

На правах рукописи



Редина Анна Андреевна

**Условия формирования флюоритовой минерализации  
карбонатитов Западного Забайкалья (Аршан, Южное и  
Улан-Удэнское) и Южной Монголии (Мушугай-Худук)**

1.6.10 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных  
ископаемых, минерагения»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-  
минералогических наук

Новосибирск - 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН), г. Новосибирск.

**Научный руководитель:**

**Дорошкевич Анна Геннадьевна**, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией рудоносности щелочного магматизма Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск).

**Официальные оппоненты:**

**Перетяжко Игорь Сергеевич**, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией физико-химической петрологии и генетической минералогии Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН, г. Иркутск);

**Сорохтина Наталья Владиславовна**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии и рудоносности щелочного магматизма Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН, г. Москва).

**Ведущая организация:** Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты).

Защита состоится «14» марта 2024 года в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета 24.1.050.01 при Федеральном государственном бюджетной учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, д.3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГМ СО РАН и на сайте <https://www.igm.nsc.ru/index.php/obrazov/dissociety/d-003-067-03/zashchity>

Автореферат разослан «13» февраля 2024 года.

Ученый секретарь диссертационного совета  
24.1.050.01, к.г.-м.н.



А.В. Котляров

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю совета к.г.-м.н. Котлярову А.В. по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, д.3 и в формате pdf на email: [kotlyarov@igm.nsc.ru](mailto:kotlyarov@igm.nsc.ru)

## Актуальность

Флюорит, известный также как плавиновый шпат, является стратегически важным промышленным сырьем. Его применяют для понижения температур плавления сплавов в металлургии, в керамической и химической промышленности, а также в оптике и ювелирном деле. Стехиометрический состав флюорита включает кальций и фтор, атомы которых формируют плотнейшую кубическую упаковку. Наиболее частыми примесями во флюорите являются Cl, который замещает атомы F, а также Si, Al, Fe, Mg, Ba, Na, Th, U и редкоземельные элементы (РЗЭ), которые могут занимать место Ca. Концентрации РЗЭ и их соотношения для флюорита являются наглядными показателями связи флюоритовой минерализации и продуцирующих флюид пород, а также обстановок, в которых образовывался минерал. Кроме того, флюидные включения во флюорите предоставляют дополнительную информацию о температуре кристаллизации, составе исходных флюидов и эволюции минерализующего раствора.

Выделяется несколько типов флюоритсодержащих рудных формаций и связанных с ними месторождений: вольфрам-молибденовые и флюорит-берtrandитовые месторождения, приуроченные к апикальным частям массивов гранитов, щелочных гранитов и сиенитов, а также гранодиоритов; тантал-ниобий-редкоземельно-флюоритовая формация, связанная с интрузивами щелочных габбро, нефелиновых сиенитов; флюоритсодержащие формации, находящиеся в ассоциации с карбонатитами, и другие [Иванова и Щеглов, 1986].

Яркими примерами флюоритовых месторождений мира, связанных с карбонатитами, являются Окорусу (Намибия), Амба Донгар (Индия) и Мато-Прето (Бразилия). Проявления флюоритовой минерализации, связанные с карбонатитами, распространены также на территории Западного Забайкалья и Южной Монголии. Они, наряду с эпитемальным кварц-флюоритовым, берtrandит-фенакитовым, молибден-вольфрамовым, флюорит-шеелитовым и другими формационными типами флюоритовой минерализации, входят в состав Центрально-Азиатской флюоритоносной провинции [Булнаев, 1976; Рипп и др., 2018]. Объединенные в нее проявления сформированы в мезозойскую эпоху и приурочены к рифтогенным структурам.

В настоящее время почти не проводится исследований, посвященных геохронологическим данным, геохимическим характеристикам и условиям образования флюоритовой минерализации, связанной с карбонатитами. Актуальность данной работы определяется подтвержденным обоснованием связи флюоритовой минерализации с щелочно-карбонатитовым магматизмом, определением условий формирования изучаемых проявлений, а также рассмотрением редкоэлементного состава флюорита как индикатора различных генетических типов месторождений.

### **Цели и задачи**

**Цель:** определить условия образования флюоритовой минерализации, связанной с карбонатитами Западного Забайкалья (Аршан, Южное и Улан-Удэнское) и Южной Монголии (Мушугай-Худук).

**Задачи:**

- по литературным данным охарактеризовать геологическое строение объектов исследования;
- выявить особенности редкоэлементного состава флюоритов в исследуемых объектах;
- установить физико-химические параметры минералообразующего флюида исследуемых пород по результатам изучения флюидных включений во флюорите;
- провести геохронологические и изотопные (Nd) исследования рассматриваемых пород.

**Объектами исследования** являются проявления Мушугай-Худук, Аршан, Южное и Улан-Удэнское, входящие в состав Позднемезозойской карбонатитовой провинции, в которую включены щелочные карбонатитовые комплексы Западного Забайкалья, Центральной Тувы и Южной Монголии [Булнаев и Посохов, 1995; Никифоров и Ярмолюк, 2004; Рипп и др., 2009; Nikiforov and Yarmolyuk, 2019]. Проведено сопоставление различных типов флюоритовой минерализации Забайкалья: эпитермальным кварц-флюоритовым, фтор-бериллиевым и молибден-вольфрамовым [Булнаев, 1976; Рипп и др., 2018; Ласточкин и др., 2021].

## **Фактический материал и методы исследования**

Образцы для исследований были взяты из коллекции Лаборатории рудоносности щелочного магматизма ИГМ СО РАН и Лаборатории петрологии ГИН СО РАН.

Анализ зерен флюорита методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и системой лазерной абляции (LA-ICP-MS) проводился в двух лабораториях: Новосибирского государственного университета, GFZ Потсдам. Всего получено 154 достоверных анализа. Для проведения LA-ICP-MS в GFZ использовались Geolas эксимерный лазер Complex Pro 193 нм, подключенный к масс-спектрометру Thermo iCAP TQ. Аналитические условия определяли размер точки 24 мкм, частоту повторения 8 Гц и плотность лазерной энергии 5 Дж/см<sup>2</sup>. В качестве внешнего стандарта использовался NIST SRM 610. Для анализа в Новосибирском государственном университете использовался ICP-MS на основе квадруполь (xSeries 2, Thermo Scientific, Германия) в сочетании с системой лазерной абляции (NWR 213, Исследование Новой волны, США). NIST 612 использовался в качестве внешнего стандарта для расчетов концентраций элементов во флюорите. Содержание кальция во флюорите, определенное с помощью микрозондового анализа, составляло порядка 70 мас. % CaO, Данное содержание кальция использовалось в качестве внутреннего стандарта при расчетах.

Для исследования флюидных включений были изготовлены двусторонние полированные пластинки. Было изготовлено более 50 препаратов. Их петрографическое изучение проводилось на микроскопе Olympus BX51. Термометрические эксперименты велись в микротермокамере Linkam THMSG-600. Состав газовой и твердой фаз установлен при помощи Раман микроспектрометра Horiba Jobin Yvon LabRAM HR800, оборудованного 532-нм лазером Nd:YAG и микроскопом Olympus BX41. Для определения минеральных фаз включений применялись база данных RRUFF и компьютерная программа CrystalSleuth [Lafuente et al., 2015]. Состав раствора определен по температурам эвтектики согласно данным, приведенным в работе А.С. Борисенко (1982). Концентрации солей в растворах газовой-жидких включений определены по температуре плавления последнего кристалла льда во включениях согласно [Steele-MacInnis et al., 2011] и [Walter et al., 2020]. Температуры

гомогенизации включений соответствуют минимальным температурам процесса минералообразования по Э. Рёддеру (1987).

Для проведения процедуры U-Th-Pb датирования была изготовлена шашка из эпоксидной смолы с зёрнами бастнезита, находящегося в ассоциации с флюоритом. По результатам съёмки и обработки результатов получено 34 анализа. U-Th-Pb датирование бастнезита выполнено методом LA-ICP-MS (Agilent 7500a ICP-MS, Agilent Technologies, Japan), с системой (ESI) эксимерной лазерной абляции NewWare 193 FX ARF с длиной волны 193 нм (Geolas 2005, Lambda Physik, Gottingen, Germany) в Институте геологии и геофизики Китайской Академии наук (Пекин, Китай). В качестве газа-носителя использовался гелий, который был объединен с аргоном после абляционной ячейки. Для коррекции фракционирования U-Th-Pb и инструментальной дискриминации по массе использовался согласованный с матрицей внешний стандарт бастнезита (K-9). Аналитические данные U-Th-Pb оценивались с помощью программы Pb-data, возраст рассчитывался с помощью Isoplot [Ludwig, 2003]. Изотопные составы свинца, которые использовались для коррекции общего свинца, были определены с помощью модели Стейси-Крамерса [Stacey and Kramers, 1975].

Для определения изотопного состава Nd в бастнезите использовался Neptune MC-ICP-MS в сочетании с системами абляции эксимерным лазером ArF с длиной волны 193 нм. Перед выполнением измерений прибор Neptune MC-ICP-MS был откалиброван и оптимизирован для обеспечения максимальной чувствительности, с использованием стандартного решения JNdi-1. Применялось лазерное пятно размером 16-32 мкм с частотой повторения 6-8 Гц, в зависимости от концентрации Nd в образцах. Каждый точечный анализ состоял из 60-секундного сбора данных при включенном лазере [Yang et al., 2008]. Через каждые десять неизвестных измерений проводилось два измерения собственного эталонного материала K-9. Эталонный материал из вторичного бастнезита LZ1384 или ZM (E) собственного производства анализировался на каждом аналитическом сеансе и рассматривался как неизвестный образец во время процедуры сокращения данных [Yang et al., 2019]. 40 точечных анализов бастнезита было проведено.

## **Практическая значимость**

Флюорит является распространенным минералом в карбонатитовых комплексах и считается поздним продуктом эволюции карбонатитовых систем. Минерал может содержать значительное количество РЗЭ, что указывает на необходимость анализа химического состава флюорита и его индикаторных особенностей, позволяющих выявить источник минералообразующих флюидов и определить генетический тип флюоритового оруденения. Кроме того, полученные данные о физико-химических условиях формирования минерала являются необходимыми при определении масштабов развития флюоритовой минерализации. Таким образом, знания об элементном составе флюорита и параметрах минералообразующих флюидов могут позволить выделить критерии для определения типа и прогноза масштаба флюоритового оруденения.

## **Научная новизна**

Впервые с помощью современных методов установлены геохимические особенности состава флюоритов, связанных с позднемезозойскими карбонатитовыми комплексами Западного Забайкалья и Южной Монголии. Выявлены индикаторные особенности (идентификаторы) флюоритовой минерализации Позднемезозойской карбонатитовой провинции. Проведенные термобарогеохимические исследования флюидных включений во флюоритах исследуемых объектов позволили оценить физико-химические параметры минералообразования. На основе впервые полученных данных по составу флюорита, параметров минералообразующего флюида и изотопным (Nd) данным бастанезитов, изучаемых флюоритсодержащих пород проявлений Южное и Улан-Удэнское, обоснована генетическая и пространственная связь флюоритовой минерализации с карбонатитами.

## **Защищаемые положения**

1. Полученные редкоэлементные характеристики флюоритов исследуемых объектов – высокие концентрации РЗЭ, обогащение легкими РЗЭ, отсутствие ярко выраженной отрицательной или положительной европиевой аномалии – являются характерными чертами флюоритов, связанных с карбонатитовым магматизмом. Флюорит формировался на позднемагматической и гидротермальной стадиях.

2. Формирование флюоритовой минерализации на ранней (позднемагматической) стадии происходило из сульфатно-карбонатно-фтористых высокотемпературных (температуры гомогенизации 490-560 °С) рассол-расплавов. Флюорит поздней (гидротермальной) стадии кристаллизовался из концентрированных карбонатно-сульфатно-хлоридно-фтористых среднетемпературных (температуры гомогенизации 350-450 °С) флюидных растворов.

3. Флюоритовая минерализация проявлений Южное и Улан-Удэнское формировалась в возрастном диапазоне 137-130 млн лет, что совпадает с этапом проявления позднемезозойского щелочно-карбонатитового магматизма в Центрально-Азиатском складчатом поясе.

### **Апробация работы и публикации**

Результаты, полученные в процессе подготовки диссертационной работы, были представлены на международных конференциях European Current Research on Fluid Inclusions 2017 (Нанси, Франция), Magmatism of the Earth and Related Strategic Metal Deposits – 2019 (Санкт-Петербург, Россия), Goldschmidt 2021 (онлайн), Геодинамика и минерагения Северной Евразии – 2023 (Улан-Удэ, Россия). По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе, 9 статей в журналах, рекомендуемых ВАК.

### **Объем и структура работы**

Диссертационная работа состоит из титульного листа, оглавления, введения, 5 глав, заключения и списка литературных источников. Общий объем диссертации составляет 123 страницы. В работе содержатся 36 рисунков и 13 таблиц. Список литературы включает 169 источников.

### **Благодарности**

Автор выражает искреннюю благодарность за научное руководство и постоянную помощь на всех этапах выполнения работы своему научному руководителю д.г.-м.н. А.Г. Дорошкевич. Особая благодарность за ценные советы и помощь при проведении исследований и написании работы всем сотрудникам Лаборатории рудоносности щелочного магматизма № 215 ИГМ СО РАН. В ходе написания работы автор неоднократно получал ценные советы и помощь в организации исследований от к.г.-м.н. И.В. Векслера, которому он выражает свою искреннюю признательность.



## Геологическое строение объектов исследования и петрография флюоритсодержащих пород

Объекты исследования относятся к Позднемезозойской карбонатитовой провинции, развитой в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП). Провинция включает районы проявления щелочно-карбонатитового магматизма в Южной Монголии (**Мушгай-Худук**, Баян-Хошу, Хэцу-Тэг, Улугей), Западном Забайкалье (Халюта, Ошурково, Торей, **Улан-Удэнское**, **Аршан**, **Южное**) и Центральной Туве (Карасуг, Улатай-Чоз).

*Южная Монголия.* В региональном плане район рудопроявления Мушугай-Худук относится к западной части Гоби-Хинганской складчатой области, которая является составляющей Центрально-Азиатского складчатого пояса (рис. 1а).

Согласно геологическим наблюдениям в составе комплекса Мушугай-Худук самыми ранними породами являются меланефелиниты, которые наблюдаются на северо-востоке комплекса (рис. 1б). Наиболее распространенными породами комплекса являются щелочные трахиты, образующие вулканические аппараты и лавовые поля. Дайки, штоки и небольшие массивы шонкинитов и щелочных сиенитов прорывают вулканические породы. Рудные тела представлены карбонатитами и магнетит-апатитовыми породами. Карбонатиты встречаются в виде жил шириной от нескольких сантиметров до 1 м, которые распространены как в областях развития меланефелинитов и трахитов, так и на участках сложенных сиенитовыми телами. Карбонатитовые породы сильно выветрелые и имеют окраску от светло-коричневой до охристой. По минеральному составу выделяется несколько типов карбонатитов: флюорит-кальцитовые, кварц-флюорит-кальцитовые, барит-кальцитовые и др. [Andreeva and Kovalenko, 2003]. В центральной части комплекса распространены магнетит-апатитовые породы, сформировавшиеся синхронно с карбонатитами. Они образуют дайки (длиной до 30 м) и штоки (размерами от 10×30 до 30×70 м). Основными магматическими минералами являются апатит, магнетит, ильменит и флогопит. Из-за интенсивных гидротермальных изменений фосфосидерит и монацит замещают апатит, а гетит замещает магнетит [Nikolenko et al., 2018].

Флюоритсодержащие породы определены В.С. Самойловым и В.И. Коваленко (1983) как самые поздние. Они распространены в основном в восточной части комплекса и пространственно приурочены к телам карбонатитов. По минеральному составу выделены три разновидности флюоритсодержащих пород: кварц-флюоритовые, флюорит-апатит-целестиновые, флюорит-кальцитовые [Redina et al., 2020].

Кварц-флюоритовые породы представляют собой темно-пурпурные (почти черные) мелкозернистые, часто массивные образования и наблюдаются в виде вытянутых зон (до 3 м). Они состоят из 70-90 об.% флюорита и 8-30 об.% кварца. Акцессорными минералами являются барит, целестин, пиролюзит, фторкарбонаты РЗЭ. Последние минералы, представленные в основном паризитом-Се и синхизитом-Се, образуют сеть ультратонких прожилков и каймы вокруг зерен флюорита.

Флюорит-апатит-целестиновые породы формируют жиллообразные тела, сложенные фиолетово-коричневыми или фиолетово-желтыми мелко- и среднезернистыми породами с брекчиевой текстурой, неравномернoзернистой или порфировой структурой. Порфировые выделения представлены преимущественно флюоритом (размером до 1,5 см), фторапатитом (размером до 0,5 см), гетитом и магнетитом (размером до 0,7 см). Целестин слагает основную массу пород и наблюдается в виде идиоморфных и гипидиоморфных кристаллов до 2,5 см. Акцессорные минералы – кварц, сульфатсодержащий монацит-Се, ильменит, рутил и фосфосидерит.

Флюорит-кальцитовые породы темно-коричневого, желтого и светло-серого цвета формируют линейные зоны до нескольких метров в ширину. Текстуры данных пород массивные или брекчиевые, структуры неравномернoзернистые. Флюорит-кальцитовые породы характеризуются разнообразием второстепенных минералов, таких как кварц, барит, целестин, калиевый полевой шпат и гетит. Акцессорные минералы представлены апатитом с содержанием РЗЭ до 4,1 мас.% и альбитом.

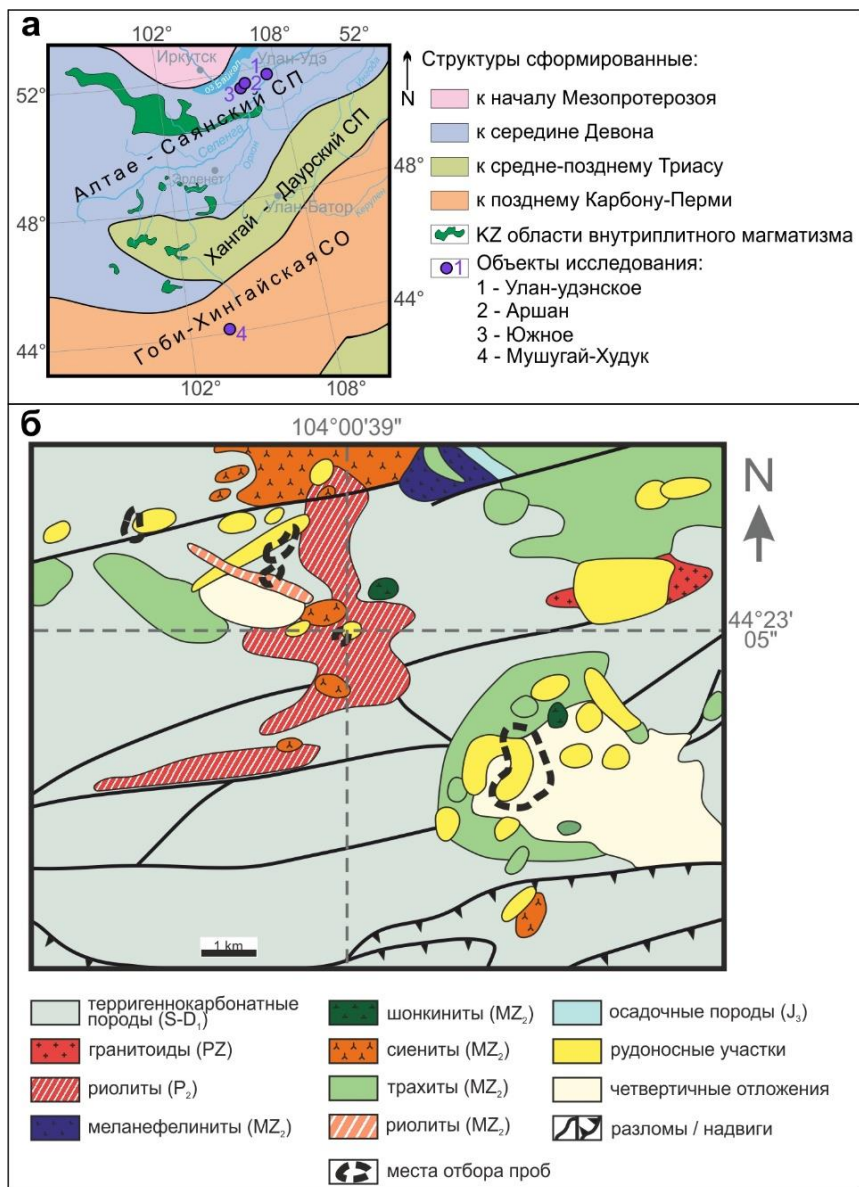


Рисунок 1. а – схема расположения объектов исследования относительно тектонических структур [Tectonic map...,2014]; б – схема строения комплекса Мушугай-Худук (по Самойлову и Коваленко, 1983).

*Проявления карбонатитов Западного Забайкалья.* Аршан и Южное проявления расположены в пределах Слюдинского горста, который сложен в основном палеозойскими гнейсами, гранитами и сланцами (рис. 2а). Горст расположен в северной части рифтогенной впадины, заполненной меловыми терригенно-осадочными породами (конгломератами, песчаниками с прослоями гравелитов, аргиллитов и алевролитов). Контакт меловых отложений с породами Слюдинского горста носит тектонический характер.

Карбонатиты **Аршана** представлены тремя полого падающими телами размером 250×75 м, 80×50 м и 75×50 м (рис. 2б). Возраст карбонатитов определен Rb-Sr методом и составляет 126±16 млн лет [Рипп и др., 2009]. Путем бурения было установлено, что толщина выявленных карбонатитовых тел не превышает 3-6 м [Doroshkevich et al., 2008].

Минеральный состав карбонатитов проявления Аршан весьма разнообразен. Основными минералами являются кальцит (60-80 об.%), бастнезит (3-6 об.%), сульфаты Ba, Sr и флюорит (7-12 об.%). Установлено, что формирование карбонатитов проходило в две стадии – магматическую и гидротермальную. Флюорит, парагенетически связанный с карбонатитами (магматическая стадия), образует вкрапленность в кальцитовой матрице и был отнесен нами к первой группе. Флюорит, наблюдаемый в жилах и гнездах, вероятно, сформировался позже (гидротермальная стадия). Минерал встречается с кальцитом, синхизитом-Se, бастнезитом-Se, флогопитом и содержит твердые включения монацита и кальцита [Дорошкевич и Рипп, 2004]. Цвет флюорита варьируется от темно-фиолетового до бесцветного. Некоторые зерна имеют осцилляторную зональность. Другие относительно однородны и окрашены в светлый цвет. Этот более поздний флюорит относится ко второй и третьей группам (две группы выделены на основании геохимии флюоритов, приведенной ниже).

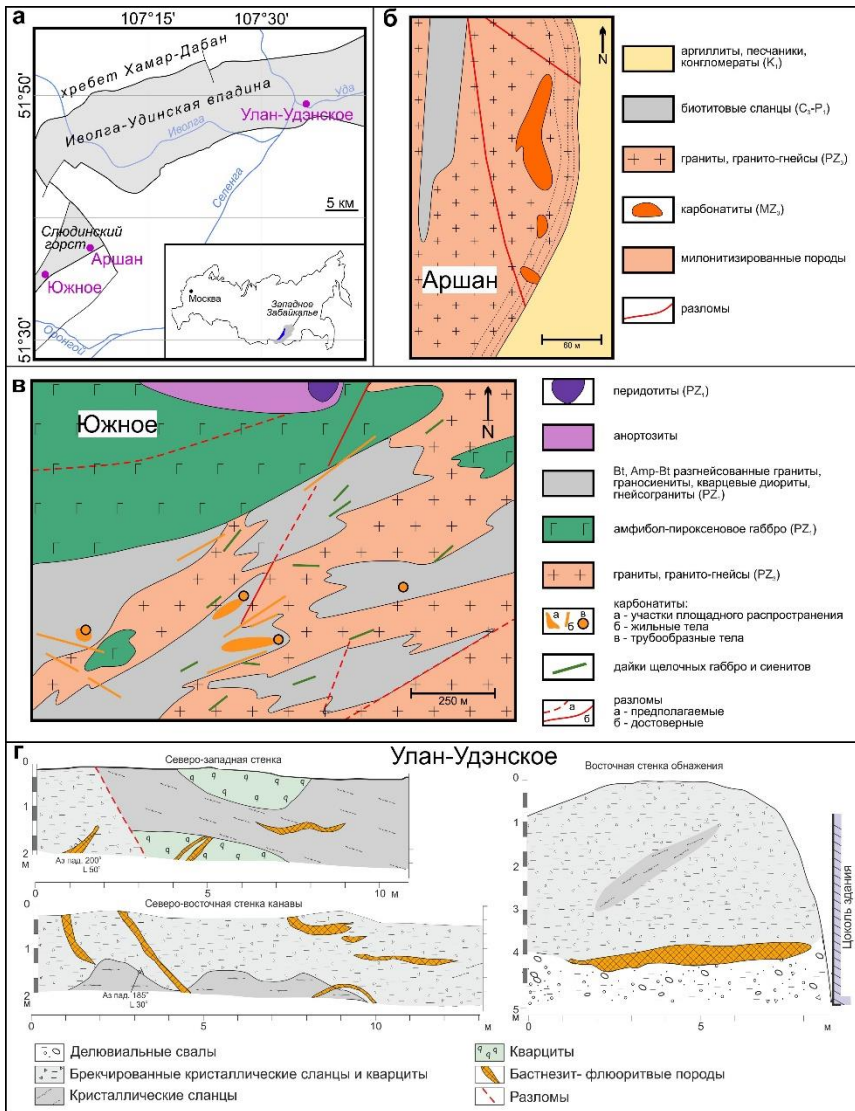


Рисунок 2. а – схема расположения проявлений Западного Забайкалья [Платов и др., 2000]; б-г – геологические схемы проявлений Аршан, Южное и Улан-Удэнское [Doroshkevich et al., 2008; Дорощкевич, 2013; Рипп и др., 2019].

В районе проявления **Южное** на площади около 2 км<sup>2</sup> распространены карбонатиты и дайки раннемеловых щелочных сиенитов, пространственно связанные с карбонатитами (рис. 2в). Возраст карбонатитов, определенный Rb-Sr методом, равен 122±4 млн лет, а возраст сиенитов – 130±5 млн лет [Рипп и др., 2009]. На площади проявления Южное выявлено более 20 зональных карбонатитовых тел. Вдоль контактов карбонатитов с вмещающими породами распространены фениты, состоящие, в основном, из биотита (70-90%) и альбита (до 30%) с небольшим количеством кальцита, флюорита и Ca-Mg амфибола (рихтерита). Карбонатиты образуют жилы и трубообразные брекчиевые тела. Трубообразные тела имеют диаметр до 15-20 метров и представлены мелкозернистой породой массивной или полосчатой текстуры. Они состоят из кальцита, флюорита и содержат большое количество фрагментов вмещающих пород (от первых процентов до 60-70% объема породы). Размер фрагментов обычно не превышает 1 см, реже достигает 2-5, редко 10-15 см. Жилы карбонатитов имеют ширину от 1 до 10 метров и длину 100-300 метров. Породы имеют мелкозернистую структуру и содержат порфиновые вкрапленники кальцита и барита размером до 1,5 см. Основная масса породы состоит из кальцита (80-90%), биотита, флюорита и барита. Зальбанды жил представляют собой тонкую (до 1-2 см) зону биотитизации. В минеральном составе карбонатитов были выявлены магматические (карбонатитовые) и гидротермальные минералы [Рипп и др., 2000]. Кальцит, бастнезит-Се, баритоцелестин, калиевый полевой шпат, биотит и магнетит образуют вкрапленники и характеризуют раннюю стадию кристаллизации. Далее происходило образование шлиров, состоящих из бастнезита, флюорита и альбита. Основная масса состоит из кальцита, флюорита, биотита, альбита и гематита. В карбонатитах содержится много обломков вмещающих пород (литокластов). На проявлении Южное широко проявлены гидротермальные изменения (окварцевание, флюоритизация и карбонатизация).

Флюоритовая минерализация на проявлении представлена двумя типами. Первый тип встречается в местах скопления бастнезита-Се и альбита в карбонатитах. Флюорит здесь образует бесцветные по краям и интенсивно окрашенные (темно-фиолетовые) в центральной части кристаллы (размером до 0,1 мм) или их гнездообразные скопления. Второй тип флюорита

представляет собой бесцветные или слабо окрашенные зональные изометричные зерна и кубические кристаллы, которые локализованы в виде вкрапленников в карбонатной матрице.

**Улан-Удэнское** проявление расположено в северной части мезозойской рифтогенной Иволга-Удинской впадины (рис. 2а), в пределах которой широко распространены отложения позднего мела, представленные песчаниками, алевролитами, сланцами, конгломератами, залегающими на эродированной поверхности кристаллического фундамента (рис. 2г).

Непосредственно в пределах города Улан-Удэ в прибрежных коренных обнажениях реки Селенга обнаружены флюорит- и кальцитсодержащие породы. Возраст данных пород установлен по флогопиту Ag-Ag методом и равен  $134,2 \pm 2,6$  млн лет [Рипп и др., 2019]. По структурным и минеральным особенностям породы разделяются на три типа: 1) линзовидные и жиллообразные бастнезит-флюоритовые тела, 2) брекчии, сцементированные бастнезит-флюоритовым агрегатом, и 3) породы, состоящие из кальцитовых и альбит-кальцитовых агрегатов, содержащих бастнезит и монацит.

Жилообразные тела по протяженности достигают 10 м, а по мощности – 0,5 м. На контактах жил развита зона флогопитизации. Тонкие прожилки и линзы мелкочешуйчатого флогопита прослеживаются на расстоянии до нескольких метров от бастнезит-флюоритовых тел.

Минерализованные брекчии занимают участки до нескольких квадратных метров, с проявленной по периметру флогопитизацией и бастнезит-флюоритовыми прожилками. Они характеризуются полосчатой текстурой, обусловленной ориентированными чешуйками флогопита и таблитчатыми зернами бастнезита. В брекчиях отмечается большое количество ксенолитов вмещающих пород (размером до 15 см) с четкими границами и без значимых следов гидротермальных изменений.

Кальцитовые и альбит-кальцитовые породы пространственно совмещены с бастнезит-флюоритовыми. Это мелкозернистые породы, главными минералами которых являются кальцит, альбит, бастнезит и монацит, а второстепенными: апатит, рутил, мусковит, флюорит [Платов и др., 2000; Рипп и др., 2019].

Флюорит первой (ранней) генерации Улан-Удэнского проявления образует скопления размером до 0,5-1,5 см и зерна (от

0,2 до 1,5 мм) в карбонатитовой матрице. Бастнезит, флогопит и полевые шпаты являются ассоциирующими минералами. Внешняя зона (<1 мм) раннего флюорита Улан-Удэнского проявления имеет темно-фиолетовый (до черного) цвет, вероятно, из-за радиоактивного облучения. Основная масса флюорита проявления Улан-Удэнское относится ко второй (поздней) генерации и представлена зернами изометричной или неправильной формы с размерами до 3 мм. Для минерала характерен насыщенно фиолетовый цвет. Поздний флюорит находится в минеральной ассоциации с бастнезитом-Се, монацитом-Се и флогопитом.

### **Геохимические особенности флюоритовой минерализации карбонатитов**

Флюорит, как один из типичных минералов редкоземельных месторождений, несет в своем составе характеристические черты ассоциирующего магматизма и типа оруденения.

Полученные результаты по РЗЭ-составу указывают, что рассматриваемые флюориты схожи с флюоритами месторождений РЗЭ, связанных с карбонатитовым магматизмом [Palmer and Williams-Jones, 1996; Xu et al., 2012; Fan et al., 2016; Broom-Fendley et al., 2017; Liu et al., 2018, 2020]. Об этом свидетельствуют характерное преобладание легких РЗЭ над тяжелыми, а также отсутствие ярко выраженной отрицательной или положительной европиевой аномалии на хондрит-нормированных спектрах РЗЭ (рис. 3). Амагматические флюориты и флюориты, связанные с кислыми магматическими породами, как правило, имеют относительно пологие или горизонтальные хондрит-нормированные спектры РЗЭ и отличаются очевидной отрицательной европиевой аномалией [Schwinn and Markl, 2005; Sanchez et al., 2010; Magotra et al., 2017]. Отсутствие иттриевой аномалии у ранних генераций исследуемых флюоритов, и ее же отчетливое наличие у поздних, говорит о длительном, многостадийном формировании флюоритовой минерализации как на позднемагматическом, так и на гидротермальном этапах развития рудно-магматических систем [Xu et al., 2012].

Согласно диаграмме Tb/Ca vs Tb/La (рис. 4), точки составов флюоритов, генетически связанных с щелочным карбонатитовым магматизмом ложатся как в поле позднемагматического минералообразования, так и гидротермального. Для флюоритов,



связанных с кислым магматизмом, или с невыраженной связью с магматизмом, фигуративные точки, как правило, ложатся в поля гидротермального или осадочного флюорита.

Все изученные образцы флюорита относятся к позднемагматическому или гидротермальному типам, что согласуется с отнесением их к флюоритам, генетически связанным с щелочным карбонатитовым магматизмом. Стоит отметить, что для проявлений Южное и Аршан, а также комплекса Мушугай-Худук можно проследить эволюцию флюорита от позднемагматического до непосредственно гидротермального (рис. 4). Это соответствует сделанным заключениям по хондрит-нормированным спектрам РЗЭ (рис. 3).

Наблюдаемое истощение легкими РЗЭ гидротермальных флюоритов относительно позднемагматических, вероятно, связано со стабильностью комплекса  $(\text{REE})^{2+}$ , возрастающей от La до Lu при температурах ниже 250 °C [Wood, 1990], хотя F-содержащие комплексы LREE более стабильны, чем F-содержащие комплексы HREE при повышенных температурах [Migdisov et al., 2009]. Флюориты кварц-флюоритовых пород комплекса Мушугай-Худук, Улан-Удэнского проявления и первой группы проявления Южное, вероятно, являются продуктами наиболее интенсивного фракционирования, о чем свидетельствует максимальное содержание РЗЭ и самое высокое соотношение  $(\text{La}/\text{Yb})_n$  (рис. 3). Такие флюориты схожи с позднемагматическими флюоритами карбонатитовых комплексов [Santos et al., 1996]. Стоит отметить, что фторкарбонаты РЗЭ являются распространенными компонентами флюоритсодержащих пород и могут влиять на распределение РЗЭ. Когенетический флюорит также может демонстрировать отрицательную корреляцию La/No и Y/No из-за влияния миграции растворов, богатых F [Bau and Dulski, 1995]. Как в случае флюоритов первой группы проявления Аршан, где анализируемый минерал оказался обеднен легкими РЗЭ за счет когенетического бастнезита. Содержания Y в позднемагматическом флюорите в целом выше, чем в гидротермальном. Кроме того, гидротермальный флюорит весьма часто характеризуется наличием положительной иттриевой аномалии [Xu et al., 2012], что также обнаруживается в исследованных образцах флюорит-кальцитовых пород комплекса Мушугай-Худук, третьей группы проявления Аршан, а также второй группы проявления Южное.

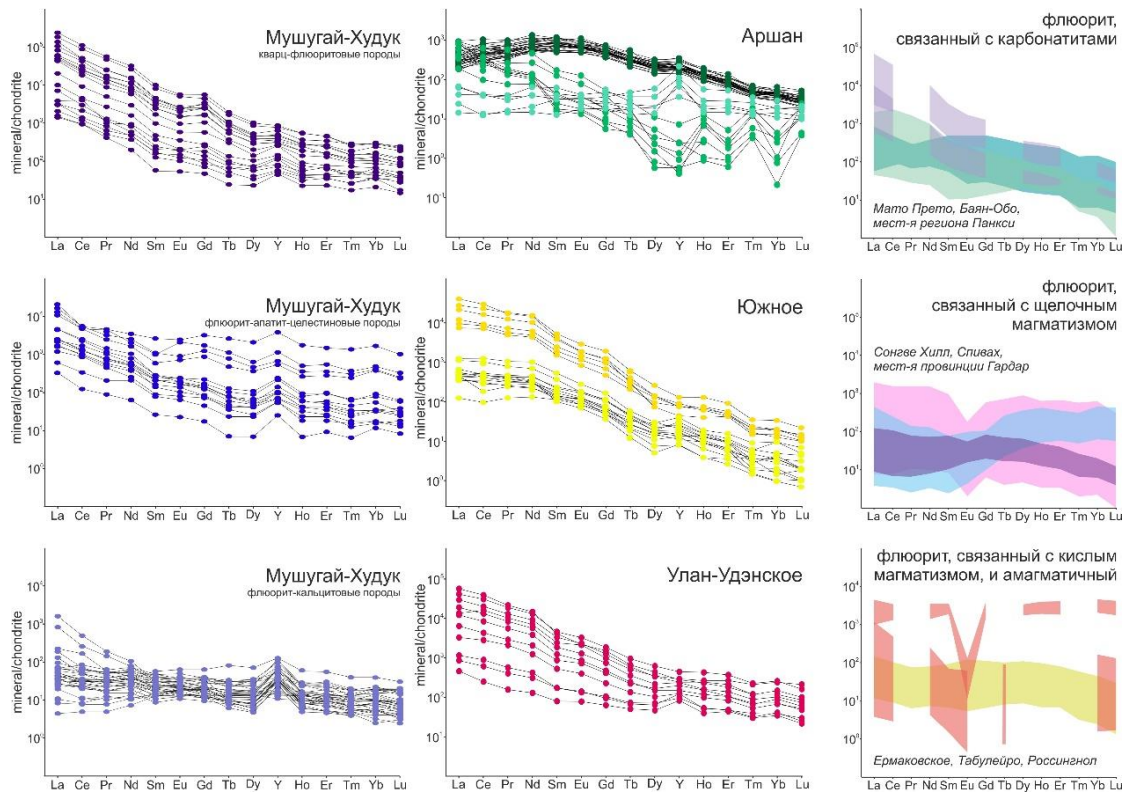


Рисунок 3. Хондрит-нормированные спектры флюоритов объектов исследования и месторождений Мира. Мато Прето – Santos et al., 1996; Баян-Обо – Xu et al., 2012; Liu et al., 2018; мест-я региона Панкси (Дилуксиан, Маньопинг, Лиджуан) - Xu et al., 2012; Сонгве Хилл - Broom-Fendley et al., 2017; Спивах – Alvin et al., 2004; мест-я провинции Гардар (Ивигтут, Мотцфельд, Илимаск) - Schönenberger et al., 2008; Ермаковское -

Куприянова и др., 2009; Табулейро – Sallet et al., 2000; Россингнол - Sizaret et al., 2004.

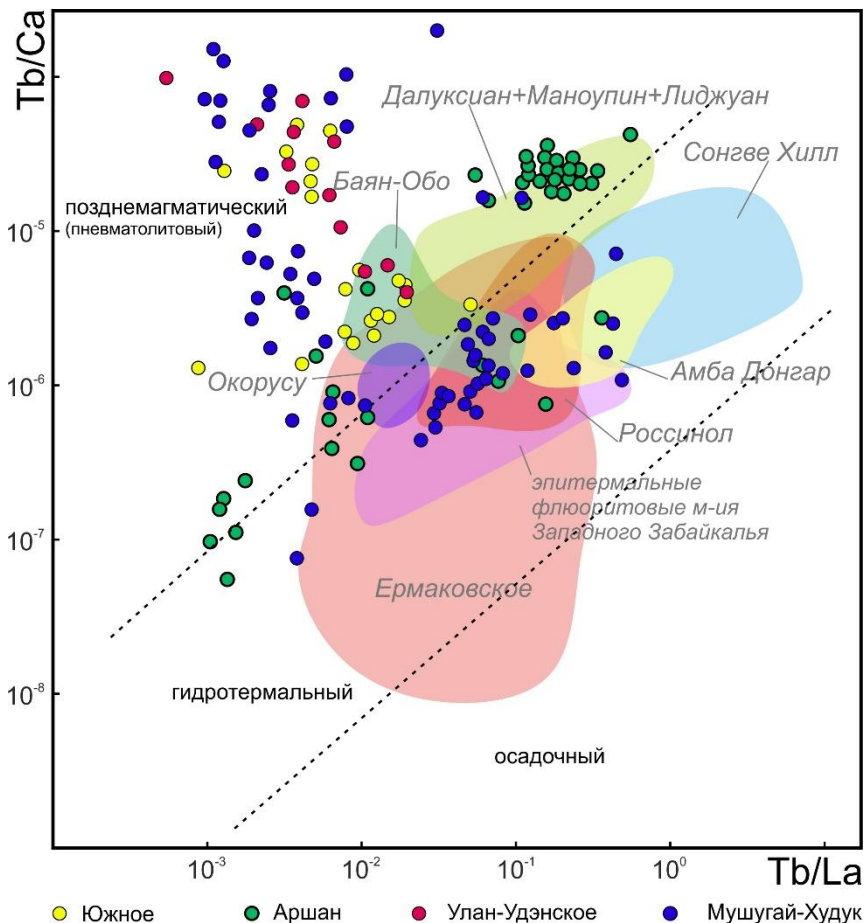


Рисунок 4. Диаграмма Tb/Ca vs Tb/La [Möller et al., 1976] с фигуративными точками объектов исследования и флюоритов месторождений мира (Амба Донгар – Palmer and Williams-Jones, 1996; Баян-Обо – Xu et al., 2012; Liu et al., 2018; Далуксиан, Маноупин, Лиджуан – Xu et al., 2012; Россинол – Sizaret et al., 2004; Ермаковское – Куприянова и др., 2009; Сонгве Хилл – Broom-Fendley et al., 2017; Окорусу – Bühn et al., 2002; эпитермальные флюоритовые месторождения Западного Забайкалья – Ласточкин и др., 2021).

Полученные данные позволяют сделать вывод о подобии описываемой в данной работе флюоритовой минерализации и флюорита, генетически связанного с карбонатитовым магматизмом и характерного для крупнейших месторождений РЗЭ в мире. Изученная флюоритовая минерализация четко отличается от флюоритов, образовавшихся из более поздних флюидов, таких как на месторождении Амба Донгар или эпитермальных месторождениях флюорита в Западном Забайкалье [Palmer and Williams-Jones, 1996; Ласточкин и др., 2021].

### **Характерные черты флюидов, сформировавших флюоритовую минерализацию карбонатитов**

Исследование флюидных включений показало, что ранние позднемагматические флюориты, связанные с карбонатитовым магматизмом, формировались из высокотемпературных (порядка 500 °С) высококонцентрированных хлоридно-сульфатно-карбонатных рассол-расплавов. Об этом свидетельствуют многочисленные минеральные дочерние фазы кристаллофлюидных и многофазных включений, представленные карбонатами (анкерит, кальцит, бастнезит, стронцианит, паризит), сульфатами (ангидрит, целестин, тенардит, барит) и хлоридами (рис. 5). Флюориты гидротермальной стадии образовались при участии высоко- и среднетемпературных (~300-500 °С) насыщенных фосфатно-сульфатно-карбонатно-хлоридных флюидов. Дочерние минеральные фазы многофазных включений представлены фосфатами (фосфосидерит), сульфатами (сингенит, глауберит, ангидрит, тенардит), карбонатами (кальцит, сидерит, натрит, стронцианит) и хлоридами. Стоит отметить, что для всех включений во флюоритах характерно наличие углекислоты в жидком или газообразном состоянии.

Состав флюидных включений во флюорите является типичным для позднемагматических флюидов, отделенных от карбонатитовой магмы [Palmer and Williams-Jones, 1996; Santos et al., 1996; Böhn et al., 2002; Rankin et al., 2003; Xu et al., 2012; Smith et al., 2015]. РЗЭ,  $(\text{SO}_4)^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и летучие компоненты, которые были отмечены в исследуемом флюорите, были ранее определены во флюидах на многих месторождениях, связанных с карбонатитами (Далукао, Маонупин и т.д.). Высокие температуры гомогенизации ( $> 500$  °С) и высокие концентрации солей в

кристаллофлюидных включениях доказывают, что источником подобных растворов являются щелочные расплавы. Аналогичные включения, содержащие высокотемпературные позднемагматические флюиды во флюорите, были описаны в работе [Bühn et al., 2002] для месторождения Окорусу (Намибия). Схожие с объектами исследования характеристики были получены для первичных рассол-расплавных включений во флюорите и кварце сидеритовых и анкерит-кальцитовых карбонатитов месторождения Карасуг (Центральная Тува) [Prokoryev et al., 2016].

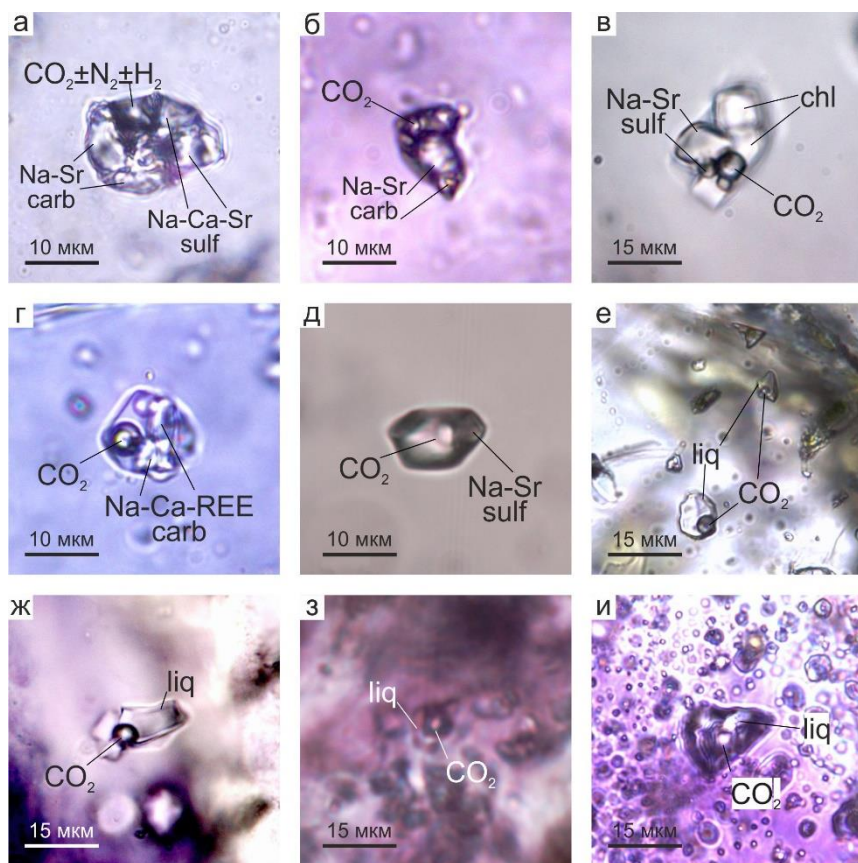


Рисунок 5. Включения во флюоритах. а-г – первичные кристаллофлюидные включения; е-и – вторичные газово-жидкие включения. Na-Sr carb – карбонаты Na-Sr, Na-Sr sulf – сульфаты Na-Sr, Na-Ca-REE carb – карбонаты Na-Ca-REE, chl – хлориды, liq – жидкость, CO<sub>2</sub> – углекислый газ.

## **Геохронологические и изотопные исследования проявлений Южное и Улан-Удэнское**

Геохронологические исследования флюоритсодержащих пород проявления Южное и Улан-Удэнское проводилось U-Th-Pb датированием методом LA-ICP-MS по бастнезиту. Полученная возрастная оценка для бастнезита проявления Южное составляет  $130,2 \pm 1,1$  млн лет (рис. 6). Установленный возраст бастнезит-флюоритовых пород проявления Улан-Удэнское равен  $136,6 \pm 1,9$  млн лет (рис. 6). Эти данные согласуются с ранее опубликованными сведениями о возрасте Позднемезозойской карбонатитовой провинции, формирование которой связывают с формированием Центрально-Азиатской рифтовой структуры [Ярмолюк и др., 1998; Kuzmin et al., 2010] (рис. 7). Это увязывается с более ранними наблюдениями исследователей относительно проявлений флюоритовой минерализации в мире. Еще с 50-х годов прошлого столетия отмечалось, что множество проявлений флюоритовой минерализации связано с континентальным рифтогенезом. К таким случаям относятся месторождения Сонгве Хилл (Малави), Клеар Крик и Джемс Таун (США), Амба Донгар (Индия) и др.

В составе Центрально-Азиатской рифтовой структуры выделяют несколько зон: Гоби-Алтайская, Западно-Забайкальская, Восточно-Монгольская рифтовые зоны. До начала раннего мела в данных рифтовых зонах формировались трахибазальто-трахириодацитовые ассоциации пород повышенной щелочности. Наиболее крупные излияния происходили в первой половине раннего мела и имели преимущественно базальт-трахибазальтовый состав. В это же время здесь сформировалась система грабенов, определившая их структурный каркас. Кроме того, к окончанию первой половины раннего мела относится фонолит-трахит-сиенитовая ассоциация. Можно отметить постепенное увеличение щелочности магматических пород в процессе развития рифтовой системы, крайними разностями которых являются карбонатиты. К таковым относятся карбонатиты проявлений Аршан, Южное, Улан-Удэнское и Мушугай-Худук [Самойлов и Коваленко, 1983; Рипп и др., 2000, 2009; Doroshkevich et al., 2008, 2010].

Анализ изотопного состава Nd для бастнезита (рис. 8) проявления Южное дал значения  $\epsilon_{Nd}(T)$  от (-7,41) до (-6,08), а минерала бастнезит-флюоритовых пород Улан-Удэнского проявления – от (-4,28) до (-2,67), которые согласуются с ранее

полученными данными по позднемезозойским щелочно-карбонатитовым комплексам Западного Забайкалья (Ошурково, Аршан, Халюта). Значения изотопного состава Nd в бастнезитах указывают на изотопно-обогащенный источник. Высокие содержания фтора и РЗЭ в исследуемых породах (F до 6 мас.%, REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 9 мас.%) подтверждают невозможность значительной коровой контаминации, поэтому показателю они являются продуктами плавления метасоматизированной литосферной мантии.

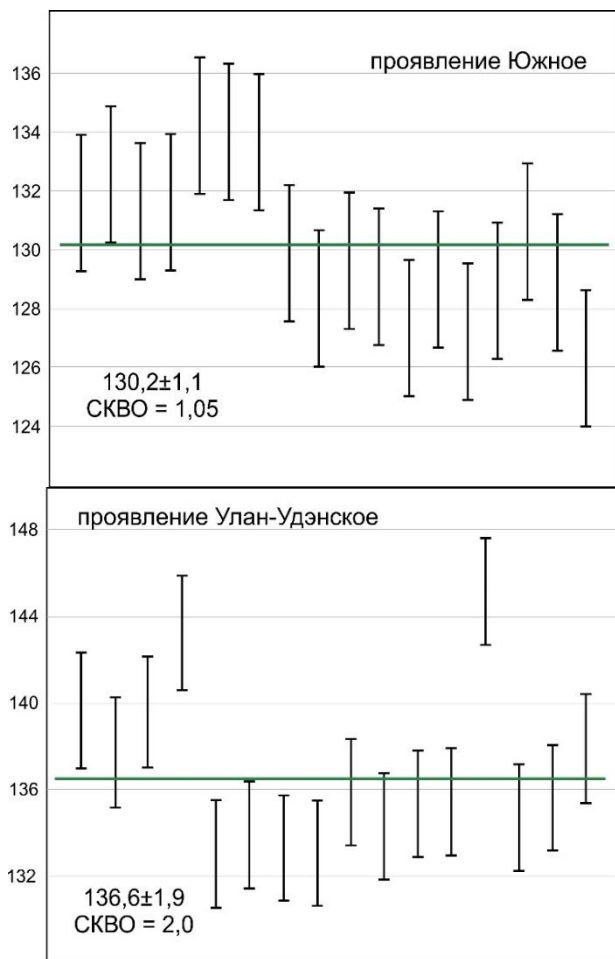



Рисунок 6. Средневзвешенный  $Pb^{208}/Th^{232}$  возраст по бастнезитам проявлений Южное и Улан-Удэнское.



 средне- и позднемезозойские рифтовые зоны

 щелочно-карбонатитовые комплексы

Рисунок 7. Средне-позднемезозойские рифты ЦАСП (упрощенная схема по Kuzmin and Yarmolyuk, 2014). Цифрами указан возраст карбонатитовых комплексов в млн лет.



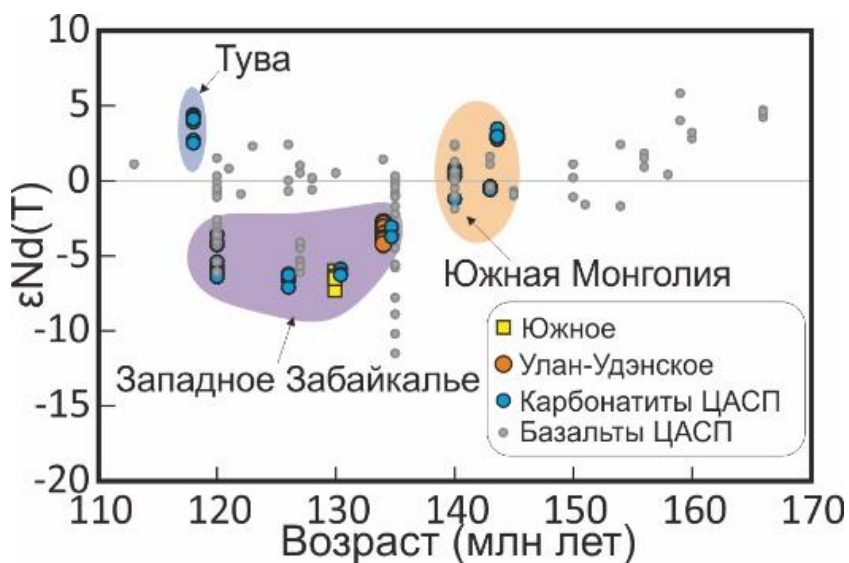


Рисунок 8.  $\epsilon_{Nd}(T)$  для бастнезитов из проявлений Южное и Улан-Удэнское. Также даны точки щелочных карбонатитовых комплексов Западного Забайкалья [Litvinovsky et al., 2002; Владыкин, 2005; Дорошкевич, 2013; Nikiforov and Yarmolyuk, 2019], Тувы [Nikiforov and Yarmolyuk, 2019] и Южной Монголии [Владыкин, 2005; Yarmolyuk et al., 2018; Nikiforov and Yarmolyuk, 2019; Nikolenko et al., 2020].

Считается, что неопротерозойско-палеозойская зона субдукции имеет большое значение для становления всего Центрально-Азиатского орогенного пояса. Как следствие, в процессе ее существования литосферная мантия региона подвергалась сильному метасоматозу. Последующие закрытие Палеоазиатского океана, коллизия Сибирского и Северо-Китайского кратонов и достаточно масштабное плюм-литосферное взаимодействие в позднем мезозое спровоцировало образование серии рифтовых зон (Западно-Забайкальская, Центрально-Тувинская, Гоби-Алтайская) [Ярмолук и др., 2019]. Вероятно, флюидонасыщенность плюмовой составляющей способствовала дополнительному метасоматозу литосферной мантии, ее насыщению летучими компонентами, а также рядом редких и редкоземельных элементов [Лхамсурен, 1988]. Обогащение источников магматизма редкими землями отразилось в составе

пород рифтовых областей, а также в редкоземельной специализации карбонатитов [Ярмолюк и др., 2019].

### **Заключение**

Проведенные петрографические, минералогические, геохимические, термобарогеохимические и геохронологические исследования, а также анализ литературных данных позволяют сформулировать основные выводы о флюоритовой минерализации Позднемезозойской карбонатитовой провинции.

1. Флюоритовая минерализация, локализованная на проявлениях Аршан, Южное, Улан-Удэнское и Мушугай-Худук, генетически связана с карбонатитовым магматизмом. Это подтверждается минеральным составом флюоритсодержащих пород (кальцит, фторкарбонаты РЗЭ, сульфаты Ba и Sr, апатит, монацит, кварц и флогопит), а также геохимическими маркерами (преобладание легких РЗЭ над тяжелыми, отсутствие ярко выраженной отрицательной или положительной европиевой аномалии на хондрит-нормированных спектрах РЗЭ).

2. Формирование флюоритовой минерализации Центрально-Азиатского складчатого пояса, связанной со щелочно-карбонатитовым магматизмом, шло как на позднемагматическом этапе развития рудно-магматических систем, так и на гидротермальном.

3. Флюиды, ответственные за формирование изученных флюоритсодержащих пород, отличаются высокими концентрациями фтора, РЗЭ, стронция и углекислоты. В их состав также входят анионы  $(\text{SO}_4)^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ . Термометрические исследования выявили широкий температурный диапазон гомогенизации флюидных включений от  $>500$  до  $\sim 100$  °С.

4. Флюоритовая минерализация Западно-Забайкальских (Аршан, Южное, Улан-Удэнское) и Южно-Монгольского (Мушугай-Худук) проявлений сформировалась в раннемеловом периоде ( $\sim 136$ -126 млн лет) одновременно с проявлением щелочного карбонатитового магматизма Центрально-Азиатского складчатого пояса, связанного с внутриплитной магматической рифтогенной активностью. Первичные расплавы для пород исследуемых комплексов были сгенерированы при участии метасоматизированной литосферной мантии.

На основе установленных индикаторных особенностей флюоритовой минерализации, связанной со щелочно-карбонатитовым магматизмом, можно выделить следующие критерии, указывающие на вероятное присутствие промышленной редкоземельной минерализации:

- приуроченность щелочно-карбонатитовых комплексов к краевым частям континентальных рифтовых систем;
- распространенность кальцита, фторкарбонатов РЗЭ, сульфатов Ва и Sr, апатита, монацита и кварца совместно с флюоритом;
- длительное развитие данной минеральной ассоциации как на позднемагматическом, так и гидротермальном этапах существования рудно-магматической системы;
- обогащенность флюорита РЗЭ, особенно легкими РЗЭ ( $(La/Yb)_n > 40$ ), а также отсутствие выраженной европиевой аномалии ( $Eu/Eu^* 0,7-1,3$ ).

***Статьи в рецензируемых журналах:***

1. Prokopyev I.R., Doroshkevich A.G., **Redina A.A.**, Obukhov A. Magnetite-apatite-dolomitic rocks of Ust-Chulman (Aldan shield, Russia): Seligdar-type carbonatites? // Mineralogy and Petrology. – 2017. – V. 112. – Iss. 2. – P. 257-266. <https://doi.org/10.1007/s00710-017-0534-y>
2. Nikolenko A.M., **Redina A.A.**, Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R., Ragozin A.L., Vladykin N.V. The origin of magnetite-apatite rocks of Mushgai-Khudag complex, South Mongolia: Mineral chemistry and studies of melt and fluid inclusions // Lithos. – 2018. – V. 320-321. – P. 567-582. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.08.030>
3. Prokopyev I.R., Doroshkevich A.G., Sergeev S.A., Ernst R., Ponomarev J.D., **Redina A.A.**, Chebotarev D.A., Nikolenko A.M., Dultsev V.F., Moroz T.N., Minakov A.V. Petrography, mineralogy and SIMS U-Pb geochronology of 1.9–1.8 Ga carbonatites and associated alkaline rocks of the Central-Aldan magnesio-carbonatite province (South Yakutia, Russia) // Mineralogy and Petrology. – 2019. – V. 113. – P. 329-352. <https://doi.org/10.1007/s00710-019-00661-3>
4. Prokopyev I.R., Doroshkevich A.G., Ponomarchuk A.V., **Redina A.A.**, Yegitova I.V., Ponomarev J.D., Sergeev S.A., Kravchenko A.A., Ivanov A.I., Sokolov E.P., Kardash E.A., Minakov A.V. U-Pb

SIMS and Ar-Ar geochronology, petrography, mineralogy and gold mineralization of the late Mesozoic Amga alkaline rocks (Aldan shield, Russia) // *Ore Geology Reviews*. – 2019. – V. 109. – P. 520-534. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.05.011>

5. Рипп Г.С., Прокопьев И.Р., Избродин И.А., Ласточкин Е.И., Рампилов М.О., Дорошкевич А.Г., **Редина А.А.**, Посохов В.Ф., Савченко А.А., Хромова Е.А. Бастнезит-флюоритовые породы улан-удэнского проявления (минеральный состав, геохимические особенности, проблемы генезиса) // *Геология и геофизика*. – 2019. – Т.60. – № 12. – С.1754-1774. <https://doi.org/10.15372/GiG2019122>

6. **Redina A.A.**, Nikolenko A.M., Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R., Wohlgemuth-Ueberwasser C., Vladykin N.V. Conditions for the crystallization of fluorite in the Mushgai-Khudag complex (Southern Mongolia): Evidence from trace element geochemistry and fluid inclusions // *Geochemistry*, Available online 12 June 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125666>

7. Nikolenko A.M., Doroshkevich A.G., Ponomarchuk A.V., **Redina A.A.**, Prokopyev I.R., Vladykin N.V., Nikolaeva I.V. Ar-Ar geochronology and petrogenesis of the Mushgai-Khudag alkaline carbonatite complex (southern Mongolia) // *Lithos*. – 2020. – V. 372-373. – 105675. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105675>

8. **Redina A.A.**, Doroshkevich A.G., Veksler I.V., Wohlgemuth-Ueberwasser C.C. Fluorite Mineralization Related to Carbonatitic Magmatism in the Western Transbaikalia: Insights from Fluid Inclusions and Trace Element Composition // *Minerals*. – 2021. – V. 11(11). – 1183. <https://doi.org/10.3390/min11111183>

9. **Редина А.А.**, Дорошкевич А.Г., Прокопьев И.Р., Избродин И.А., Yang Y. Возраст и источники РЗЭ-флюоритовых проявлений Южное и Улан-Удэнское, связанных с карбонатитовым магматизмом (Западное Забайкалье, Россия) // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2023. – Т.14. – № 6. – 0728. <https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-6-0728>

#### ***Материалы докладов на конференциях:***

1. **Redina A.A.**, Prokopyev I.R. Fluid inclusion study of fluorites from the Mushugai-Khuduk carbonatite complex (Southern Mongolia) // XXIV Beninial Conference – European Current Reseach on Fluid inclusions, 23-29 June 2017, Nancy (France) – P. 104.

2. Прокопьев И.Р., Дорошкевич А.Г., Кравченко А.А., Иванов А.И., **Редина А.А.** Особенности состава минералов в породах Джелтулинского щелочного массива (Тыркандинский рудный район, Алдан) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Издательский дом СВФУ, 2017. – С. 404-408.

3. Прокопьев И.Р., Дорошкевич А.Г., **Редина А.А.** Минералогия и флюидный режим карбонатитов центрального Алдана: апатитового месторождения Селигдар и проявления Усть-Чульман (Южная Якутия, Россия) // Геология и минералогия Северной Евразии: материалы совещания, приуроченного к 60-летию Института геологии и геофизики СО АН СССР, 2017, издательство: ИГМ СО РАН (Новосибирск). – С. 195-196.

4. Прокопьев И.Р., Дорошкевич А.Г., **Редина А.А.**, Егитова И.В. Петрография щелочных пород, минералогия и условия образования рудной минерализации Верхнеамгинского золотоносного района (Алданский щит, Южная Якутия) // Петрология магматических и метаморфических комплексов: материалы IX всероссийской конференции с международным участием, 2017, издательство: Томский центр научно-технической информации (Томск). – С. 360-366.

5. Nikolenko A.M., Doroshkevich A.G., **Redina A.A.**, Prokopyev I.R., Chebotarev D.A. Geochemical and isotopic data of Mushgai-Khudag (South Mongolia) // Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits. – 2019. – V.36. – P. 204-207.

6. Prokopyev I.R., **Redina A.A.**, Ripp G.S. Ore-forming brine-melt of Ulan-Ude F-REE carbonatites (Western Transbaikalia, Russia) // Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits. – 2019. – V.36. – P. 242-243.

7. **Redina A.A.**, Nikolenko A.M., Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R. Formation conditions and composition of the fluorite mineralization of the Mushugai-Khuduk complex (Southern Mongolia) // Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits. – 2019. – V.36. – P. 256-257.

8. Прокопьев И.Р., Дорошкевич А.Г., Рипп Г.С., **Редина А.А.**, Николенко А.М., Потапов В.В., Обухов А.В. Минералогия и флюидный режим формирования карбонатитов

Центрально-Азиатского складчатого пояса: центральная Тува (Карасуг, Улатай-Чоз), южная Монголия (Мушугай-Худук) и западное Забайкалье (Улан-Удэнское) // Материалы V всероссийской “Байкальской молодежной научной конференции по геологии и геофизике”. – 2019. – С. 65-67.

9. **Redina A.**, Wohlgemuth-Ueberwasser C., Mikhailova J., Ivanyuk G. Melt inclusions in olivines from phoscorites and olivinites of the Kovdor massif // EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020. – EGU2020-12611.

10. Prokopyev I., **Redina A.**, Potapov V., Doroshkevich A. Mineralogy and genesis of the Fe-P-F-REE carbonatites of the Central Asian province: a short review // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia, 2020. – P. 171-178.

11. **Redina, AA**, Doroshkevich, AG. Fluorite mineralization specificities related with carbonatites in Western Transbaikalia (Arshan and Yuzhnoe ore occurrences) // Goldschmidt, 2021. <https://doi.org/10.7185/gold2021.6544>

12. Дорoshkevich А.Г., **Редина А.А.**, Избродин И.А., Рипп Г.С. Возраст и источники вещества бастнезит-флюоритовых пород Улан-Удэнского и Южного проявлений (Западное Забайкалье) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса от океана к континенту. Материалы научной конференции. Выпуск 20. Иркутск, 2022. – С. 95-96.

13. **Редина А.А.**, Дорoshkevich А.Г. Флюоритовая минерализация Позднемезозойской карбонатитовой провинции, на примере проявлений Мушугай-Худук (Южная Монголия), Аршан, Южное и Улан-Удэнское (Западное Забайкалье): геохимические особенности, условия формирования и изотопные исследования // Геодинамика и минерагения Северной Евразии. Улан-Удэ, 2023.