эпибионтов на фавозитидах Thamnopora rigida Sokolov из сирачойской свиты (верхний фран) на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой).

На долю полипняков с мшанками приходится 24,8% от общего числа изученных образцов Thamnopora rigida, а на долю полипняков с Palaeoconchus cf. tenuis – 34,7% что свидетельствует об очень частом использовании эпибионтами скелетов погибших кораллов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о массовости прираставших организмов в палеобиоценозах.

Ключевые слова

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, фавозитиды, франский ярус, Южный Тиман

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов [1–11]. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии.

Материалом для данного исследования послужила недавно обнаруженная в фондах кафедры палеонтологии и региональной геологии МГРИ коллекция фавозитид Thamnopora rigida Sokolov численностью 117 экземпляров. Коллекция была собрана сотрудниками Палеонтологического Бюро на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой) в стратотипическом разрезе сирачойской свиты (верхний фран). Образцы представлены полипняками хорошей сохранности.

При детальном анализе имеющихся материалов на 46 кораллитах Thamnopora rigida (что составляет 39,3% от общего числа) были найдены эпибионты – мшанки и микроконхиды. На 10 полипняках мшанки и микроконхиды обнаружены совместно.

Мшанки были найдены на 29 экземплярах Thamnopora rigida (рис. 1, фиг. *1*–*3*).

Среди мшанок нами были выявлены не менее четырёх различных морфотипов.

Чаще всего нами наблюдались массивные обрастающие корковые сетчатые колонии, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата (рис. 1, фиг. *2*, *3*). Данные колонии обнаружены на 16 полипняках. Подобные мшанки, по всей видимости, чаще всего, относятся к роду Atactotoechus. Колонии рода Atactotoechus могут быть массивными или ветвистыми с прерывисто утолщёнными стенками.

Род Atactotoechus объединяет несколько видов, имеющих сравнительно широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода ограничено средним и верхним девоном.

На шести полипняках обнаружены колонии, вероятно принадлежащие роду Leioclema. Колонии рода Leioclema могут быть разнообразными. Среди них преобладают ветвистые и

обрастающие колонии. Обнаруженные нами мшанки рода Leioclema прикреплялись к субстрату только начальной частью – стелющимся, обрастающим субстрат основанием, от которого, постепенно поднимаясь вверх, развивалась ветвистая колония.

Род Leioclema объединяет много видов, имеющих широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода охватывает интервал от ордовика до триаса.

На шести образцах наблюдались ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке, по архитектуре очень напоминающие род Eridotrypa, известный из ордовикских, силурийских и девонских отложений различных регионов мира (рис. 1, фиг. *1*).

На одном полипняке зафиксированы мшанки в виде относительно толстой массивной ветви, по всей видимости, принадлежащие к роду Leioclema. Следует отметить, что мшанки рода Leioclema характеризуются большой пластичностью и изменчивостью своих колоний, способных приспосабливаться к разным условиям обитания.

На 23 образцах выявлена только одна колония мшанок. На трёх образцах наблюдалось две колонии. Ещё на трёх полипняках зафиксировано очень много мелких ветвистых колоний мшанок.

Размеры мшанок варьируют от 0,5 мм до 50,0 мм. Преобладают колонии, имеющие размеры 0,5–7,0 мм и 31,0–40,0 мм. Обычно мшанки покрывают сравнительно небольшие участки, но у 13 экземпляров корковые и бугристые колонии мшанок покрывают обломки полипняков на всю или почти на всю их длину. Возможно, данные колонии изначально были и крупнее.

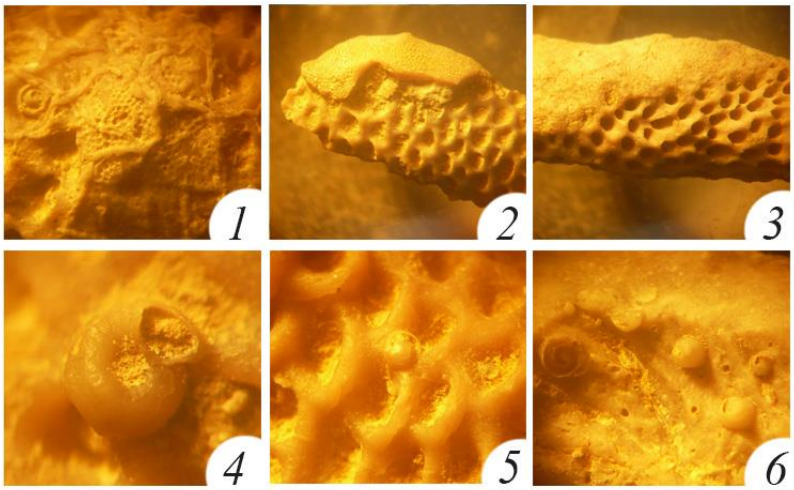


Рисунок 1. Эпибионты на кораллитах Thamnopora rigida. Верхний девон, верхнефранский подъярус, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта (урочище Сирачой). Увеличено

На 16 экземплярах Thamnopora rigida были найдены микроконхиды (рис. 1, фиг. *4*–*6*).

Среди микроконхид нами предварительно установлен один вид – Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby, 1839). Всего обнаружено не менее 75 трубок палеоконхусов.

Число трубок на полипняках различно и варьирует от одной до 18. Микроконхиды прикреплены к полипнякам хаотично, располагаясь без каких–либо закономерностей в самых разных их местах. Обычно микроконхиды располагаются на расстоянии друг от друга. Однако часто трубки расположены очень тесно, иногда соприкасаясь друг с другом.

Крошечные трубки Palaeoconchus cf. tenuis наблюдались как в чашках кораллитов (35%), так и в промежутках между ними на возвышениях (65%). Впоследствии, по мере роста, занимаемая ими площадь поверхности полипняка увеличивалась. Среди Palaeoconchus cf. tenuis отмечены лишь спиральные трубки, округлые в плане. Обычно наблюдались целые трубки (68%). Полностью или частично вскрытые трубки наблюдались реже.

Обычно трубки характеризуются гладкой наружной поверхностью. На поверхности некоторых крупных экземпляров хорошей сохранности наблюдались тончайшие линии роста, совпадающие с пережимами (рис. 1, фиг. *4*). Расстояние между пережимами составляет около 0,04 мм.

Размеры наблюдаемых Palaeoconchus cf. tenuis варьируют от 0,2 до 2,3 мм, но обычно составляют 0,3–1,4 мм в диаметре. Наиболее часто встречаются трубки, имеющие диаметр 1,0 мм. Максимальный замеренный диаметр трубки в области апертуры составляет порядка 0,52 мм, обычно он меньше.

Интересным является решение вопроса о том, прикреплялся ли эпибионт к скелету другого организма при его жизни или уже после гибели. В первом случае обе формы (и служащая субстратом, и прикрепившаяся) являются представителями одного палеобиоценоза и могут дать неоценимый материал для фациальных реконструкций. Во втором случае заключения, базирующиеся на экологическом исследовании обеих форм, были бы ошибочными, поскольку организм, являвшийся субстратом, мог не только не входить в состав данного комплекса, но и иметь значительно более древний возраст.

Чётким указанием на прикрепление при жизни служащего субстратом животного является расположение приросших существ на периферийных частях раковин, обеспечивающее лучшие условия питания при функционировании организма–субстрата. Свидетельством поселения прикреплённых беспозвоночных на остатках отмерших организмов являются их находки на внутренних участках этих скелетных образований или на тех поверхностях, которые при жизни организма были закрыты мягким телом. Прикрепление к раковинам глубоко зарывавшихся беспозвоночных также возможно только после их смерти.

Прикрепление мшанок, микроконхид и продуктид, по нашему мнению, было всегда посмертным. Живые кораллы препятствовали бы подобному поселению. Однозначным доказательством посмертного прикрепления мшанок служит обнаружение их ветвистой колонии на сколе полипняка.

Выводы

На долю полипняков с мшанками приходится 24,8% от общего числа изученных образцов Thamnopora rigida, а на долю полипняков с Palaeoconchus cf. tenuis – 34,7% что свидетельствует об очень частом использовании эпибионтами скелетов погибших кораллов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о массовости приставших организмов в палеобиоценозах.

Сравнение новых данных и ранее полученных сведений [11] показывает почти полное тождество всех основных проанализированных особенностей мшанок и микроконхид. Это позволяет сделать важное заключение о том, что исследование даже сравнительно небольших коллекций окаменелостей из конкретных местонахождений позволяет получить объективные разносторонние выводы о палеобиоценозах.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.

2. Вайтиева Ю.А., Качалина М.Д., Волкова Е.А., Комаров В.Н. О находках сверлильщиков и эпибионтов на раковинах среднепермских продуктид Aulosteges horrescens (Verneuil) (Brachiopoda) из окрестностей села Байтуган (Самарская область) // Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: геология, геотектоника, геодинамика, региональная геология, палеонтология. Материалы XVI Международной научно–практической конференции “Новые идеи в науках о Земле”. Т.1. М.: МГРИ. 2023. С. 236–239.

3. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.

4. Драгина К.А, Исаева С.А., Комаров В.Н. К вопросу об объективности палеонтологических выводов – новые данные о находках мшанок на полипняках Thamnopora rigida Sokolov (Favositida) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 107. С. 319–333.

5. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.

6. Кальбова П.И., Вайтиева Ю.А., Сёмина Р.И., Царев Р.В., Комаров В.Н. Атрипиды Iowatrypa timanica (Markovsky) и эпибиоз // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М.: “ПАРАДИГМА”, 2024. С. 38–44.

7. Кальбова П.И., Лебедянцева В.Я., Комаров В.Н. О признаках прижизненного и посмертного прикрепления эпибионтов к организму–субстрату // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 101. С. 99–116.

8. Комаров В.Н., Верба Т.И., Вайтиева Ю.А. Спириферид Licharewia rugulata и эпибиоз // Природа. 2023. № 8. С. 41–47.

9. Комаров В.Н., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Брахиоподы Estonirhynchia estonica острова Сааремаа // Природа. 2023. № 4. С. 60–65.

10. Комаров В.Н., Самохвалов С.А., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Датские рожицы: крымские краниды – взгляд из глубины времён // Природа. 2023. № 1. С. 42–49.

11. Короленко П.С., Миронова Д.Н., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на полипняках Thamnopora rigida Sokolov (Favositida) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 96. С. 41–56.

Новые данные о находках эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Tabulophyllum longiseptatum (Bulv.) из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана

Дубова В.Д.* (МГРИ, valyasinger5@gmail.com),
Мустафина А.Ф. (МГРИ, adelya.must@yandex.ru)

Аннотация

Приведены новые данные о находках эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Tabulophyllum longiseptatum (Bulv.) из сирачойской свиты (верхний фран) на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой).

На долю кораллитов с мшанками приходится 58,4% от общего числа изученных Tabulophyllum longiseptatum (Bulv.), а на долю образцов с микроконхидами – 28,0% что свидетельствует о массовом использовании эпибионтами крупных кораллов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о широком распространении мшанок и микроконхид в палеобиоценозах. Доля краниид, продуктид и ругоз–эпибионтов ничтожно мала.

Ключевые слова

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, краниды, продуктиды, четырёхлучевые кораллы, франский ярус, Южный Тиман

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов [1–5]. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии.

Материалом для данного исследования послужила коллекция четырёхлучевых кораллов Tabulophyllum longiseptatum (Bulv.), находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция, численностью 125 экземпляров, была собрана сотрудниками Палеонтологического Бюро на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой) в стратотипическом разрезе сирачойской свиты (верхний фран).

При детальном анализе имеющихся материалов на 95 образцах Tabulophyllum longiseptatum (что составляет 76,0% от их общего числа) были найдены различные эпибионты – мшанки, микроконхиды, краниды, продуктиды и одиночные четырёхлучевые кораллы.

Мшанки были найдены на 73 экземплярах Tabulophyllum longiseptatum.

Среди мшанок нами были выявлены три различных морфотипа.

Чаще всего нами наблюдались бугорчатые колонии мшанок, по всей видимости, принадлежащие к роду Leioclema (рис. 1, фиг. *1*). На их долю приходится 46,8% от всех изученных образцов с мшанками. Следует отметить, что мшанки рода Leioclema характеризуются большой пластичностью и изменчивостью своих колоний, способных приспосабливаться к разным условиям обитания. Среди них преобладают ветвистые и обрастающие колонии. Мшанки рода Leioclema прикреплялись к субстрату только начальной частью – стелющимся, обрастающим субстрат основанием, от которого, постепенно поднимаясь вверх, развивалась ветвистая колония. Род Leioclema объединяет много видов, имеющих широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода охватывает интервал от ордовика до триаса.

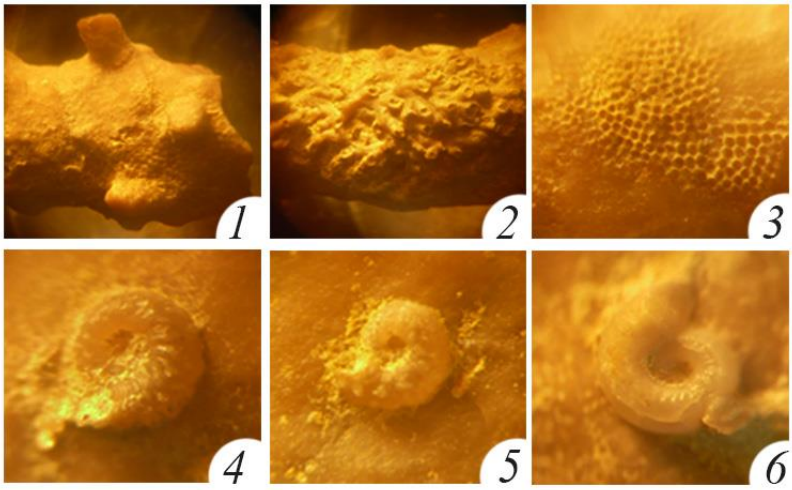


Рисунок 1. Эпибионты на кораллитах Tabulophyllum longiseptatum (Bulv.): *1–3* – мшанки; *4–6* – микроконхиды Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby). Верхний девон, верхнефранский подъярус, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта (урочище Сирачой). Увеличено

На втором месте находятся тонкие ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных коротких или длинных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке (рис. 1, фиг. *2*). На их долю приходится 31,3% от всех изученных образцов с мшанками. По архитектуре данные колонии напоминают род Corynotrypa, насчитывающий порядка 26 видов. Распространены представители данного таксона в ордовике и силуре Эстонии, а также в интервале от ордовика до перми в США и Западной Европе (Англия, Германия, Норвегия, Польша, Франция, Швеция).

На 21 образцах (21,9%) зафиксированы массивные обрастающие корковые сетчатые колонии, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата (рис. 1, фиг. *3*). Подобные мшанки, по всей видимости, относятся к роду Atactotoechus (отряд Trepostomida).

Колонии рода Atactotoechus могут быть массивными или ветвистыми с прерывисто утолщёнными стенками. Акантопоры отсутствуют или очень редкие и мелкие. Род Atactotoechus объединяет несколько видов, имеющих сравнительно широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода ограничено средним и верхним девоном.

Всего обнаружено не менее 94 колоний мшанок.

Размеры бугорчатых колоний составляют 1,9–67,0 мм, но обычно встречаются колонии, имеющие размер 22,0–49,0 мм. Размеры тонких ветвящихся колоний меняются от 2,0 мм до 47,0 мм. Преобладания среди них колоний какой–то определённой величины не установлено. Следует ещё раз подчеркнуть, что на 12 кораллитах обнаружено очень много мелких ветвистых колоний мшанок, размер которых составляет менее 0,1 мм. Размеры массивных корковых колоний варьируют от 1,1 мм до 50,0 мм. Преобладания среди них колоний какой–то определённой величины не установлено.

В 39 случаях мшанки (это, главным образом, относится к бугорчатым и, в меньшей степени, сетчатым колониям) занимают фрагменты кораллитов на всю (доходя до их края) или почти на всю их длину.

Приведённые данные указывают на то, что многие колонии мшанок, поселявшихся на Tabulophyllum longiseptatum характеризуются крупными размерами. Это, безусловно, связано с наличием в большом количестве крупных, достигавших 80,0 мм в длину, обломков

кораллитов. Вполне вероятно, что размеры многих колоний изначально (до поломки кораллитов) были существенно больше.

Трубки микроконхид Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby, 1839) обнаружены на 36 кораллитах (рис. 1, фиг. *4–6*). Всего выявлено не менее 166 трубок палеоконхусов.

Расположение трубок различно. Когда к кораллиту прикреплена одна трубка, она, естественно, располагается с какой–то одной его стороны. Когда к кораллиту прикреплены две трубки, они уже могут быть расположены, как с одной, так и с двух разных сторон. Когда на кораллите имеется много трубок, они обычно покрывают его с разных сторон. На одном кораллите Tabulophyllum longiseptatum микроконхид, как правило, немного – от одной трубки до шести. Лишь на одном образце было обнаружено 28 трубок. Трубки обычно располагаются на расстоянии друг от друга. Иногда они соприкасаются или даже нарастают друг на друга. Среди Palaeoconchus cf. tenuis отмечены лишь спиральные округлые трубки.

Обычно трубки Palaeoconchus cf. tenuis частично или полностью вскрыты. На их долю приходится 74,5% от общего числа трубок. Целые трубки наблюдаются реже. Трубки обычно характеризуются гладкой наружной поверхностью. На некоторых экземплярах хорошей сохранности наблюдались отчётливые следы нарастания, расстояние между которыми составляет от 0,11 мм до 0,17 мм. Следы нарастания на поверхности трубок выглядят как довольно грубые пережимы, придающие им чётковидное строение (рис. 1, фиг. *4–6*).

Размеры изученных Palaeoconchus cf. tenuis варьируют от 0,1 мм до 3,1 мм. Наиболее часто встречаются трубки, имеющие диаметр 0,2–1,2 мм. У самых крупных палеоконхусов измеренный диаметр трубок в области апертуры составляет около 1,0–1,12 мм. У других экземпляров эти размеры меньше.

Краниды обнаружены лишь на одном экземпляре Tabulophyllum longiseptatum. Они характеризуются низкоконической, округлой или субовальной формы в плане спинной створкой с сильно смещённой вершиной. Скульптура представлена тонкими концентрическими линиями роста, расстояние между которыми варьирует от 0,27 мм до 0,31 мм. Размеры раковин краниид составляют 10,0 и 12,0 мм соответственно. Интересно отметить, что меньшая по размеру раковина краниды наросла на раковину краниды большего размера. При этом на обеих раковинах беззамковых брахиопод поселилось пять небольших микроконхид. Их размер одинаков, что говорит об одновременном их поселении на раковины краниид.

На одном кораллите наблюдался приросший одиночный четырёхлучевой коралл характерной рогообразной формы. Чашка данного коралла обращена в противоположную сторону от чашки Tabulophyllum longiseptatum. Размер приросшего кораллита составляет 4,0 мм.

На одном экземпляре наблюдалась раковина продуктиды с характерными иглами вдоль замочного края, приросшая к кораллиту плоской спинной створкой. Размер данной раковины составляет 5,8 мм.

Поселение изученных мшанок, на наш взгляд, в большинстве случаев было прижизненным. Об этом может свидетельствовать их обычное прикрепление с разных сторон к кораллитам с неразрушенной эпитекой. Однозначным указанием на прижизненное прикрепление можно считать ограничение крупной (49,0 мм), занимающей фрагмент кораллита на всю длину, бугорчатой колонии мшанок краем чашки, в которой находился полип.

Прикрепление изученных микроконхид могло быть как прижизненным, так и посмертным. В пользу прижизненного прикрепления трубок говорит их расположение на кораллитах хорошей сохранности (с сохранившейся эпитекой), а также частое расположение на всей площади кораллитов. Это хорошо заметно, когда на кораллитах развито много мелких трубок. Частое наличие на кораллитах спиралей разного размера может свидетельствовать о

последовательном поселении микроконхид в несколько этапов. На некоторых кораллитах наблюдаются трубки одинакового размера. Это говорит о том, что их прикрепление было одновременным. Наличие на кораллитах трубок разного размера свидетельствует о прикреплении микроконхид в несколько этапов. В пользу посмертного прикрепления может указывать прикрепление трубок только с одной стороны кораллитов.

Прикрепление краниид, продуктид и ругоз могло быть как прижизненным, так и посмертным.

Выводы

На долю кораллитов с мшанками приходится 58,4% от общего числа изученных Tabulophyllum longiseptatum (Bulv.), а на долю образцов с микроконхидами – 28,0% что свидетельствует о массовом использовании эпибионтами крупных кораллов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о широком распространении мшанок и микроконхид в палеобиоценозах. Доля краниид, продуктид и ругоз–эпибионтов ничтожно мала.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
3. Дубова В.Д., Мустафина А.Ф., Комаров В.Н. О находках мшанок на полипняках Tabulophyllum longiseptatum (Bulv.) (Tetracoralla) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 193–208.
4. Дубова В.Д., Мустафина А.Ф., Комаров В.Н. О находках мшанок на полипняках Tabulophyllum longiseptatum (Bulv.) (Tetracoralla) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 109. С. 200–214.
5. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.

Первые находки эпибионтов на раковинах атиридид Cryptothyrella norilica (Nikiforova) из агидыйского горизонта (теличский ярус, лландовери, силур) бассейна реки Верхняя Томба (Якутия)

Карташова З.Д.* (МГРИ, kartashovazlata@yandex.ru),
Куртикова Е.Л. (МГРИ, KURTIKOVALIZA@GMAIL.COM)

Аннотация

Приведены данные о находках эпибионтов на атиридидах Cryptothyrella norilica (Nikiforova) из агидыйского горизонта (теличский ярус, лландовери, силур) бассейна реки Верхняя Томба (Якутия). На долю раковин с мшанками приходится 3,6%, с микроконхидами – 3,2%, а с корнулитидами – 1,6% от общего числа изученных образцов Cryptothyrella norilica, что свидетельствует об очень редком использовании эпибионтами раковин атиридид в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о малочисленности прираставших организмов в палеобиоценозах.

Ключевые слова

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, корнулитиды, атиридиды, агидыйский горизонт, теличский ярус, лландовери, река Верхняя Томба, Якутия

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых разных ископаемых донных организмов [1–5]. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии.

Материалом для данного исследования послужила коллекция атиридид Cryptothyrella norilica (Nikiforova) численностью 251 экземпляр. Коллекция была собрана в Якутии в бассейне реки Верхняя Томба (бассейн реки Оленёк). Материал происходит из омнутахской свиты (нижнеагидыйский подгоризонт, нижний и низы среднего телича, лландовери, силур). Брахиоподы представлены раковинами хорошей сохранности и внутренними ядрами.

При детальном анализе имеющихся материалов на 19 раковинах Cryptothyrella norilica (что составляет 7,6% от их общего числа) были найдены различные эпибионты – мшанки, микроконхиды и корнулитиды (рис. 1). Мшанки были обнаружены на девяти экземплярах Cryptothyrella norilica – на пяти брюшных и на шести спинных створках. При этом у двух образцов колонии мшанок были выявлены на обеих створках. Приведённые данные показывают, что мшанкам было всё равно, на какой створке атиридид поселятся. Среди мшанок нами были выявлены три различных морфотипа.

Чаще всего (на пяти раковинах) нами наблюдались тонкие ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных коротких или длинных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке (рис. 1, фиг. *2*), по архитектуре напоминающие род Corynotrypa. Данный род насчитывает порядка 26 видов. Распространены представители этого таксона в ордовике и силуре Эстонии, а также в интервале от ордовика до перми в США и Западной Европе (Англия, Германия, Норвегия, Польша, Франция, Швеция). На трёх образцах отмечены массивные обрастающие корковые сетчатые колонии, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата (рис. 1, фиг. *1*). Подобные мшанки, по всей видимости, относятся к роду Atactotoechus (отряд Trepostomida). Колонии рода Atactotoechus могут быть массивными или ветвистыми с прерывисто утолщёнными стенками. Род Atactotoechus объединяет несколько видов, имеющих

сравнительно широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода ограничено средним и верхним девоном. На двух образцах зафиксированы мшанки в виде относительно толстых массивных ветвей, по всей видимости, принадлежащие к роду Leioclema. Следует отметить, что мшанки рода Leioclema характеризуются большой пластичностью и изменчивостью своих колоний, способных приспосабливаться к разным условиям обитания. Среди них преобладают ветвистые и обрастающие колонии. Мшанки рода Leioclema прикреплялись к субстрату только начальной частью – стелющимся, обрастающим субстрат основанием, от которого, постепенно поднимаясь вверх, развивалась ветвистая колония. Род Leioclema объединяет много видов, имеющих широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода охватывает интервал от ордовика до триаса.

У трёх образцов тонкие ветвящиеся колонии и одна сетчатая колония покрывают почти всю створку раковин атиридид и строго ограничены комиссурой. Одна раковина атиридиды с обеих сторон покрыта многочисленными тонкими ветвящимися колониями мшанок. Величина тонких ветвящихся колоний мшанок меняется от 0,1 мм до 17,2 мм, но обычно составляют 1,1–7,0 мм. Размеры массивных корковых колоний варьируют от 1,1 мм до 13,0 мм. Размеры ветвистых колоний меняются от 3,0 мм до 4,8 мм. Мшанки очень редко встречаются совместно с другими эпибионтами. Лишь на одном экземпляре они наблюдались совместно с микроконхидами. На одном образце наблюдалось прикрепление сетчатой колонии мшанок размером 1,4 мм к тонкой ветвящейся колонии мшанок.

Среди микроконхид нами предварительно установлен один вид – Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby, 1839) (рис. 1, фиг. *4, 5*). Трубки Palaeoconchus cf. tenuis обнаружены на восьми раковинах атиридид. Всего обнаружено 29 палеоконхусов.

Микроконхиды в абсолютно равных пропорциях покрывают как брюшную, так и спинную створки (на одном экземпляре микроконхиды одновременно обнаружены на обеих створках). Это однозначно указывает на то, что микроконхидам было не принципиально, на какой створке селиться. Обычно микроконхид на створках немного – от одной до шести. Максимальное число трубок на одной створке восемь, а на одной раковине – 12. На большинстве экземпляров микроконхиды прикреплены к центральным участкам створок. На четырёх образцах они, в том числе, расположены вблизи передней или боковых комиссур, иногда образуя гирляндное прикрепление, когда особи, входящие в гирлянду, имеют примерно одинаковую величину и расположены на одном расстоянии от переднего края. Среди Palaeoconchus cf. tenuis отмечены лишь спиральные трубки, округлые в плане, или, чаще, их фрагменты.

Целые и частично вскрытые трубки Palaeoconchus cf. tenuis встречаются в совершенно равных пропорциях. Насколько можно судить по экземплярам хорошей сохранности, трубки всегда характеризуются гладкой наружной поверхностью.

Размеры Palaeoconchus cf. tenuis небольшие. Они варьируют от 0,3 до 1,4 мм, но обычно составляют 0,3–0,6 мм в диаметре. Разброс размеров палеоконхусов на разных створках одинаков. Максимальный замеренный диаметр трубки в области апертуры составляет 0,4 мм, обычно он меньше.

Корнулитиды Cornulites Schlotheim, 1820 обнаружены на четырёх образцах – на двух брюшных и на двух спинных створках (рис. 1, фиг. *6*). Эти данные показывают, что корнулитидам было всё равно, на какой створке ринхонеллид поселятся. Всего обнаружено семь корнулитов.

Корнулитиды обычно располагаются в центральной части створок. Лишь один из них наблюдался вблизи переднего края. На двух образцах наблюдалось нарастание одного корнулита на другой.

Трубки правильной конической формы, стелющиеся по поверхности створок, почти прямые, или в различной степени изогнутые, направленные обычно в сторону переднего края раковин Cryptothyrella norilica. Большинство трубок почти целые. Лишь одна трубка частична вскрыта. От вскрытой части трубки осталась только нижняя, прикреплённая к створке, часть.

На всех корнулитах наблюдались очень линии роста. Они совпадают с отчётливыми пережимами и придают трубкам чётковидное строение. Расстояние между линиями роста составляет 0,37–0,41 мм.

Длина изученных Cornulites варьирует от 0,8 до 6,2 мм, но обычно меняется в пределах от 0,8 до 2,8 мм. Диаметр апертуры у изученных экземпляров достигает 1,44 мм.

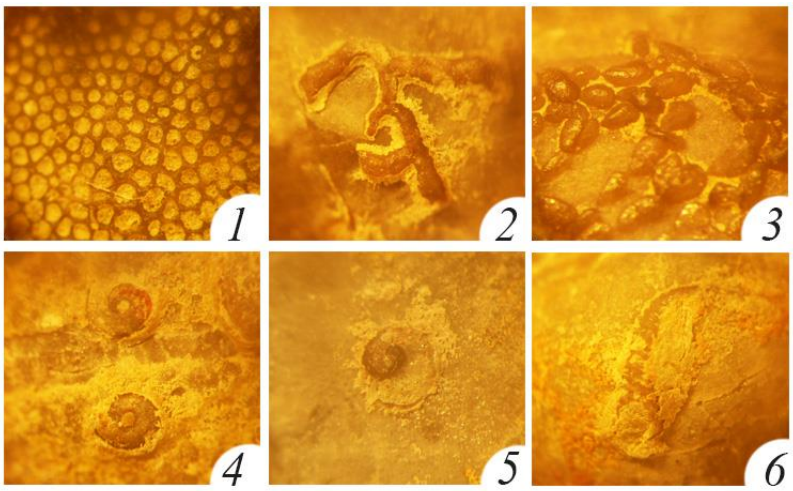


Рисунок 1. Эпибионты на раковинах атиридид Cryptothyrella norilica. Силур, лландовери, теличский ярус; Якутия, бассейн реки Верхняя Томба. Увеличено

Интересным является решение вопроса о том, прикреплялся ли эпибионт к скелету другого организма при его жизни или уже после гибели. В первом случае обе формы (и служащая субстратом, и прикрепившаяся) являются представителями одного палеобиоценоза и могут дать неоценимый материал для фациальных реконструкций. Во втором случае заключения, базирующиеся на экологическом исследовании обеих форм, были бы ошибочными, поскольку организм, являвшийся субстратом, мог не только не входить в состав данного комплекса, но и иметь значительно более древний возраст.

Поселение мшанок на изученных атиридидах могло быть как прижизненным, так и посмертным. О прижизненном прикреплении свидетельствуют находки колоний мшанок в непосредственной близости от комиссуры. Прикрепление у комиссуры, рядом с входящим потоком воды, создаваемым находившимися в постоянном движении ресничками лофофора брахиоподы, обеспечивало мшанкам лучшие условия питания. Это позволяло получать кислород для дыхания. Возможно, при резком захлопывании створок потоки воды могли способствовать очищению мшанок от ненужных частичек донных отложений. О прижизненном прикреплении может говорить также плотное расположение мшанок только на одной створке брахиопод. На посмертное прикрепление однозначно указывает поселение ветвистой колонии мшанок на комиссуре раковины брахиопод. На посмертный характер прикрепления могут указывать расположение мшанок на обеих створках брахиопод (как уже было указано, наблюдался один такой случай), а также прикрепление небольших колоний в центральной части створок. Прикрепление изученных микроконхид могло быть как прижизненным, так и посмертным. В пользу прижизненного прикрепления свидетельствуют

их расположение у самого края передней комиссуры, прикрепление только к одной створке, а также закономерное уменьшение размеров спиралей в сторону переднего края раковин брахиопод. В пользу посмертного прикрепления говорит расположение палеоконхусов на обеих створках брахиопод, а также, возможно, незакономерное распределение на раковинах брахиопод трубок различного размера.

Прикрепление корнулитид, на наш взгляд, было прижизненным. Об этом свидетельствует увеличение размеров трубок в сторону комиссуры раковины.

Выводы

На долю раковин с мшанками приходится 3,6%, с микроконхидами – 3,2%, а с корнулитидами – 1,6% от общего числа изученных образцов Cryptothyrella norilica, что свидетельствует об очень редком использовании эпибионтами раковин атиридид в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о малочисленности прираставших организмов в палеобиоценозах.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
3. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
4. Карташова З.Д., Куртикова Е.Л., Комаров В.Н. О находках мшанок на раковинах атиридид Cryptothyrella norilica (Nikiforova) (Brachiopoda) из агидыйского горизонта (теличский ярус, силур) бассейна реки Верхняя Томба (Якутия) // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 133–149.
5. Куртикова Е.Л., Карташова З.Д., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на раковинах атиридид Cryptothyrella norilica (Nikiforova) (Brachiopoda) из агидыйского горизонта (теличский ярус, силур) бассейна реки Верхняя Томба (Якутия) // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 154–168.

Новые данные о находках эпибионтов на раковинах атиридид Athyris kiltitalica Martynova из нижнего фамена бассейна реки Хантаги (Центральный Казахстан)

Комаров В.Н.* (МГРИ, komarovmgri@mail.ru),
Тарасов Д.А. (средняя школа № 80 города Ярославль, bublegum2222@mail.ru)

Аннотация

Приведены данные о находках мшанок на раковинах атиридид Athyris kiltitalica Martynova из хантагинской свиты (нижний фамен) бассейна реки Хантаги (северо–западный Каратау, Центральный Казахстан). На долю раковин с мшанками приходится 22,2% от общего числа изученных образцов Athyris kiltitalica, что свидетельствует о частом использовании мшанками скелетов атиридид в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о многочисленности мшанок в палеобиоценозах. На долю раковин и с микроконхидами и с краниидами приходится 7,6% от общего числа изученных образцов Athyris kiltitalica, что свидетельствует о редком использовании этими обрастателями скелетов атиридид в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить о редкости микроконхид и краниид в палеобиоценозах.

Ключевые слова

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, атиридиды, краниды, фаменский ярус, Каратау, Центральный Казахстан

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов [1–5]. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии.

Материалом для данного исследования послужила коллекция атиридид Athyris kiltitalica Martynova, 1961 численностью 185 экземпляров, находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция была собрана О.В. Юферевым в бассейне реки Хантаги на юго–западных склонах северо–западного Каратау (Центральный Казахстан). Материал происходит из аккузской пачки (хантагинская свита, нижний фамен). Брахиоподы представлены раковинами хорошей сохранности.

При детальном анализе имеющихся материалов на 50 раковинах Athyris kiltitalica (что составляет 27,0% от их общего числа) были найдены различные эпибионты – мшанки микроконхиды и краниды.

Мшанки были обнаружены на 41 экземпляре Athyris kiltitalica – на 19 брюшных и на 15 спинных створках. Кроме того, у семи экземпляров колонии мшанок были выявлены на обеих створках. Приведённые данные в целом показывают, что мшанкам было всё равно, на какой створке атиридид поселятся. Среди мшанок нами были выявлены четыре различных морфотипа. Чаще всего нами наблюдались массивные обрастающие корковые сетчатые колонии, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата. Данные колонии обнаружены на 23 раковинах (рис. 1, фиг. *1*). Подобные мшанки, по всей видимости, относятся к роду Atactotoechus (отряд Trepostomida). Колонии рода Atactotoechus могут быть массивными или ветвистыми с прерывисто утолщёнными стенками. Род Atactotoechus объединяет несколько видов, имеющих сравнительно широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода ограничено средним и верхним девоном. На девяти образцах

зафиксированы мшанки в виде относительно толстых массивных ветвей, по всей видимости, принадлежащие к роду Leioclema (рис. 1, фиг. *2*). Следует отметить, что мшанки рода Leioclema характеризуются большой пластичностью и изменчивостью своих колоний, способных приспосабливаться к разным условиям обитания. Среди них преобладают ветвистые и обрастающие колонии. Мшанки рода Leioclema прикреплялись к субстрату только начальной частью – стелющимся, обрастающим субстрат основанием, от которого, постепенно поднимаясь вверх, развивалась ветвистая колония. Род Leioclema объединяет много видов, имеющих широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода охватывает интервал от ордовика до триаса.

На пяти образцах зафиксированы бугорчатые колонии мшанок, по всей видимости, также принадлежащие к роду Leioclema (рис. 1, фиг. *3*). На четырёх образцах отмечены тонкие ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных коротких или длинных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке (рис. 1, фиг. *4*), по архитектуре напоминающие род Corynotrypa. Род насчитывает порядка 26 видов. Распространены представители данного таксона в ордовике и силуре Эстонии, а также в интервале от ордовика до перми в США и Западной Европе (Англия, Германия, Норвегия, Польша, Франция, Швеция).

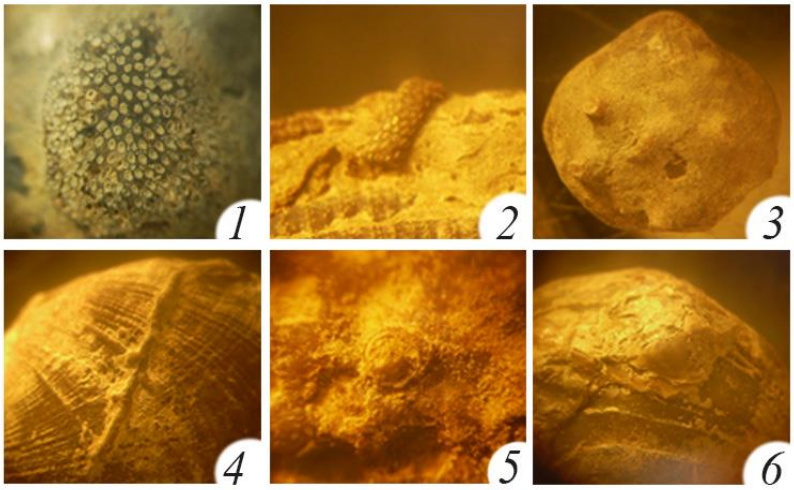


Рисунок 1. Эпибионты на раковинах атиридид Athyris kiltitalica Martynova: *1–4* – мшанки; *5* – микроконхиды Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby); *6* – краниды. Верхний девон, нижнефаменский подъярус, хантагинская свита; бассейн реки Хантаги, северо–западный Каратау, Центральный Казахстан. Увеличено

На 24 образцах выявлена одна колония мшанок, на 13 экспонатах – две колонии, на трёх раковинах – по три колонии. Лишь на одном образце мы насчитали шесть колоний. Всего, таким образом, обнаружено не менее 65 колоний мшанок.

Размеры массивных корковых колоний варьируют от 0,6 мм до 14,0 мм, но обычно составляют 0,9–4,0 мм. Размеры ветвистых колоний меняются от 1,1 мм до 16,0 мм. Размеры бугорчатых колоний составляют 2,0–17,0 мм. Величина тонких ветвящихся колоний мшанок меняется от 1,2 мм до 12,0 мм.

Интересным выявленным фактом можно считать крайнюю редкость совместного нахождения на одной створке различных морфотипов мшанок. Таких примеров обнаружено всего два. На одном экземпляре совместно обнаружены обрастающая корковая колония и тонкая ветвящаяся колония, на другом образце – обрастающая корковая колония и бугорчатая колония.

Среди микроконхид нами установлен один вид – Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby, 1839) (рис. 1, фиг. *5*).

Трубки Palaeoconchus cf. tenuis обнаружены на 14 раковинах атиридид. Всего обнаружено не менее 67 палеоконхусов.

Микроконхиды примерно в равных пропорциях покрывают как брюшную, так и спинную створки (на брюшных створках они встречаются немного чаще). На пяти раковинах (41,7% от общего числа раковин с микроконхидами) микроконхиды одновременно обнаружены на обеих створках. Это однозначно указывает на то, что микроконхидам было не принципиально, на какой створке селиться.

Среди Palaeoconchus cf. tenuis отмечены лишь спиральные трубки, округлые в плане, или, чаще, их фрагменты. Тем не менее, следует отметить, что сохранность большинства Palaeconchus недостаточно хорошая и потенциально имевшиеся распрямлённые части трубок могли быть обломаны. Целые трубки Palaeoconchus cf. tenuis встречаются немного чаще частично или полностью вскрытых. Насколько можно судить по экземплярам хорошей сохранности, трубки всегда характеризуются гладкой наружной поверхностью.

Размеры наблюдаемых Palaeoconchus cf. tenuis небольшие. Они варьируют от 0,1 до 2,3 мм, но обычно составляет 0,1–1,2 мм в диаметре. Разброс размеров палеоконхусов на разных створках одинаков. Максимальный замеренный диаметр трубки в области апертуры составляет 0,66 мм, обычно он меньше.

На 14 образцах удалось обнаружить прикреплённых краниид (рис. 1, фиг. *6*).

На восьми экземплярах было найдено по одной раковине краниид. На трёх – две раковины. На двух – три раковины. Всего, таким образом, было обнаружено 20 беззамковых брахиопод.

Беззамковые брахиоподы характеризуются низкоконической, округлой или субовальной формы в плане спинной створкой со смещённой вершиной. Периферийные участки раковины бывают уплощены. Скульптура представлена отчётливыми тесно расположенными концентрическими линиями роста, расстояние между которыми варьирует от 0,08 мм до 0,2 мм. Краниды обнаружены нами на 10 брюшных створках и четырёх спинных створках Athyris kiltitalica. При этом на одной раковине они встречены на обеих створках. Краниды почти всегда располагаются вблизи боковой или передней комиссуры. Лишь три раковины краниид были прикреплены к средней части брюшной створки Athyris kiltitalica. Размеры раковин краниид варьируют от 1,5 мм до 7,4 мм, но обычно составляют 3,6–6,2 мм.

Поселение мшанок на изученных атиридидах могло быть как прижизненным, так и посмертным. О прижизненном прикреплении свидетельствуют находки колоний мшанок в непосредственной близости от комиссуры. Прикрепление у комиссуры, рядом с входящим потоком воды, создаваемым находившимися в постоянном движении ресничками лофофора брахиоподы, обеспечивало мшанкам лучшие условия питания. Это позволяло получать кислород для дыхания. Возможно, при резком захлопывании створок потоки воды могли способствовать очищению мшанок от ненужных частичек донных отложений. На посмертное прикрепление однозначно указывает пересечение колонией мшанок комиссуры раковины брахиопод. Подобное наблюдалось нами на пяти экземплярах. О посмертном прирастании определённо говорит также расположение колонии мшанок у на разрушенной части одной раковины. На посмертный характер прикрепления могут указывать расположение мшанок на обеих створках брахиопод, а также их расположение в центральной или задней части створок. Прикрепление изученных микроконхид могло быть как прижизненным, так и посмертным. В пользу прижизненного прикрепления свидетельствуют расположение многих из них у самого края передней комиссуры, а также отчётливое уменьшение размеров трубок по мере приближения к переднему краю брюшной створки. В пользу посмертного прикрепления

говорит расположение палеоконхусов на обеих створках брахиопод, а также незакономерное распределение на раковинах брахиопод трубок различного размера. Прикрепление большинства изученных краниид, несомненно, было прижизненным. В пользу этого свидетельствует их расположение вблизи передней или боковой комиссуры. По всей видимости, прижизненным было и прикрепление краниид, находящихся в средней части створок Athyris kiltitalica.

Выводы

На долю раковин с мшанками приходится 22,2% от общего числа изученных образцов Athyris kiltitalica, что свидетельствует о частом использовании мшанками скелетов атиридид в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о многочисленности мшанок в палеобиоценозах. На долю раковин и с микроконхидами и с краниидами приходится 7,6% от общего числа изученных образцов Athyris kiltitalica, что свидетельствует о редком использовании этими обрастателями скелетов атиридид в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может свидетельствовать о редкости микроконхид и краниид в палеобиоценозах.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
3. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
4. Карташова З.Д., Куртикова Е.Л., Комаров В.Н. О находках мшанок на раковинах атиридид Athyris kiltitalica Martynova (Brachiopoda) из нижнего фамена бассейна реки Хантаги (Центральный Казахстан)// Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 178–192.
5. Тарасов Д.А., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на раковинах атиридид Athyris kiltitalica Martynova (Brachiopoda) из нижнего фамена бассейна реки Хантаги (Центральный Казахстан) // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 108. С. 112–126.

Холдфасты стебельчатых иглокожих на брахиоподах и четырёхлучевых кораллах

Комаров В.Н.* (МГРИ, komarovmgri@mail.ru),
Петрова А.Н. (МГРИ, asiya_ovchinnikova@mail.ru),
Трайдова Л.С. (МГРИ, traidova-l@yandex.ru)

Аннотация

Приведены данные о холдфастах, обнаруженных у 11 видов брахиопод и четырёхлучевых кораллов из ордовикских, силурийских, девонских и пермских отложений различных регионов.

Ключевые слова

Эпибионты, брахиоподы, четырёхлучевые кораллы, иглокожие, холдфаст

Теория

Детальное изучение эпибиоза – поселения одних организмов на поверхности других – чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов, на что неоднократно указывалось в научной литературе [1, 4, 5].

В процессе исследований, у 26 образцов, относящихся к 11 видам, среди эпибионтов были выявлены холдфасты. Среди указанных 11 видов девять относятся к брахиоподам и лишь два к четырёхлучевым кораллам. Образцы с холдфастами крайне редки. Их доля составляет лишь 0,3% от общего числа изученных экземпляров.

Холдфасты представляют собой прикрепительные образования на дистальном конце стебля иглокожих. На основании изучения холдфастов из ордовикских отложений Ленинградской области [2, 3, 7, 8] было предложено разделить их на две большие группы: неветвящиеся и ветвящиеся. Первая из этих групп, в свою очередь, была разделена на две подгруппы: неветвящиеся без внутренней полости и неветвящиеся с внутренней полостью. Среди ордовикских холдфастов Ленинградской области было выделено 22 морфотипа [3].

Ниже в возрастной последовательности (от древних к молодым) кратко описан изученный материал.

Ортиды Antigonambonites planus (Pander, 1830) собраны в восточной части Ленинградской области в отложениях среднего ордовика (дапинский ярус, волховский горизонт) на правом берегу реки Волхов в карьерах близ д. Симанково и д. Бабино. На одном экземпляре (что составляет 0,3% от общего числа изученных экземпляров) обнаружен эпибионт, представляющий собой неветвящийся монолитный холдфаст. Он располагается на спинной створке недалеко от передней комиссуры и имеет размер 1,4 мм.

Ортиды Orthambonites calligramma (Dalman, 1828) найдены в восточной части Ленинградской области в отложениях среднего ордовика (дарривильский ярус, кундаский горизонт) на реке Волхов в черте одноимённого города ниже плотины Волховской ГЭС. Холдфаст выявлен на одном экземпляре (что составляет 1,1% от общего числа изученных образцов). Он находится вблизи макушки брюшной створки и имеет размер 5,3 мм.

Пентамериды Licophoria globosa (Eichwald, 1829) собраны в Ленинградской области на реке Волхов, в черте одноимённого города, ниже плотины Волховской ГЭС в отложениях среднего ордовика (дарривильский ярус, азериский горизонт). На трёх брюшных створках (что составляет 1,5% от общего числа изученных образцов) встречены холдфасты. На всех образцах выявлено по одному холдфасту. Два холдфаста расположены непосредственно у передней комиссуры. Один холдфаст наблюдался на некотором расстоянии от боковой комиссуры. Размер холдфастов составляет 2,4, 2,7 и 4,0 мм соответственно.

Ортиды Clitambonites schmidti (Pahlen, 1877) обнаружены в Ленинградской области в карьере в окрестностях д. Алексеевка в отложениях верхнего ордовика (сандбийский ярус, кукрузеский горизонт). На пяти спинных створках (что составляет 9,6% от общего числа изученных образцов) обнаружены холдфасты. На трёх створках выявлено по одному холдфасту. Ещё на двух экземплярах обнаружено по два холдфаста. Расположение холдфастов различно. Лишь один из них прикреплён непосредственно у боковой комиссуры. Один холдфаст наблюдался в центральной части створки. Остальные располагаются на некотором расстоянии от передней или боковой комиссуры. Размер холдфастов составляет 1,6, 2,2, 3,5, 4,5, 4,6 и 6,0 мм соответственно.

Ортиды Clitambon anomalus (Schlothheim, 1822) собраны в Ленинградской области в карьере к западу от с. Елизаветино в отложениях верхнего ордовика (сандбийский ярус, кейлаский горизонт). На одной брюшной створке (что составляет 2,3% от общего числа изученных раковин) обнаружено четыре холдфаста. Три из них располагаются в непосредственной близости от передней комиссуры, а один на некотором удалении от неё. Размер эпибионтов составляет 1,0, 2,2, 2,3 и 4,0 мм соответственно.

Ринхонеллиды Estonirhynchia estonica H. Schmidt, 1954 собраны в силурийских отложениях (венлокский отдел, шейнвудский ярус, регионарус Яани, слои Парамайя) клифа Парамайя (остров Сааремаа, Эстония). На одном образце (что составляет 0,4% от общего числа изученных раковин) обнаружено не менее 27 мелких, размером 0,9–1,3 мм, холдфастов. Холдфасты располагаются на обеих створках.

Атрипиды Atrypa reticularis var. nieczlawiensis Kozl. найдены в Подолии в окрестностях села Малиновцы в породах силурийской системы (лудловский отдел, малиновецкая серия). Холдфаст обнаружен на спинной створке одного образца, что составляет 1,6% от общего числа изученных раковин. Размер холдфаста 8,1 мм.

Атрипиды Atrypa (Kyrtatrypa) culminigera Struve, 1966 обнаружены в Закавказье на левом берегу реки Джаанам–Дереси, в 1,5 км к западу от горы Казма в отложениях зоны Mucrospirifer diluvianoides – Radiomena irregularis (средний девон, верхний эйфель). Холдфаст выявлен лишь на одной спинной створке рядом с передней комиссурой. Следует отметить, что изученная коллекция атрипид очень большая. Доля образцов с холдфастами практически равна нулю. Размер холдфаста 4,3 мм.

Атрипиды Iowatrypa timanica (Markovsky) собраны на Южном Тимане (р. Ухта, урочище Сирачой) в отложениях верхнего девона (верхнефранский подъярус, сирачойская свита). Холдфасты обнаружены на четырёх образцах, что составляет 0,6% от общего числа изученных раковин. Два холдфаста найдено на брюшных створках и два на спинных створках. Три холдфаста расположены непосредственно у передней комиссуры, а один на небольшом расстоянии от неё. Размер холдфастов 1,0, 1,1, 2,1, 3,1 мм соответственно.

Кораллиты четырёхлучевых кораллов Tabulophyllum weberi (Leb.) собраны на Южном Тимане (р. Ухта, урочище Сирачой) в отложениях верхнего девона (верхнефранский подъярус, сирачойская свита). Холдфасты обнаружены на четырёх образцах, что составляет 0,32% от общего числа изученных кораллитов. Размеры холдфастов 2,4, 2,9, 5,0, 10,0 мм соответственно.

Кораллиты четырёхлучевых кораллов Calophyllum profundum (Germar, 1842) найдены в карьере, расположенном в 1,5 км к югу от с. Байтуган в Камышлинском районе (северо–восток Самарской области). Материал происходит из байтуганских слоёв нижнеказанского подъяруса средней перми. Холдфасты обнаружены на четырёх образцах, что составляет 0,5% от общего числа изученных экземпляров. Размер холдфастов 0,8, 1,3, 2,1, 2,5 мм соответственно.

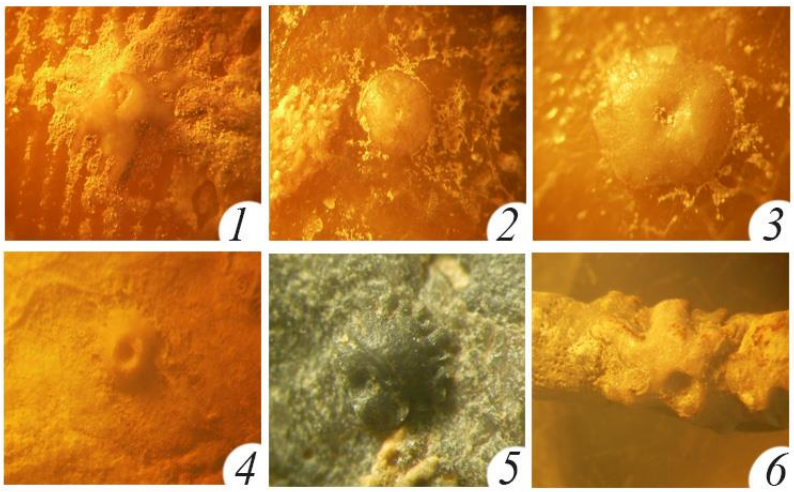


Рисунок 1. Холдфасты различных морфотипов: *1* – на Licophoria globosa (Eichwald); *2* – на Clitambonites schmidti (Pahlen); *3* – на Licophoria globosa (Eichwald); *4* – на Calophyllum profundum (Germar); *5* – на Atrypa (Kyrtatrypa) culminigera Struve; *6* – на Tabulophyllum weberi (Leb.) Увеличено

На одном экземпляре Licophoria globosa (рис. 1, фиг. *1*), вероятно, обнаружен холдфаст Hemicosmites, характеризующийся треугольным сечением осевого канала. У одного экземпляра Clitambonites schmidti (рис. 1, фиг. *2*) найдены холдфасты, по мнению Г.А. Анекеевой, похожие на прикрепительное образование “Lichenocrinus” [6]. По данным [3], оно относится к морфотипу Cav–G – неветвящихся холдфастов с внутренней полостью. К ним принадлежат многотаблитчатые холдфасты куполообразной формы с круглым в плане основанием, без лопастей, с маленькой утопленной стеблевой фасеткой, узким (но довольно широким относительно фасетки) пятиугольным в сечении осевым каналом и хорошо развитыми септами во внутренней полости.

Помимо указанных, в изученной коллекции, можно предполагать наличие и других морфотипов. Морфотип Hol–A наблюдался на Licophoria globosa (рис. 1, фиг. *3*), Antigonambonites planus и Calophyllum profundum. К данному морфотипу относятся низкие дисковидные холдфасты с узким пятиугольным в сечении, осевым каналом, слегка утопленной стеблевой фасеткой и концентрическим рельефом на ее поверхности [3]. Морфотип Hol–C отмечен на Calophyllum profundum (рис. 1, фиг. *4*). К этому морфотипу принадлежат низкие, округлые в плане холдфасты, полого возвышающиеся к стеблевой фасетке, с округлым в сечении осевым каналом и со следами границ между члениками в проксимальной части [3]. Морфотип Hol–D зафиксирован на Estonirhynchia estonica и Atrypa (Kyrtatrypa) culminigera (рис. 1, фиг. *5*). Данный морфотип объединяет низкие холдфасты со складчатым или поделённым на лопасти основанием, слегка приподнятой проксимальной частью, вогнутой стеблевой фасеткой со следами радиальной скульптуры и узким пятиугольным в сечении осевым каналом [3]. Морфотип Hol–G наблюдался на Iowatrypa timanica и Tabulophyllum weberi (рис. 1, фиг. *6*). К этому морфотипу принадлежат низкие, полого возвышающиеся к стеблевой фасетке холдфасты с разделённым на лопасти основанием и пятилучевым в сечении осевым каналом [3].

Выводы

Проведённое исследование показало, что образцов с холдфастами очень мало. Обычно их доля составляет от 0,3% до 1,6% от общего числа проанализированных в каждой группе образцов. Приведённые цифры свидетельствуют о крайне редком использовании стебельчатыми иглокожими скелетов брахиопод и кораллов в качестве субстрата.

Прикрепление стебельчатых иглокожих в большинстве случаев было прижизненным. На это указывает расположение холдфастов только на одной створке брахиопод или только с одной стороны кораллитов.

У 34,6% образцов холдфасты встречаются с другими эпибионтами – либо единичными мшанками, либо единичными микроконхидами. Лишь у Estonirhynchia estonica холдфасты ассоциируют одновременно с микроконхидами и табулятами.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Анекеева Г.А. Холдфасты иглокожих из ордовикских отложений Ленинградской области: сопоставление морфотипов с таксонами естественной систематики и приуроченность к типам грунтов // Современная палеонтология: классические и новейшие методы. М: ПИН РАН, 2023. С. 9.
3. Анекеева Г.А. Становление морфологического разнообразия прикрепительных образований стебельчатых иглокожих из ордовика Ленинградской области // Диссертация на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Москва. 2023. 147 с.
4. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
5. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
6. Хинтс Л.М., Рожнов С.В., Соловьев А.Н. Своеобразные прикрепительные образования морских лилий из ордовика Эстонии // Проблемы изучения ископаемых и современных иглокожих. Таллинн. Изд–во АН Эстонской ССР, 1989. С. 134–138.
7. Anekeeva G.A., Rozhnov S.V. Unbranched holdfasts of stemmed echinoderms from the Middle Ordovician of the Leningrad region // Paleontological Journal. 2020. V. 54. No 7. P. 715–727.
8. Anekeeva G.A., Rozhnov S.V. Branched holdfasts of stemmed echinoderms from the Middle Ordovician of the Leningrad region // Paleontological Journal. 2021. V. 55. No 10. P. 1100–1108.

О некоторых особенностях геологии Сюрташа

Комаров В.Н. (МГРИ, komarovmgri@mail.ru),*
Агафонова Г.В. (NATs FGBU "VNIGNI", agafonovagv@mgri.ru),
Трайдова Л.С. (МГРИ, traidova-l@yandex.ru)

Аннотация

Приведены данные об особенностях геологического строения античного городища Сюрташ, являющегося уникальным археологическим памятником и крупнейшим эллинистическим поселением на Азовском побережье Крымского полуострова. Впервые описаны две разновидности известняков из блоков строительных конструкций.

Ключевые слова

Геологическое строение, мэотический ярус, археологический памятник, эллинистическое поселение, Сюрташ, Золотое Восточное, органогенно–обломочные известняки, биогермные известняки, Керченский полуостров

Теория

Античное городище Сюрташ (в переводе с тюрского – острый камень) или Золотое Восточное является уникальным археологическим памятником и крупнейшим эллинистическим поселением на Азовском побережье Крымского полуострова [6].

Городище, основное население которого составляли греки, расположено на севере Керченского полуострова в 4,5 км к северо–востоку от села Золотое и занимает плоское прибрежное плато, поверхность которого расположена на высоте 30–40 м над уровнем моря. Площадь поселения в пределе оборонительных стен около 1,52 га. С севера, со стороны моря, плато ограничено непреступным скалистым обрывом, с юга и востока более пологими обрывами и глубокой Сюрташской балкой, по которой протекает ручей. С юго–западной стороны над холмом городища возвышается цепь скалистых кряжей с высокой сопкой, а на востоке от него расположена Сюрташская бухта с несколькими колодцами. Вероятно, источники пресной воды были здесь и в древности.

Рельеф вблизи городища отличается большим разнообразием. Территория памятника и окружающие его холмы сложены массивными мшанковыми биогермными и массивно–плитчатыми биокластовыми известняками–ракушечниками мэотического яруса, вытянутыми цепочкой вдоль берега моря. Возраст аналогичных пород на полуострове Казантип указывается более детально как ранний мэотис [2–4]. Пространство между рифами выполнено слоистыми известняками–ракушечниками и сцементированными глинами. Ниже залегают алевролиты и аргиллиты сарматского яруса. Подошва мэотического яруса испытывает пологое (5–10°) падение в северном направлении, образуя северное крыло крупной Караларской антиклинальной складки, ось которой расположена в 1,2–1,5 км южнее и вытянута в северо–восточном направлении [5]. На возвышенных прибрежных пространствах прочные рифовые постройки отпрепарированы плоскостным смывом и выражены в виде крутых известняковых холмов. Как правило, рифовые известняки выступают в море мысами, а в податливых к размыву межрифовых отложениях или оползневых телах волны выработали бухты с песчано–ракушечными пляжами.

Среди блоков местных горных пород, из которых выполнены строительные конструкции на восточном раскопе Сюрташа, авторами были установлены две основные разновидности известняков [1].

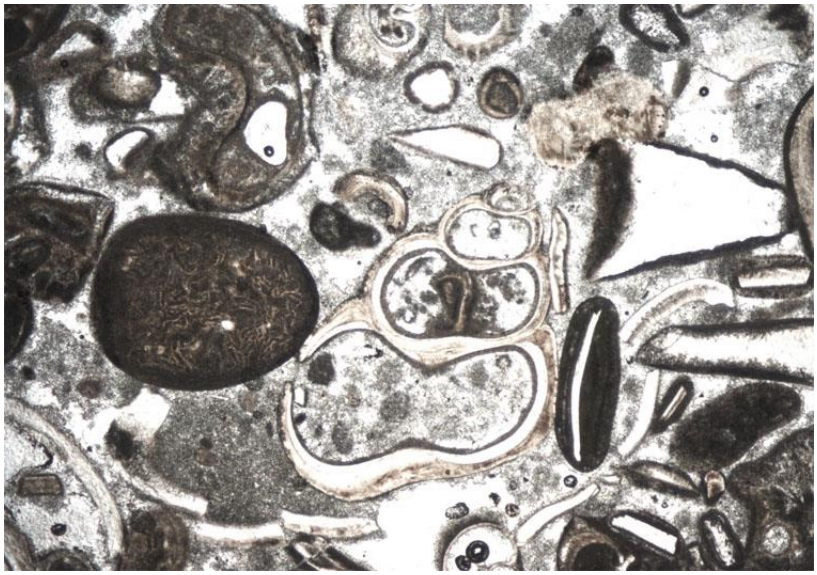


Рисунок 1. Известняк органогенно–обломочный, х25, н //. Фото Г.В. Агафоновой

Первая разновидность (рис. 1) представлена известняком желтовато–серым, органогенно–обломочным, с оолитами, разнозернистым, сложенным раковинами гастропод, а также створками и фрагментами створок двустворок. Преобладают обломки песчаного размера, однако встречаются и гравийные обломки. Порода крепкая, пористо–кавернозная. Изучение шлифов показало, что известняк сложен обломками раковин гастропод (преобладают) и фрагментами створок двустворчатых моллюсков. Встречаются единичные целые мелкие раковины двустворок, редкие раковины целых гастропод, а также неопределимые органогенные остатки. Размер обломков изменяется от 0,1 до 7 мм. Обломочная часть резко не сортированная. В целом, сохранность форменных компонентов хорошая. Часть обломков служит ядрами, вокруг которых образуются концентры пелитоморфного карбоната, при этом образуются оолиты. На некоторых обломках видны следы работы камнеточцев в виде округлых и удлиненно изогнутых канальцев. Пространство между форменными компонентами заполнено микрокристаллическим кальцитом (0,05–0,005 мм). Последний образует тончайшие крустификационные корки вокруг обломков, а также располагается между ними. Однако в шлифах есть участки, в пределах которых между обломками локализуется пелитоморфный карбонат с размером кристаллов менее 0,005 мм. Многочисленные поры и каверны располагаются между обломками и реже внутри них. Микротекстура известняка беспорядочная, пятнистая, обусловленная сочетанием участков разного строения.

Вторая разновидность (рис. 2, 3) представлена известняком биогермным губково–мшанковым, серым со слабым голубоватым оттенком. Порода содержит целые раковины двустворок размером до 3–х см, обломки створок двустворчатых моллюсков, колонии мшанок. Между крупными компонентами располагается микрокристаллический известняк.

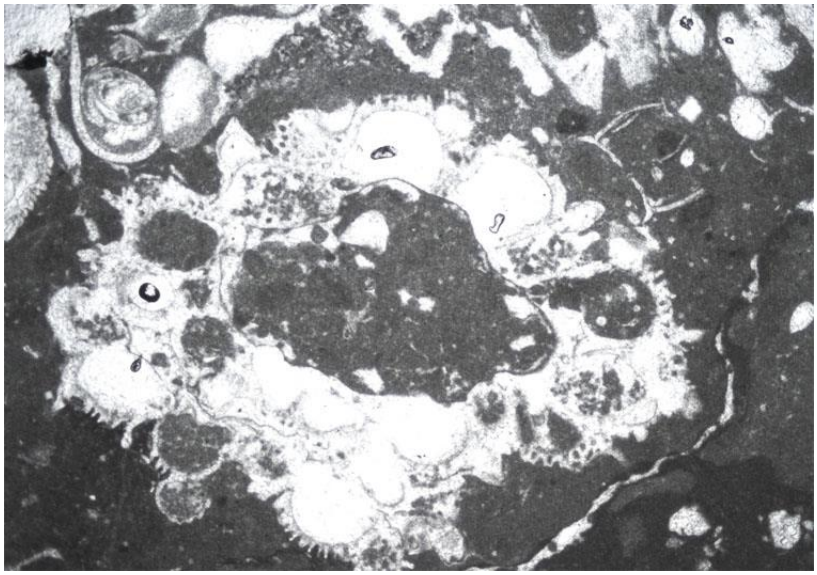


Рисунок 2. Известняк биогермный губково–мшанковый. Мшанковая колония, х25, н //. Фото Г.В. Агафоновой

Порода очень крепкая, плотная. На выветрелой поверхности обнаруживаются каверны. Известняк сложен мшанковыми колониями, обрастающими губки. Сохранность мшанок плохая. Зооэции в колониях заполнены пелитоморфным, микрокристаллическим карбонатом или внутри них образуются пустоты. Контуры колоний причудливые, изгибающиеся. На общем темном фоне породы они выделяются более светлой окраской.

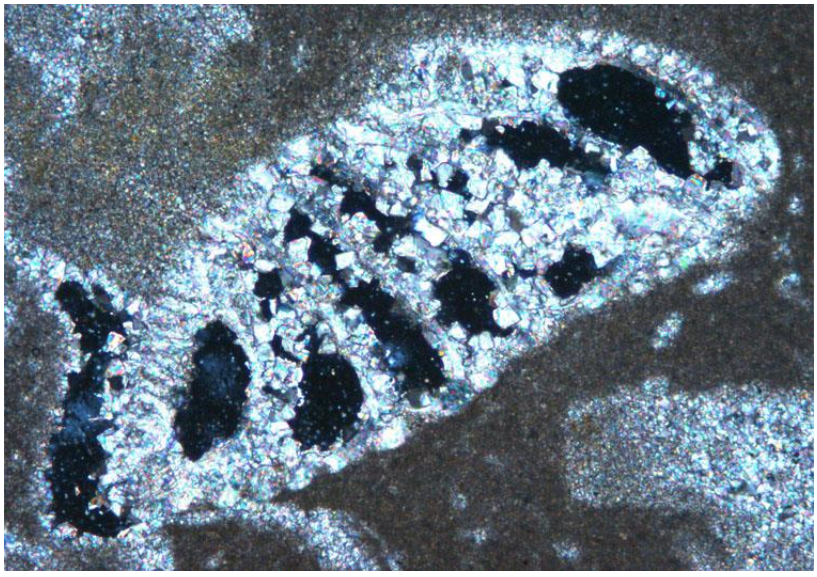


Рисунок 3. Известняк биогермный губково–мшанковый, раковина фораминиферы, х 100, н *х.*+ Фото Г.В. Агафоновой

Скелет губок характеризуется пелитоморфной массой, в которую погружены многочисленные спикулы разной формы. Материал–заполнитель отличается разным строением. Между колониями локализуется мелкодетритовый мшанковый, реже раковинный материал. Редко встречаются целые раковины гастропод и единичные фораминиферы.

Встречаются участки, заполненные микрокомковатым карбонатным материалом, пелитоморфным карбонатом, шламом.

Выводы

В блоках строительных конструкций Сююрташа, являющегося уникальным археологическим памятником и крупнейшим эллинистическим поселением на Азовском побережье Крымского полуострова, впервые установлены и описаны две разновидности мэотических известняков.

К первой разновидности относятся известняки желтовато–серого цвета, органогенно–обломочные, с оолитами, разнозернистые, сложенные раковинами гастропод, а также створками и фрагментами створок двустворок.

Вторая разновидность представлена серыми известняками со слабым голубоватым оттенком, биогермными губково–мшанковыми.

Библиография

1. Агафонова Г.В., Трайдова Л.С., Комаров В.Н. Об особенностях известняков из строительных конструкций Сююрташа // Инновации. Наука. Образование. 2025. № 113. С. 7–23.
2. Антошкина А.И. Микросферолиты в биогенно–абиогенной системе карбонатообразования (на примере нижнемэотических карбонатов, мыс Казантип, Керченский п–ов) // Вестник геонаук. 2023. № 11. С. 26–36.
3. Антошкина А.И., Леонова Л.В., Симакова Ю.С. Нижнемэотические мшанковые биогермы мыса Казантип, Крым: новая концепция палеоэкологической обстановки их природы // Литология и полезные ископаемые. 2022, № 57 (6). С. 597–624.
4. Антошкина А.И., Леонова Л.В., Валяева О.В., Симакова Ю.С. Лито–, минерало– и геохимическая специфика формирования нижнемэотических отложений природного заповедника “Казантипский”, Крым // Геохимия. 2024, том 69, № 3. С. 293–309.
5. Корженков А.М., Масленников А.А., Овсюченко А.Н., Ларьков А.С., Супренков А.А. Сейсмические деформации в урочище Сююрташ в Крымском Приазовье // Вестник геонаук. 2019. № 24. С. 370–397.
6. Трайдова Л.С., Комаров В.Н. Античное городище Сююрташ – уникальный археологический памятник Керченского полуострова // Инновации. Наука. Образование. 2025. № 113. С. 117–132.

Архитектура миниатюрных биогенных построек позднего венда и ее создатели

Литвинова Т.В. (ГИН РАН, litvinova-geo5@ mail.ru)*

Аннотация

На границе венда и кембрия произошли принципиальные изменения в истории Земли, направившие в иное русло множество геологических процессов. Пожалуй, самое значительное из них – биотическая перестройка, одному из ее интереснейших эпизодов в эволюции планеты и посвящена работа.

В позднем венде установлены миниатюрные строматолиты с филигранной архитектурой, а также выявлены разнообразные по строению микроонколиты. Эти постройки сыграли роль промежуточного звена между глобальными рифами протерозоя с крупными онколитами в кровле и небольшими биогенными постройками фанерозоя. В работе рассматриваются их микроскопические строители, характеризующиеся чрезвычайным разнообразием в пределах небольшой площади, что и отразилось на текстурно-структурных особенностях рассматриваемых построек.

Ключевые слова

Венд, строматолиты, онколиты, микрофоссилии, структура

Источники финансирования

Данная работа выполнена в рамках госбюджетной темы Геологического института РАН (г. Москва) “Периодизация протерозоя и роль глобальных изменений среды и климата в эволюции докембрийской биосферы” (FMMG-2023- 0004Б).

Теория

В бюкской свите Березовского прогибе и в ее стратиграфическом аналоге, тиновской свите Байкало-Патомского нагорья Сибири, установлены соответственно строматолитовые линзы мощностью около 350-400 мм и черные микроонколиты размером от 250 мкм до 2 мм в диаметре. В работе представлены выявленные в них микроорганизмы и обсуждаются особенности их микробного состава, а также причины возникновения в позднем венде этих миниатюрных построек.

Исследование проводилось на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega. Пробы из строматолитов и микроонколитов, пробы размером 20 × 20 мм опылялись золотом в вакумной колонне. Состав микроорганизмов в форме массового процента доли цемента определялся с помощью микрозондовой приставки Aztes.

Микрофоссилии и их роль в построении строматолитов и микроонколитов

На юго-востоке Сибирской платформы, в верхней части бюкской свиты Берёзовского прогиба, установлены пластово-столбчатые (рис. 1а) строматолитовые линзы небольшой мощности (350-400 мм). Слоистость обусловлена чередованием светлой карбонатной и органогенной темной породы с выпуклыми в направлении роста слоями, прерывающимися при подходе к боковой стенке столбиков. Органогенный слой практически целиком представлен почти непрерывающейся плотной бактериальной пленкой поливидового характера, он включает остатки коккоидные цианобактерии Myxococcoides sp. (рис. 1б); мелкие деформированные эллипсовидные микрофоссилии Archaeoellipsoides sp.; более крупные остатки организмов кубической формы с шестью частично вогнутыми вовнутрь гранями (рис. 1в).

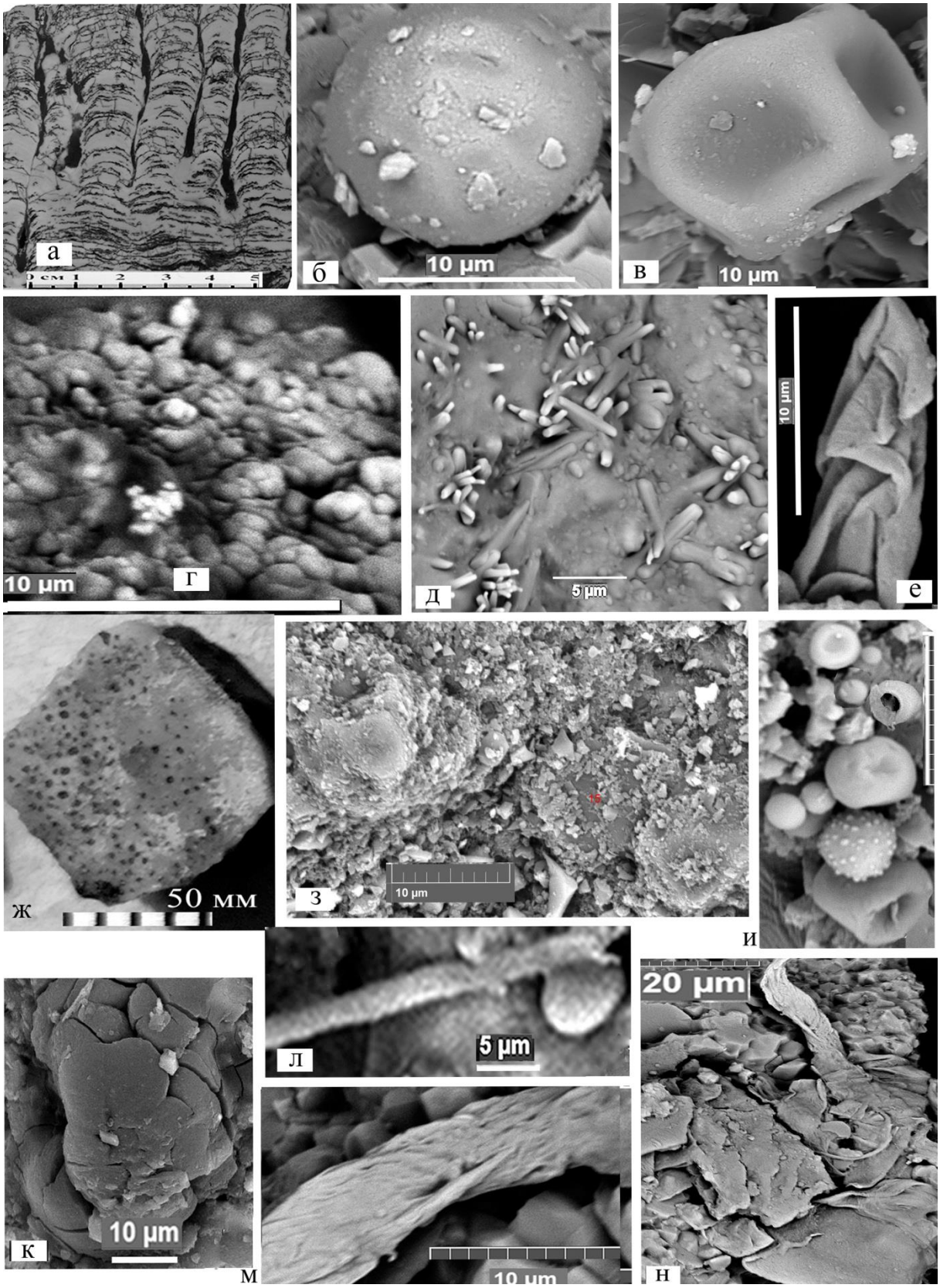


Рисунок 1. Микрофоссилии в строматолитах и микроонколитах позднего венда Сибири

Кроме единичных находок, в нем установлены также участки скопления организмов: 1) вкрапленники (400-600 мкм[2)] с тесно соприкасающимися сфероидоидными клетками – плеурокапсовидная колония микрофоссилий (рис. 1г) округленно-гроздьевидной формы; 2) прямые палочковидные остатки микрофоссилий равносторонней цилиндрической формы (рис. 1д), беспорядочно разбросанные на большой площади (до 3600 мкм^2); 3) пучки с тесно переплетающимися нитчатыми микрофоссилиями лентовидной формы (рис. 1е). Симбиоз одинаковых таксонов микроорганизмов отделен от остальных относительно плотными слизистыми перегородкам – «гидравлическими развязками» (Kim, McCarter, 2007), способными не допускать обмена водой с окружающей средой.

В черных известняках тиновской свиты венда Байкало-Патомского нагорья В. Сибири выявлены (рис. 1ж) микроонколиты (250 мкм – 2 мм в диаметре, рис. 1з) весьма разнообразного строения. Среди них выделяются следующие: 1) сложные – заполнены несколькими произвольно расположенными ультрамикроонколитами, постройка оторочена общей многослойной оболочкой (фоссилизированными остатками нитчатых микрофоссилий); 2) гнездовидные сложены множеством коккоидных клеток разнообразного строения (круглые, цилиндрические, с притупленными шипами – рис. 1и); 3) монолитные – практически полностью упакованы пелитоморфным органогенным материалом (рис. 1к); 4) минерально-органогенные – включают остатки отдельных коккоидных и нитчатых микрофоссилий (рис. 1л); 5) однородные – сложены пучками нитчатых микрофоссилий и спресованных бактериальных пленок (рис.1 м, н). В гнездовидных микроонколитах установлены мицелиальные водные грибы (Литвинова, Колосов, 2023), не оказавшие заметного влияния на их строение. В качестве еще одного необычного типа следует отметить группу идентичных по размеру микроонколитов, в которых полностью отсутствует минеральная составляющая. Они сложены фоссилизированными шаровидными почками и полностью переработанными дрожжевыми грибами. Отсутствие органического материала в них (Litvinova, Kolosov, 2024) указывает на длительное нахождение частиц во взвешенном состоянии. В столбчатых строматолитах бюкской свиты также присутствуют дрожжевые грибы (Колосов, 2021), но здесь они не встречаются совместно с другими остатками организмов, а формируют отдельные ультрамикрослои в пределах органогенных слоев.

В бюкских минипостройках наблюдается своеобразная и достаточно сложная дифференциация любой из групп таксонов. С одной стороны, фотосинтезирующие цианобактерии, каждый морфотип которых не смешивался с остальными, с другой– кислородопотребляющие грибы. Первые создавали наблюдаемую ныне постройку, вторые уничтожали продукты распада их жизнедеятельности, способные привести к гибели сообщества. Подобная «безотходная» деятельность приводило биосистему в равновесие и позволяло ей развиваться.

Выводы

Небольшая мощность отложений и фациальная изменчивость указывают на распространение в позднем венде мелководных хорошо прогреваемых бассейнов, в которых складывалась, казалось бы, благоприятная обстановка для расцвета цианобактериального сообщества. Однако характерная для подобных водоемов нестабильность гидродинамического и температурного режимов вынуждали микроорганизмы тщательно выбирать местожительство. Наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности поздневендских строителей строматолитов складывались в небольших углублениях дна, обеспечивающих им необходимое для роста пространство (Журавлева, 1972) и защиту от волнений. Сообщество микроорганизмов, способное эволюционировать в ответ на изменения окружающей среды, включало в свой состав различные популяции микрофоссилий. Каждая из колоний была обособлена в пределах одного слоя гигроскопическими фрагментами

гликокаликса (слизи). Эти гидравлические развязки оберегали их от агрессивных внешних воздействий (приливов и отливов, волнения, прямых солнечных лучей, резких колебаний температуры, обезвоживания и т.д.). Продукты распада жизнедеятельности организмов не могли выноситься течением из таких выемок, но они периодически утилизировались дрожжевыми грибами, паразитирующими на заключительной стадии формирования бактериальной пленки, которая возникала на каждом последовательно выпадающем осадке. В результате сформировались линзовидные тонкослоистые строматолиты, органогенный слой которых на периферии построек резко обрывается, указывая на неприемлемые для сообщества условия за пределами наблюдаемой ныне постройки.

В формировании онколитов на регрессивной стадии существования водоема основную роль сыграли коккоидные микрофоссилии, которые в условиях гидродинамической активности переносились во взвешенном состоянии. Прилипание к ним находящихся во взвеси минеральных песчинок утяжеляли планктон и приводили к оседанию частиц на дно, но только самые крупные из них обрастали нитчатыми цианобактериями. Ныне результат этого процесса наблюдается в виде многослойной оболочки сложных микроонколитов. Выделяемый кворумом сообщества гликокаликс (гелеобразная масса) позволяет относительно длительное время, по сравнению с минеральным материалом, удерживать водный баланс в постройках. В результате высыхания слизь преобразовывается и в породе предстает в виде обрывков бактериальных пленок, широко распространенных в микроонколитах.

Таким образом, в результате сложившейся в поздневендских бассейнах обстановки микроорганизмы могли осваивать лишь ограниченные участки дна, недостаточно комфортные условия которых нейтрализовались сообществом созданием отдельных колоний с взаимодополняющими функциями. Это и определило облик (структуру, форму и размер) построек переходного времени, значительно отличающихся от более ранних и последующих за ними строматолитов и онколитов.

Библиография

1. Журавлева И.Т. Раннекембрийские фациальные комплексы археоциат (р .Лена, среднее течение) // Проблемы биостратиграфии и палеонтологии нижнего кембрия Сибири М.: Наука, 1972. С. 31-109.
2. *Колосов П.Н.* Грибы уникальной сохранности в венде (эдиокарий) Якутии // Палеонтологический журнал, 2021. № 4, С. 103 – 110.
3. Литвинова Т.В., Колосов П.Н. Биотические и абиотические процессы в микроонколитах // Фундаментальные проблемы и вклад в региональное геологическое изучение недр. С.-Петербург: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2023. 414-419 с.
4. Kim, Y. K., and McCarter, L. L. ScrG, a GGDEF-EAL Protein, Participates in Regulating Swarming and Sticking in in Vibrio parahaemolyticus // Bacteriol. 2007. 189. P. 4094-4107
5. Litvinova T.V., Kolosov P.N. The constructive and destructive and role of organisms in the formation of microcoliths the Tinovo formation in the Venda of the Baikal-Patomsky Highlands of Eastern Siberia. Paleontological Journal 2024.Vol. 58, No. 8, pp. 108–117

Новые данные о находках эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Caninia okensis Stuck. из серпуховского яруса Центрального Казахстана

Петрова А.Н. (МГРИ, asiya_ovchinnikova@mail.ru)*

Аннотация

Приведены новые данные о находках эпибионтов на четырёхлучевых кораллах Caninia okensis Stuck. из серпуховского яруса Центрального Казахстана. На долю кораллитов с мшанками приходится 9,7% от общего числа изученных Caninia okensis, на долю образцов с микроконхидами – 6,7%, а на долю образцов с корнулитидами – 0,33%, что свидетельствует о редком использовании эпибионтами скелетов погибших кораллов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о редкости обрастателей в палеобиоценозах.

Ключевые слова

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, корнулитиды, четырёхлучевые кораллы, серпуховский ярус, Центральный Казахстан

Теория

Детальное изучение эпибиоза (поселения одних организмов на поверхности других) чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов [1–5]. Анализ прикрепляющихся форм позволяет дополнить представления об эколого–трофическом и таксономическом составе палеобиоценозов и тенденциях в их развитии. Материалом для данного исследования послужила коллекция Caninia okensis Stuck., 1904 численностью 297 экземпляров, находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция была собрана Н.В. Литвинович в 1963 г. в западной части Центрального Казахстана (Джезказганская впадина, река Койкельды). Материал происходит из серпуховского яруса. Кораллы представлены кораллитами хорошей сохранности, длина которых варьирует от 19,0 мм до 93,0 мм. Серпуховские отложения западной части Центрального Казахстана представлены мелководными песчано–глинистыми и карбонатными фациями. Мощность отложений достигает 462 м. Они содержат большое число ископаемых остатков: фораминифер, кораллов, остракод, наутилоидей, гониатитов, мшанок, брахиопод, криноидей. В руководящий комплекс серпуховского яруса района реки Койкельды входят кораллы Caninia okensis Stuck., Lithostrotion portlocki E. et H., Cyathophyllum jagovkini Gorsky, Thachylasma tenui Kab., Corvenia stuckenbergi Dobr., Dibunophyllum bipartitum M'Coy, D. douglasi Sal., Arachnolasma cylindricum Ju., Michelinia rectotabulata Vas. Кораллы западной части Центрального Казахстана представляют своеобразный комплекс, значительно отличающийся от комплексов кораллов Европы, Урала и Кузнецкого бассейна. По нижнекаменноугольной коралловой фауне западная часть Центрального Казахстана разделяется на два района: северный (реки Ишим, Аккан–Бурлук, Конур, Арчалы и Нижний Колутон) и южный (реки Болеуты, Койкельды, Джезды, Джаксы–Кон, Кипчак и Терс–Аккан). Коралловая фауна этих двух районов существенно отличаются друг от друга. В составе комплексов преобладают кораллы рода Caninia. В верхней части разреза серпуховских отложений в большом количестве встречаются Caninia okensis Stuck. В серпуховских отложениях, по сравнению с другими толщами нижнего карбона, встречается наибольшее число ископаемых остатков, что позволяет предполагать наиболее благоприятные условия существования с широкой связью данного палеобассейна с Каратауским (Среднеазиатским) палеобассейном. Одиночные четырёхлучевые кораллы были связаны с карбонатным субстратом, содержащим значительную песчаную примесь, что соответствует областям подвижных вод, откуда глинистые частицы уносились, в то время как песчаные зёрна

осаждались в значительном количестве. Наиболее обильны и разнообразны одиночные четырёхлучевые кораллы там, где происходило накопление известковистых осадков – на отмелях или в неглубоких участках моря, удалённых от береговой зоны. Поселения одиночных четырёхлучевых кораллов определялось в основном гидродинамической активностью. В условиях мелководья, в обстановке большой подвижности воды расселялись крупные одиночные кораллы с массивной текой. Там, где подвижность воды была незначительной, появлялись мелкие тонкостенные кораллы. Род Caninia Michelin, 1840 относится к семейству Cyathopsidae Dybowski, 1873. К роду Caninia относятся одиночные двузонные кораллы конической или цилиндрической формы, нередко изогнутые, с толстой, морщинистой эпитекой. Септы двух циклов, большие и малые. Большие септы длинные, но не доходящие до центра коралла. Они утолщены около главной септы и тонкие – около противоположной. Малые септы очень короткие, плохо заметные, поэтому кажется, что есть только один цикл длинных больших септ. Главная септа короткая утолщенная; она находится в широком и открытом межсептальном пространстве (открытая фоссула). Противоположная септа тонкая, длинная. Днища от горизонтальных до различно выпуклых. Днища примыкают к пузырям – диссепиментам. Род Caninia имеет очень широкое распространение. Он известен из девонских, каменноугольных и пермских отложений России (Русская плита, Новая Земля, Кузнецкий бассейн, Северо–Восток и др.), Казахстана, Европы (Англия, Бельгия, Испания, Норвегия, Франция), Турции, США, Канады, Гватемалы, Боливии, Австралии, Китая, Вьетнама. Вид Caninia okensis Stuck. имеет широкое распространение в пределах Русской плиты. В Подмосковном бассейне он часто встречается в стешевском горизонте серпуховского яруса. При детальном анализе имеющихся материалов на 37 кораллитах Caninia okensis (что составляет 12,4% от общего числа изученных кораллитов) были найдены различные эпибионты – мшанки, микроконхиды и корнулитиды. При детальном анализе имеющихся материалов на 29 экземплярах Caninia okensis были найдены мшанки (рис. 1, фиг. *1–3*). Среди мшанок нами были выявлены два различных морфотипа. Для их точной диагностики необходимы прозрачные ориентированные шлифы и использование методов томографии. Чаще всего нами наблюдались массивные обрастающие корковые колонии, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата. Подобные колонии обнаружены на 23 кораллитах (рис. 1, фиг. *1–2*). Подобные мшанки, по всей видимости, относятся к роду Atactotoechus (отряд Trepostomida). Колонии рода Atactotoechus могут быть массивными или ветвистыми с прерывисто утолщёнными стенками. Акантопоры отсутствуют или очень редкие и мелкие. Род Atactotoechus объединяет несколько видов, имеющих сравнительно широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода ограничено средним и верхним девоном.

На 10 кораллитах наблюдались ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке (рис. 1, фиг. *3*), по архитектуре очень напоминающие род Eridotrypa, известный из ордовикских, силурийских и девонских отложений различных регионов мира. На четырёх образцах различные морфотипы мшанок встречены совместно. На 12 образцах выявлена только одна колония мшанок, на семи – две колонии, на пяти – три колонии, на одном – четыре, на двух – пять и на двух образцах – шесть колоний мшанок. Всего, таким образом, выявлено не менее 61 колонии мшанок. Размеры мшанок варьируют от 0,8 мм до 50,0 мм, но обычно составляют 3,0–13,0 мм. Обычно мшанки покрывают небольшие участки, но у четырёх экземпляров (длина 28,0; 38,0 и 50,0 мм соответственно) колония мшанок покрывает обломок кораллита на всю его длину. Возможно, данные колонии были и крупнее. На 12 кораллитах различные эпибионты были обнаружены совместно – на 11 из них совместно наблюдались мшанки и микроконхиды, а на одном образце к ним добавились корнулитиды.

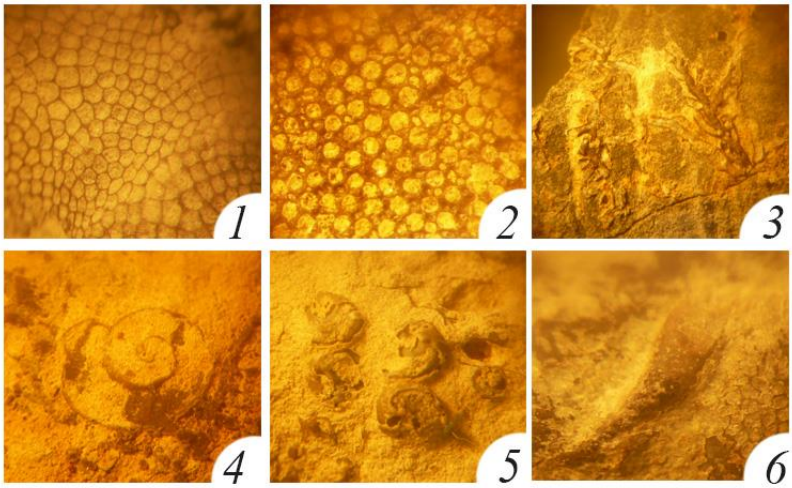


Рисунок 1. Эпибионты на кораллитах Caninia okensis Stuck.: *1–3* – мшанки; *4–5* – микроконхиды Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby); *6* – корнулитиды Cornulites Schlotheim. Нижний карбон, серпуховский ярус; Центральный Казахстан. Увеличено

Среди микроконхид нами предварительно установлен один вид – Palaeoconchus cf. tenuis (Sowerby, 1839). Трубки Palaeoconchus cf. tenuis обнаружены на 20 кораллитах (рис. 1, фиг. *4–5*). Всего обнаружено не менее 125 трубок палеоконхусов. Число трубок на кораллитах различно. Обычно на одном кораллите наблюдалось от одной до пяти трубок. Иногда трубки очень обильны. Так, на одном из кораллитов их было обнаружено 24. Микроконхиды прикреплены к кораллитам хаотично, располагаясь без каких–то закономерностей в самых разных их местах. Обычно микроконхиды располагаются на расстоянии друг от друга. Однако часто трубки расположены очень тесно, соприкасаясь друг с другом. Среди микроконхид в подавляющем большинстве случаев отмечены спиральные округлые в плане трубки. На одном образце наблюдалась спиральная трубка, которая затем раскручивалась. Ещё на одном образце обнаружена трубка неправильных очертаний. В совершенно равных пропорциях наблюдались как целые, так и в различной степени вскрытые трубки. Обычно вскрытыми оказались более крупные трубки. Насколько можно судить по экземплярам хорошей сохранности, трубки характеризуются гладкой наружной поверхностью. Лишь у одного экземпляра на поверхности наблюдались линии роста, совпадающие с пережимами. Расстояние между пережимами составляет 0,2 мм. На трубке неправильных очертаний наблюдались отчётливые тончайшие линии роста, расстояние между которыми составляет сотые доли миллиметра. Размеры наблюдаемых Palaeoconchus cf. tenuis варьируют от 0,1 до 4,1 мм, но обычно составляют 0,6–2,4 мм в диаметре. Наиболее часто (14 экземпляров) встречались спирали диаметром 2,0 мм. Максимальный замеренный диаметр трубки в области апертуры составляет порядка 1,18 мм, обычно он значительно меньше. Корнулитиды Cornulites Schlotheim, 1820 выявлены лишь на одном образце (рис. 1, фиг. *6*). Всего обнаружено семь корнулитов. Трубки правильной конической формы, стелющиеся по поверхности створок, почти прямые, или слабо изогнутые. Описанные в литературе случаи, когда трубки Cornulites приподнимаются над поверхностью створки, нами не наблюдались. Трубки в различной степени вскрыты. На некоторых корнулитах наблюдались довольно отчётливые линии роста, совпадающие с пережимами и придающие трубкам чётковидное строение. Расстояние между линиями роста составляет 0,17 мм. Длина изученных Cornulites варьирует от 0,6 до 2,9 мм. Диаметр апертуры у изученных экземпляров достигает 0,48 мм. Поселение изученных мшанок, на наш взгляд, в большинстве случаев было прижизненным. Об этом может свидетельствовать их обычное прикрепление с разных сторон к кораллитам с неразрушенной эпитекой. Однозначным показателем

посмертного прикрепления можно считать обнаружение колонии мшанки в чашке одного кораллита. Поселение изученных микроконхид и корнулитид, на наш взгляд, в основном было прижизненным. Об этом может свидетельствовать их прикрепление к кораллитам с сохранившейся эпитекой, а также расположение эпибионтов с разных сторон кораллитов.

Выводы

На долю кораллитов с мшанками приходится 9,7% от общего числа изученных Caninia okensis, на долю образцов с микроконхидами – 6,7%, а на долю образцов с корнулитидами – 0,33%, что свидетельствует о редком использовании эпибионтами скелетов погибших кораллов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о редкости обрастателей в палеобиоценозах.

Библиография

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2023. 148 с.
2. Вологина А.С., Кальбова П.И., Карташова О.П., Короленко П.С., Лебедянцева В.Я., Миронова Д.Н., Молодова В.Д., Монгуш А.Э., Ширяева П.В., Комаров В.Н. Очерки эпибиоза. М.: ООО “ТИИЦ”, 2024. 118 с.
3. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. Девонские эпибионты. М.: ООО “ТИИЦ”, 2021. 82 с.
4. Петрова А.Н., Комаров В.Н. О находках мшанок на кораллитах Caninia okensis Stuck. из серпуховского яруса Центрального Казахстана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 111. С. 22–35.
5. Петрова А.Н., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на кораллитах Caninia okensis Stuck. из серпуховского яруса Центрального Казахстана // Инновации. Наука. Образование. 2024. № 111. С. 36–48.

Парагенез угленосных и фэновых формаций в мезозойских грабенах Забайкалья

Стукалова И.Е.* (МГРИ, Геологический институт РАН, iestukalova@mail.ru),
Гусев И.М. (МГУ им. М.В.Ломоносова, iestukalova@mail.ru)

Аннотация

В работе предлагается модель формирования юрско-меловых угленосных отложений Забайкалья, которые накапливались в грабенах среди холмистого равнинного рельефа в составе фэновых формаций. Широкое участие в строении этих формаций мощных толщ грубообломочных пород связывается не с предгорным рельефом, приводящем к образованию моласс, а обусловлено разрушением бортовых уступов грабенов, формирующихся в обстановке стабилизации вертикальных тектонических движений и выравнивания областей денудации.

Ключевые слова

Парагенез формаций, угленосные отложения, фэновые формации

Теория

На территории Забайкалья в впадинах-грабенах широко развиты юрские и нижнемеловые угленосные отложения. Их строение и состав достаточно хорошо изучены и описаны во многих работах [1, 2, 4]. Однако, вопрос о палеогеографических условиях накопления юрско-меловых отложений и генезисе мощных угольных пластов в этом регионе остается открытым. В работе новые данные о фациальном характере отложений сопоставляются с вещественно-петрографическим составом и степенью метаморфизма углей. Работа посвящена вопросам генезиса юрско-меловых угленосных толщ Забайкалья, на примере Гусиноозерской, Иволгинско-Удинской и Тугнуйской впадин.

Особенностью юрских и нижнемеловых осадочных комплексов является высокая угленасыщенность, присутствие мощных и сверхмощных (до 40-50 м) пластов углей и широкое развитие в прибортовых разрезах впадин мощных грубообломочных толщ. Наличие последних позволяло относить эти отложения к семейству угленосных моласс, заполнявших древние межгорные впадины. В работах, посвященных изучению этих угленосных отложений, не объясняются причины интенсивного углеобразования в небольших межгорных впадинах, синхронно с активным привносом из областей денудации большого объема грубообломочного материала, который должен был подавлять образование древних торфяников.

В настоящее время установлено, что мезозойские впадины Западного Забайкалья, заполненные угленосными отложениями, представляют собой преимущественно односторонние тафрогенные грабены или грабены-синклинали. Их цепочки приурочены к зонам разломов древнего заложения северо-восточного простирания, движения вдоль которых неоднократно проявлялись в мезозое. Системы близлежащих грабенов, сливаясь между собой, нередко образуют крупные долинообразные депрессии. В современном горном рельефе последние представляют собой систему удлиненных отрицательных структур, шириною от 3-5 км до 15-20 км и протяженностью до 50-70 км. Мощность мезозойских отложений изменяется в диапазоне 500 – 2500 м (рис.1).

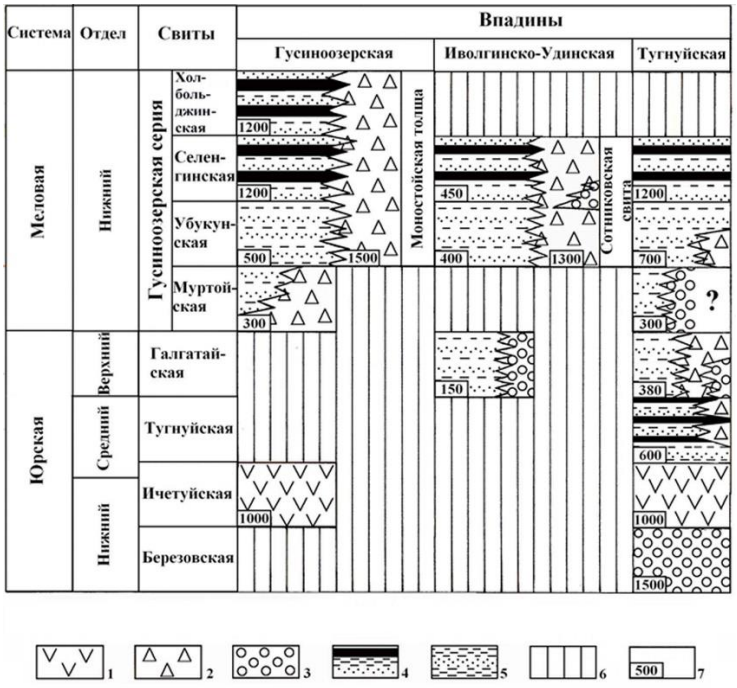


Рисунок 1. Схема стратиграфии и корреляции юрско-меловых отложений Гусиноозерской, Иволгинско-Удинской и Тугнуйской впадин Западного Забайкалья: 1–эффузивы, 2–глыбово-дресвяно-брекчиевые отложения, 3–валунно-гравелито-конгломератовые отложения, 4–переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов с пластами углей, 5–переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов, слабо угленосных, 6–перерывы в осадконакоплении, 7–цифры в углу колонок–максимальные мощности отложений в метрах

В осевых частях удлиненных впадин-грабенов развиты песчано-алевритовые и глинистые отложения, содержащие пласты углей. Тонкообломочные отложения вдоль приподнятого борта впадин сменяются грубообломочными породами, среди которых преобладают брекчии конгломератов, гравелиты, сцементированные дресвяники, часто с включениями глыб и валунов. Наиболее угленасыщенная холбольджинская свита содержит 16-17 рабочих пластов мощностью от 2-4 до 30-53 м.

Изученные угли гумусовые, в основном состоят из остатков древесных растительных тканей, но отличаются содержанием микрокомпонентов группы фюзинита. В Гусиноозерских нижнемеловых углях среди микрокомпонентов преобладают витринитовые ткани, что говорит об накоплении их в анаэробных условиях в обводненных болотах. В Тугнуйских юрских углях отмечается повышенное содержание фюзенизированных компонентов, значит фациальные условия были несколько иными - от аэробных (окисление и образование фюзинита в малообводненных болотах) до анаэробных (образование витринита в обводненных болотах).

Среди углей Гусиноозерского месторождения выделяются гелинито-телинитовые и гелинито-посттелинитовые петрографические типы. Угли среднеюрской тугнуйской свиты из рудника Саган-Нур Тугнуйской впадины отличаются от углей Гусиноозерского месторождения, в них углях преобладают гелифюзинито-гелинито-посттелинитовые, иногда переходящие в преколлинитовые, петрографические типы.

С учетом широкого развития в составе мезозойских отложений Западного Забайкалья мощных грубообломочных толщ, а также наличия пластов углей, при палеогеографических или палеотектонических реконструкциях они относились к семейству угленосных моласс, которые накапливались в эпиплатформенный орогенный этапы развития региона.

В работе показано, что мезозойские комплексы в Забайкалье заполняют грабены, сформировавшиеся на холмистых равнинах, в обстановках преобладающего растяжения земной коры [5]. При этом было установлено, что накопление грубообломочных отложений в составе фэновых формаций, строго контролировалось их приуроченностью к подножью бортовых уступов грабенов. По направлению к центральным осевым частям депрессий эти отложения быстро сменялись тонкообломочными фациями равнинного аллювия с широким развитием на пойме проточных озер и болот (Рис.2).

Следует отметить, что фэновые формации (комплексы) впервые были выделены на территории Монголии, где к ним относили юрские угленосные отложения, заполняющие грабены [3].

Для грубообломочных пород равнинной фэновой формации, в отличие от предгорной молассы (Рис. 2б), характерно преобладание неокатанных или плохо окатанных обломков пород, слагающих отложения делювия, коллювия или временных потоков, а также широкое развитие гравитационных микститов (олистостром).

Выводы

Формирование угленосных формаций Забайкалья происходило в узких впадинах-грабенах и контролировалось непрерывным опусканием области торфонакопления в течение длительного времени, расцветом бурной древесной растительности в юрское и меловое время в условиях гумидного климата.

Хочется подчеркнуть, что в курсе «Формационный анализ, который разработан В.М.Цейслером, многие годы возглавлявшим кафедру региональной геологии во МГРИ и сейчас читается этот курс. Много нового в его разработку внесено А.В.Туровым, ныне возглавляющим кафедру палеонтологии и региональной геологии. Неизменно кафедра придерживается понятий формаций в генетическом смысле, что означает разработку теоретических представлений в геологии и насыщению теории практикой, наработками и конкретными геологическими примерами, где геологам удалось побывать, посмотреть своими глазами и сделать собственные выводы. Этому – практическому воплощению полученных в институте знаний мы пытаемся научить наших студентов, магистров и аспирантов. Кроме этого, на кафедре имеется большая коллекция каменного материала для практических занятий.

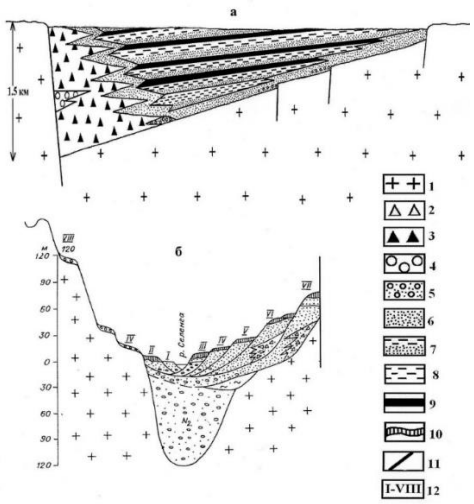


Рисунок 2. Схемы строения фэновой формации и молассы в Забайкалье, ***а***–фэновой формации, заполняющей односторонний грабен (для среднеюрско-нижнемеловых отложений, ***б***–молассы, выполняющей эрозионную долину (на примере верхненеоген-четвертичных отложений в долине

р.Селенги: 1–породы фундамента, 2–щебень и дресва, 3–брекчии, конгломерато-брекчии, конгломераты с плохо окатанными обломками, 4–галечники, конгломераты, 5–гравийники, гравелиты, 6–пески, песчаники, 7–переслаивание алевролитов и глин, 8–глины, 9–угли, 10–четвертичные почвенные горизонты, 11–разломы, 12–номера четвертичных террас р. Селенги

Данная работа также отражает теоретические и практические исследования и является одним из наглядных примеров формирования парагенезиса формаций и развития одного из интересных геологических объектов, когда тонкие озерно-болотные отложения находятся в парагенезисе с крупнообломочными конгломератами фэновых отложений. Для этого необходимы вышеперечисленные геологические условия формирования формаций и смены формаций в латеральном формационном ряду.

Библиография

1. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. М.: Недра. Т. 9, кн.1, 1973, 692 с.
2. История верхнемезозойского угленакопления на территории Бурятской АССР и юго-восточной части Ленского бассейна М., Л.: Изд-во АН СССР, 1963, 335 с.
3. 3. Полянский Б.В., Бадамгаров Ж. Фэновые комплексы юрских континентальных бассейнов Западной Монголии. // Литология и полезные ископаемые, 1992, № 5. С. 133-139
4. Скобло В.М., Лямина Н.А., Лузина И.В. Континентальный верхний мезозой Прибайкалья и Забайкалья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 329 с.
5. Цеховский Ю.Г., Япаскурт О.В., Стукалова И.Е. Седиментогенез в мезозойско-кайнозойских континентальных рифтах Центральной Евразии // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2014. № 5. С. 78 – 86.

Характеристика палеобиоценозов на основе кораллов живетского яруса (средний девон) Павловского и Михайловского карьеров Воронежской антеклизы

Яцкин Д.А.* (Воронежский государственный Университет, denisackin@gmail.com)

Аннотация

В процессе нескольких геологических экскурсий был получен палеонтологический материал (одиночные и колониальные кораллы) из живетских отложений среднего девона Павловского карьера в Воронежской области и Михайловского карьера в Курской области. Удалось установить принадлежность кораллов к родам и видам *Tabulophyllum sp., Thamnophyllum pedderi Mc Lean, Eridophyllum seriale × M.-Edwarjls et J. Haime, Marisastrum sedgwicki M.-Edwarjlset J. Haime, Hexagonaria bulvankerae (Soshkina), Aulopora compacta Tchernychev, Aulopora serpens Goldfus, Altaipohyllum belgebaschicum Ivania, Salairophyllum sp.* а также установить палеогеографическую обстановку изученных территорий.

Ключевые слова

Кораллы, средний девон, центральное девонское поле, палеонтология, морфология

Источники финансирования

Отсутствуют.

Теория

Михайловское железорудное месторождение располагается в Курской области, в центральной части Михайловского района. Географические координаты месторождения - 52°15′00″-52°21′40″ северной широты и 35°24′22″-35°28′07″ восточной долготы.

В геологическом строении Михайловского рудного поля и Михайловского месторождения принимают участие два структурных этажа: нижний, сложенный метаморфизованными отложениями докембрия и верхний, представленный осадочными отложениями палеозоя и мезокайнозоя.

Шкурлатовское месторождение гранитов в настоящее время представляет собой крупный карьер (Павловский гранитный карьер), расположенный в 200 км на юг от Воронежа по автотрассе Воронеж — Ростов, в 12 км юго-восточнее г. Павловска и в 10 км от реки Дон.

В геологическом строении территории Павловского карьера принимают участие образования кристаллического фундамента и осадочного чехла. Первый представлен сложно дислоцированными, интенсивно метаморфизованными образованиями архея и нижнего протерозоя (граниты и амфиболиты). Перекрывающий фундамент чехол сформирован девонскими, меловыми и четвертичными отложениями.

Работа написана на основе материалов, собранных с Михайловского горно-обогатительного комбината (ГОК) и Павловского гранитного карьера. Для проведения исследований были использованы образцы девонских кораллов Михайловского и Павловского карьеров (Рис.1).

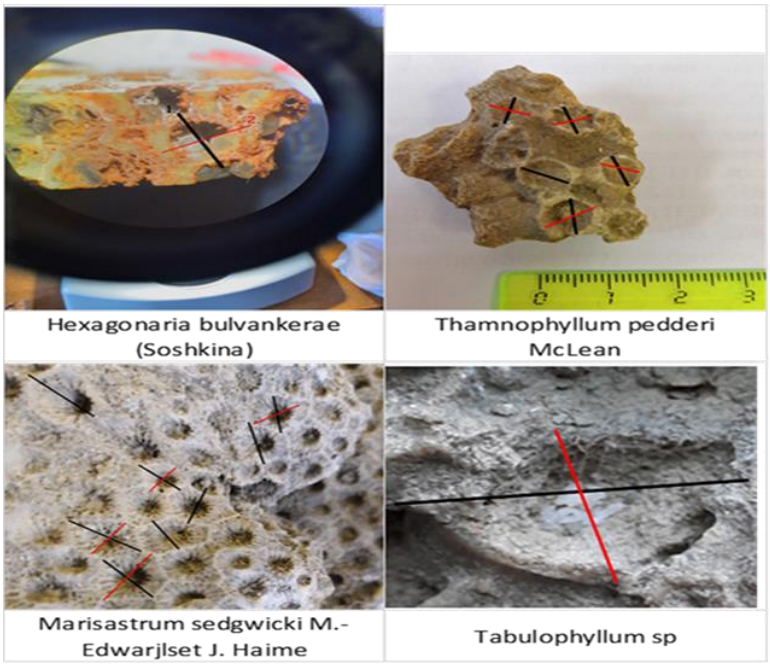


Рисунок 1. Образцы ругоз: 1. Hexagonaria bulvankerae (Soshkina), 2. Thamn ophyllum pedderi McLean., 3. Marisastrum sedgwicki M.-Edwarjlset J. Haime., 4. Tabulophyllum sp. Фото: Яцкин Д.А.

В зависимости от формы существования, которая зависела от характера размножения, ругозы были одиночными и колониальными. Полип жил в углублении, которое находилось в верхнем участке кораллита. По-другому такой участок назывался дистальным. Нижние участки носят название проксимальных. Проксимальным концом полип прикрепляется к донному субстрату.

По способу роста колонии кораллов бывают массивные, ветвистые или кустистые, и различного вида стелющиеся. Массивные колонии состоят из плотно соединенных между собою кораллитов. Они соединяются между собой напрямую или при помощи промежуточного скелета. При непосредственном соединении каждый кораллит обычно ограничен внешней стенкой, которая плотно примыкает к стенкам соседних кораллитов. Есть разновидность массивных колоний называемая астреевидной. В таком типе колоний внешние стенки кораллитов частично или полностью исчезают, и один кораллит становится продолжением другого. Такие кораллиты соединяются друг с другом только засчёт септ и чаще всего пузырчатой ткани.

Ругозы, как и все известные науке кораллы являются исключительно морскими организмами, которые остро реагируют на изменение солености воды, особенно на опреснение. Но несмотря на большую чувствительность к солености, тетракораллы как *Altaipohyllum belgebaschicum Ivania* (Рис.2), судя по всему, имели довольно большую границу колебания температур, что доказывается находками их остатков во всех широтах земного шара.



Рисунок 2. Образец одиночного коралла Altaipohyllum belgebaschicum Ivania. Фото Яцкин Д.А.

Успешные колонии ругоз совместно с другими обитателями древнего шельфа формировали крупные известняковые толщи, что доказывает состав среднедевонских толщ. Говоря о других обитателях шельфа, стоит заметить, что кроме колониальных кораллов и брахиопод здесь встречались останки панцирей плакодерм.

Становится ясно, что в девонское время после формирования синеклизы и последующего прогибания на месте Михайловского и Павловского карьеров было тёпное мелководное море с допустимой для жизни стенобитной фауны солёностью.

Выводы

Проведённый палеонтологический анализ позволил охарактеризовать живетский ярус Воронежской и Курской областей комплексом табулятоидей и четырёхлучевых кораллов маркирующим ардатовский горизонт. На основании изучения стратиграфического распространения основных родов и видов кораллов установлено, что в ардатовском времени произошло увеличение видового разнообразия ругоз. Проведённые исследования позволили дополнить биостратиграфическую характеристику среднедевонских отложений Павловского и Михайловского районов Воронежской области.

Благодарности

Выражаю благодарность Раскатовой М.Г. доценту кафедры исторической геологии ВГУ и сотруднику шлифовальной лаборатории ВГУ А.В. Шуршилову.

Библиография

1. Бульванкер Э.З. Девонские четырёхлучевые кораллы окраин Кузнецкого бассейна. – Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1958. – 212 с.
2. Венюков П.Н. Фауна девонской системы северо-западной и центральной России // Тр. Спб. об-ваестеств. Т. XVII. 1886. С. 10–25.
3. Войновский-Кригер К.Г. 1974. Прододьная ребристость внешней поверхности ругоз как источник информации о внутреннем строении подипняка.- В кн.: Древние Cnidaria. Т. 1. Новосибирск, «Наука», с. 144-150, табл. I, II.
4. Добролюбова, Т. А. Наставление по сбору и изучению палеозойских кораллов / Т. А. Добролюбова, Н. В. Кабакович, И. И. Чудинова. — 4-е изд. — Москва: Издательство "Наука", 1964. — 66 с.

5. Жаворонкова Р.А. 1969. Расчленение эйфельских отложений р. Малого Ика на Южном Урале по четырехлучевым кораллам.- В кн.: Вопросы геологии восточной окраины Русской платформы и Южного Урала. Уфа, с. 49-55, табл. 1, 11.

6. Желтоногова В.А. 1973. Комплексы ругоз нижнего и среднего девона Салаира.- В кн.: Стратиграфия нижнего и среднего девона. Л., «Наука>>, с. 118- 126.

7. Ивания В.А. Девонские кораллы Rugosa Саяно-Алтайской горной области. – Томск: Изд-во ТГУ, 1965. – 398 с.

8. Ивановский А. Б. Древнейшие ругозы. — М. Наука, 1965, с. 3—151

9. Кальо Д.Л. 1 970. Ругозы.- В кн.: Силур Эстонии. Таллии, «Валгус», с. 125-130.

10. Клааман Э.Р. 1972. О сообществах табулят в силуре Прибалтики.-Изв. АН ЭстССР (химия и геология) , XXI, 1 с. 78-82.

11. Лаврусевич А.И. 1971а. Ругозы раннего силура Зерашано-гиссарской горной области.-Тр. Упр. геол. Сов. Мин. ТаджССР, 3, с. 38-106, табл. 1- XXV, 22 рис. Streptelasma, Grewingkia, Pseudophaulactis, Brachyelasma, DinopJ.yllum, Gissarophyll:lm, Zeravschania, Neocysfiphyum, Cyathacti-s, Cystipaliphyllum, Kodonophyllum, Schlotheimophyllum, Pr:otopilophyllum, Calostylis, Ceriaster, Entelophyllum, Tryplasma, Tabularia, Holmophyllum, Pseudamplexus, Zelophyllum, Cystiphyllum, l(etophyllum, Dentilasma, Yassia. Pseudopilophyllum (Pilophyllummoyeroenselvnsk; Ивановский 1963а, с. 61, табл. XIV, фиг. 5, силур, венлак Сибирской платформы, р. Майера) , Strephopyllum S. princeps, с. 77, табл. XIV, рис. 18; силур, венлок; Таджикистан, г. Даурич), Ketophylloides (KetophyllumatlassoviTchern; Б. Б. Чернышев, 1941 с. 66, табл. 1, фиг. 1, 2; силур Верхоянья).

12. Михайлова И.А., Бондаренко О.Б.Палеонтология. 2-е изд., перераб. и доп.: Учебник. М.: Изд-во МГУ,2006. — 592 с.

13. Раскатова М.Г. Палинокомплексы пограничных живетских и франских отложений Центрального девонского поля и Тимана: Автореф. дисс. канд. геол.- минерал. наук. –М., 1990. –24 с.

14. Раскатова М.Г. миоспоровая зональность средне-верхнедевонских отложений юго-восточной части воронежской антеклизы (павловский карьер// Вестн. Воронеж. ун-та.Геология.-2004.-№2. -С. 89-98.

15. Ржонсницкая М.А. Биостратиграфия девона окраин Кузнецкого бассейна. Т. 1. Стратиграфия. – Л.: Наука, 1968. – 287 с

16. Соколов Б.С. 1971. Успехи и задачи изучения древних кишечнополостных.¬ В кн.: Табуляты и гелиолтоидеи палеозоя СССР. М., «Наука», с. 6-1 1.

17. Сошкина Е. Д. Кораллы Rugosa среднего девона Северного Урала (бас. р. Щугора): Труды Полярной комиссии АН СССР, 1936, вып. 28, с. 15—76

Seismic characteristic of mass-transport deposits on the seafloor, southern Vietnam sea

Anh Ngoc Le (Hanoi University of Mining and Geology, lengocanh@humg.edu.vn)*

Annotation

The high resolution of 3D seismic dataset covers an area of 650 m^2 on the continental shelf, in the water depth range from 100 – 120 m of Cuu Long basin offering an opportunity to study the inside of the seafloor stability. Interpretation reveals a series of Mass-Transport Deposits (MTDs) in the Pliocene – Quaternary sequence. They have different stages from early stage (local sag) to fully mature stage with the extensional and compressional areas. Three MTDs have been observed and mapped with dimension varies, including MTD 1 (10km × 12km), MTD 2 (5km × 6km), and MTD 3 (2km × 3km). The MTD 1 and 2 have the same thickness of 300 ms meanwhile the MTD 3 has a smaller thickness of 160 ms. This corresponds to the early stage of the mass movement of MTD 3. Internal seismic facies of the mass consist of chaotic and mounded facies. Extensional wedge facies are in the up-dip area and thrusted facies are observed at the downdip area, at the toe of the MTD. These MTDs likely were triggered by a combination of slightly tilted seabed, rapid accumulation of thick sedimentary deposits, biochemical gas, and reactivation of tectonic in Pliocene – Quaternary. The occurrence of many MTDs on the seafloor indicates the instability of the seafloor which may create potential disasters in petroleum exploration of this area.

Keywords

Mass-transport deposit, Cuu Long basin, 3D seismic, Pliocene-Quaternary

Theory

The study area is located in the Cuu Long basin (Fig. 1) which is a unique sedimentary basin in Vietnam, located mainly on the southern continental shelf and partially occupies the onshore area of the Cuu Long River mouth (Hiệp, 2019). The basin has an oval shape, about 30,000 km2, filled with Kainozoi sediments, reaching a thickness of about 7 - 8 km in the center (Cuong, and Warren, 2009; Schmidt et al., 2019)

This study focused on the shallow section which is about 500 ms, corresponding to the Pliocene - Quaternary sequence (Fig. 3). In Pliocene, the basin experienced the strongest transgressive period and possibly the first time the whole East Sea area was submerged under the sea level. Fine-grained sediments were transported into the Cuu Long basin or transported further into the Nam Con Son basin to deeper water areas (Hiệp, 2019). This study interval consists of fine to medium-grained sand and a minor amount of mud and gray clay rich in marine fossils and glauconite. Carbonate is scattered throughout the formation. This formation is evenly distributed throughout the basin with rather stable thickness (400 - 700 m). Sediments are nearly horizontal, gently dipping to the northeast (Du Hung and Van Le, 2004; Morley et al., 2019).

This study is primarily based on 3D exploration seismic data sets from Cuu Long basin (Fig. 1). The 3D data set covers about 650 km^2 with a line spacing of 12.5 m. Seismic interpretation used the Schlumberger™ Petrel software. Interpretation has been carried out using a manually picked fine interpretation grid, then followed by auto-tracking where there is a good quality surface. The TWT map of the top (seabed) and the base of the MTD have been generated combined with several attribute maps to visualize the MTD in the map view (Fig. 2 & 3).

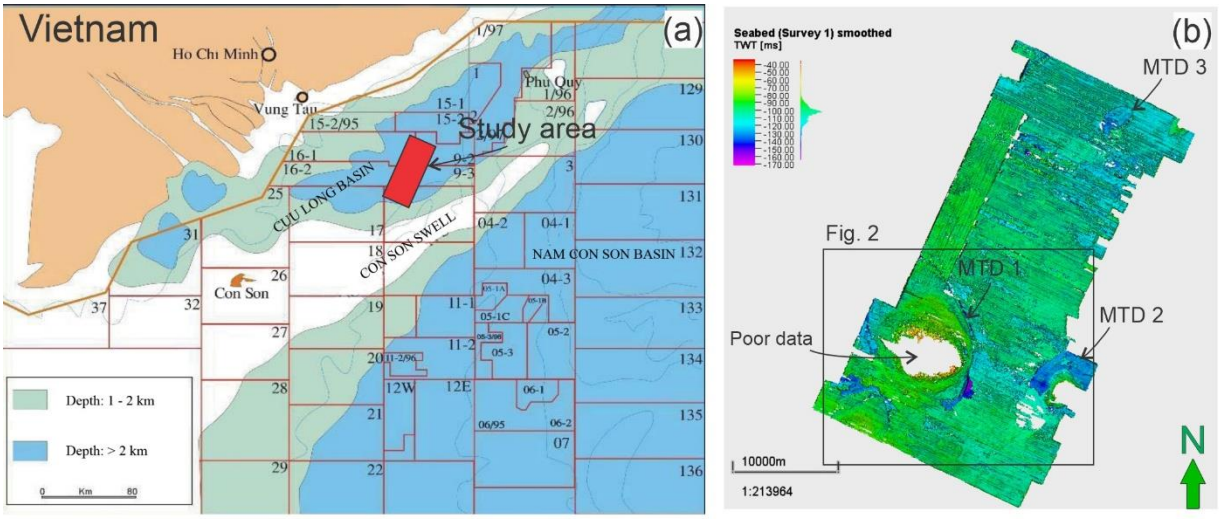


Figure 1. (a) The location of the study area located in the Cuu Long basin (b) Seabed time structure map of the study area. There are 3 mass-transport deposits observed on the seabed marked as MTD1, MTD2, and MTD 3

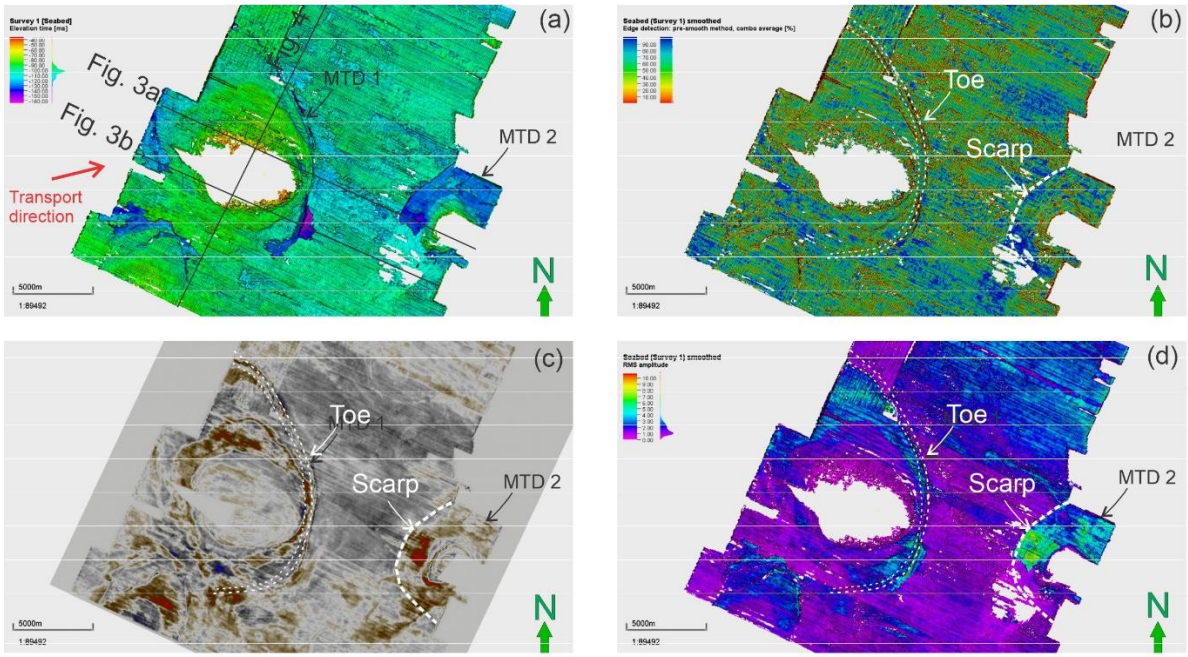


Figure 2. The mass-transport deposits MTD 1 and MTD 2 on the seabed are shown on the (a) TWT structure map, (b) Edge detection map, (c) Time slide map, and (d) RMS map (See figure 1 for the map location)

In plan view, three MTDs are observed from north to south between the Pliocene- Quaternary sequence marked as MTD 1 to MD 3 (Fig. 1). Those MTDs are active on the seafloor and located in the north, east, and west of the study area.

- The MTD 1 is located on the western part with a dimension of 10km × 12km and a thickness of 300 ms TWT. Internal seismic facies of the displaced mass consist of compressional wedge facies in downslope. The up-dip area tends to be out of the study area, with thrusted facies at the end of the MTD 1 areas, showing chaotic or mounded seismic facies in distal downslope areas. (Fig. 1 & 2)

- The MTD 2 lies in the eastern part of the study area with a dimension of 5km × 6km and has the same thickness as MTD1. The scarp of this MTD can be observed in the study area with the extensional wedge facies while the compressional wedge tends to move further east, out of the study area. Internal seismic facies show several fault blocks in this extensional zone.
- The MTD 3 is to the northern part with the dimension of 2km × 3km. It is characterized as a graben as a local internal deformation feature with a thickness of 160 ms TWT.

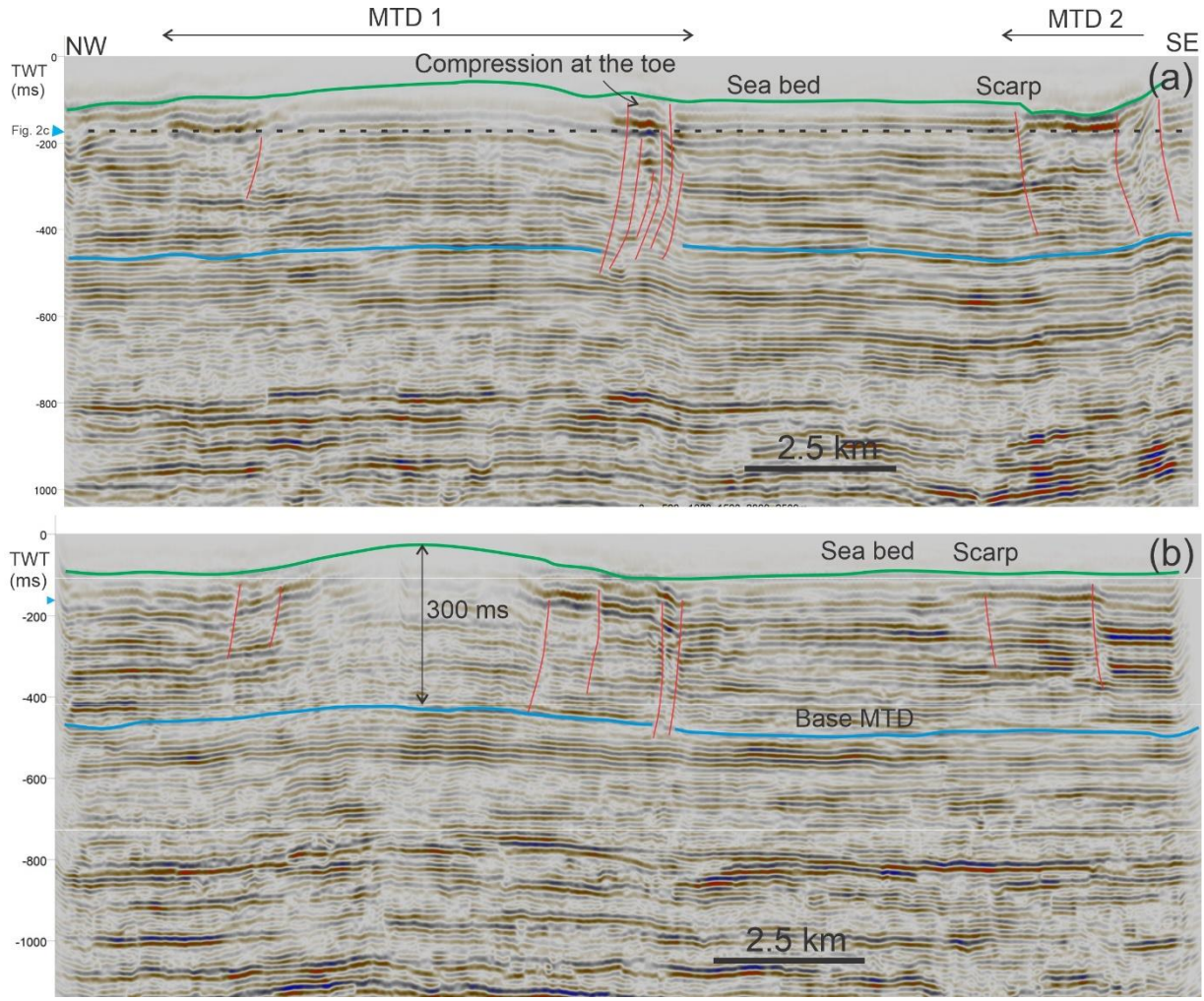


Figure 3. Seismic lines illustrate the internal seismic facies of MTD 1 and MTD 2 (See Figure 2 for the line location)

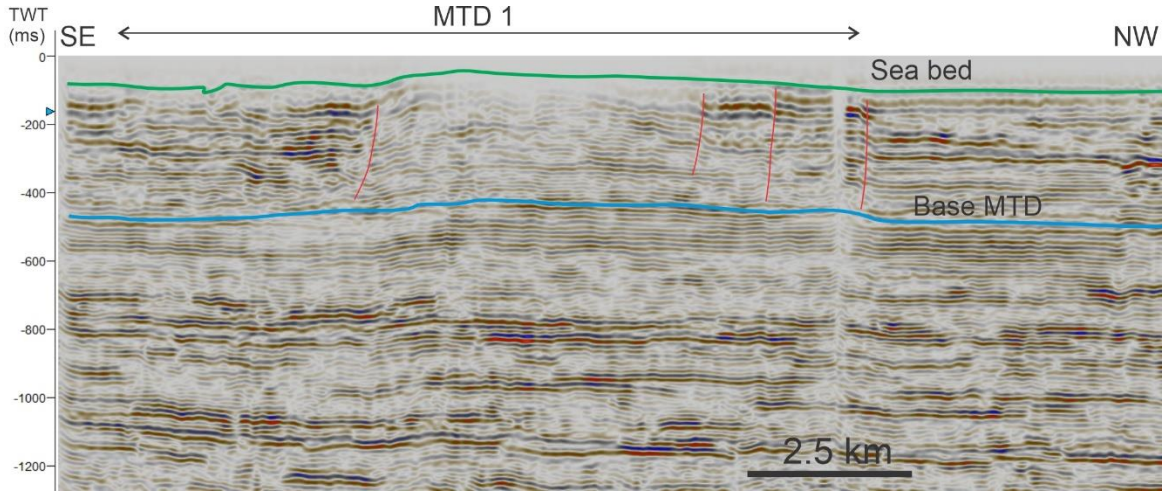


Figure 4. SE-NW seismic section illustrates MTD 1 perpendicular to the seismic line in Figure 3 (See line location in Figure 2)

Conclusions

The mass-transport deposits (MTDs) have been documented by 3D seismic data, observed in the Pliocene- Quaternary sequence. They have different stages from a very early stage of the deformation (MTD 3) to fully developed (MTD 1). Internal seismic facies of the displaced mass consist of extensional wedge facies in the up-dip area (MTD 2) to compressional wedge facies in downslope areas, thrusted facies in toe areas of MTD 1 show chaotic or mounded facies. The observation of these MTDs indicated that seafloor instability is possibly caused by biochemical gas often encountered in shallow sequences (Pliocene – Quaternary). In addition, the magmatic activity that occurred in the Pliocene - Quaternary has been reported in nearby areas such as Phu Quy and Hon Tro islands, as well as Hong Ngoc fields/structures suggesting that magmatic reactivation occurred in Cuu Long basin.

Bibliography

1. Cuong, T.X. and Warren, J.K., 2009. Bach ho field, a fractured granitic basement reservoir, Cuu Long Basin, offshore SE Vietnam: A “buried-hill” play. Journal of Petroleum Geology, 32(2), pp.129-156.
2. Du Hung, N. and Van Le, H., 2004. Petroleum geology of cuu long basin-offshore Vietnam. AAPG Search and Discovery article, 10062.
3. Hiệp, N. 2019. Địa chất và tài nguyên dầu khí Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1, p.550.
4. Morley, R.J., Bui, V.D., Nguyen, T.T., Kullman, A.J., Bird, R.T. and Nguyen, H.C., 2019. High-resolution Palaeogene sequence stratigraphic framework for the Cuu Long basin, offshore Vietnam, driven by climate change and tectonics, established from sequence biostratigraphy. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 530, pp.113-135.
5. Schmidt, W.J., Hoang, B.H., Handschy, J.W., Hai, V.T., Cuong, T.X. and Tung, N.T., 2019. Tectonic evolution and regional setting of the Cuu Long Basin, Vietnam. Tectonophysics, 757, pp.36-57.