

Министерство науки и высшего образования  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ГИН СО РАН)

УДК 551.2 (553.04,556.25)  
№ гос. рег.  
AAAA-A16-116122110027-2

Инв. № 1

УТВЕРЖДЕНО

РЕШЕНИЕМ УЧЕНОГО СОВЕТА  
Протокол № 10 от «17» декабря 2020 г.

Председатель Ученого совета,  
Врио директора института, д.г.-м.н.  
А.А. Цыганков



ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**Проект IX.129.1.2.** Фанерозойский магматизм и рудообразующие системы Саяно-Байкальской складчатой области: источники расплавов, флюидов, рудного вещества; процессы генерации и взаимодействия магм  
(заключительный)

Номер проекта в ИС управления НИР  
0340-2019-0001

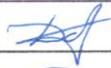
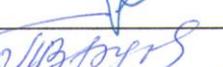
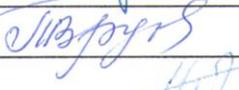
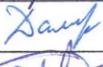
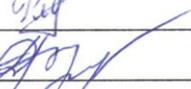
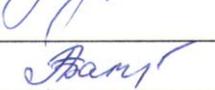
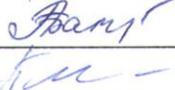
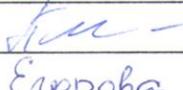
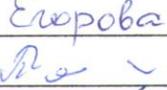
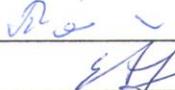
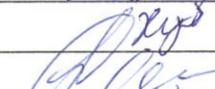
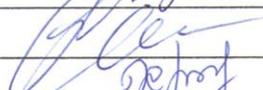
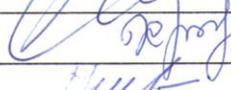
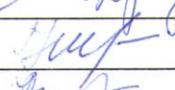
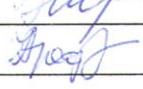
**Приоритетное направление IX.129.** Закономерности формирования минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов  
**Программа IX.129.1.** Процессы мантийно-корового взаимодействия и изотопно-геохимические индикаторы рециклирования элементов

Научный руководитель  
д.г.-м.н.

  
А.А. Цыганков

Улан-Удэ, 2020

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы д.г.-м.н., врио дир.		Цыганков А.А.
Исполнители темы:		
д.г.-м.н., в.н.с (0.1)		Дорошкевич А.Г.
к.г.-м.н., зав. лаб.		Канакин С.В.
к.г.-м.н., в.н.с.		Рипп Г.С.
к.г.-м.н., с.н.с.		Врублевская Т.Т.
к.г.-м.н., зав. лаб.		Избродин И.А.
к.г.-м.н., с.н.с.		Хубанов В.Б.
к.г.-м.н., н.с.		Дамдинова Л.Б.
к.г.-м.н., н.с.		Ласточкин Е.И.
к.г.-м.н., с.н.с.		Рампилов М.О.
к.г.-м.н., с.н.с.		Бурмакина Г.Н.
к.г.-м.н., н.с.		Рампилова М.В.
к.г.-м.н., м.н.с.		Аюржанаева Д.Ц.
м.н.с.		Буянтуев М.Д.
инж. 2 категории		Батуева А.А.
с.н.с.		Посохов В.Ф.
инж. 1 категории		Егорова Н.Н.
вед. инж.		Посохова В.Л.
инж. 2 категории		Ходырева Е.В.
м.н.с.		Хубанова А.М.
вед. инж.		Тюгашев В.А.
м.н.с.		Хромова Е.А.
вед. инж.		Утина Е.Д.
инж. 2 категории		Арефьева Н.А.

## РЕФЕРАТ

Отчет 37 с., 1 кн., 13 рис., 40 источн., 1 прил.

ГРАНИТОИДНЫЙ МАГМАТИЗМ, СМЕШЕНИЕ МАГМ, ИЗОТОПНАЯ ГЕОХИМИЯ, ИСТОЧНИКИ МАГМ И ФЛЮИДОВ, РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ И ФЛЮОРИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ИЗОТОПНО-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ, ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ, РУДООБРАЗОВАНИЕ, LA-ICP-MS, ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ

В результате исследований 2017–2020 гг., получены новые данные о процессах взаимодействия мафических и кремнекислых магм, их источниках, изотопном возрасте гранитоидных комплексов Забайкалья, возрасте щелочных пород и проявлений базитового магматизма. Установлена синхронность основного этапа позднепалеозойского гранитоидного магматизма (Ангаро-Витимский батолит), с одним из этапов щелочного и базитового магматизма Забайкалья. Эти данные, в сочетании с геологическими и геохронологическими свидетельствами смешения магм подтверждают представления о ключевой роли мантийного магматизма в формировании гигантских ареалов гранитоидов во внутриконтинентальной геодинамической обстановке.

Установлено, что мафические и щелочные магмы формировались за счет обогащенного и умеренно-деплетированного мантийных источников. Изучены процессы плавления гранитных ксенолитов в щелочно-базальтовом расплаве. Показано, что ультракислый высококалиевый состав продуктов плавления определяется, главным образом, присутствием щелочно-хлоридного и/или щелочно-углекислого флюида и слабо зависит от состава гранитоидов.

На основании детальных исследований впервые для Сибири доказана принадлежность апатит-магнетитовых руд месторождения Северный Гурвунур (Западное Забайкалье) к типу Кируна, установлен его изотопный возраст, параметры формирования и преобразования руд. Комплексом современных методов изотопного датирования – U-Pb (по циркону), Ar/Ar (по мусковиту) и Re-Os (по молибдениту), установлен возраст руд Первомайского Mo, Ермаковского F-Be месторождений, определен солевой состав рудообразующих флюидов, LA-ICP-MS методом определены концентрации породообразующих, редких и рассеянных элементов в палеогидротермах. Термобарогеохимическими исследованиями руд Ермаковского F-Be месторождения установлены *PTX* условия кристаллизации руд. Открыт новый тип бастнезит-флюоритовых карбонатитов, доказана их магматическая природа, установлен возраст, изотопные характеристики, *PTX* условия образования.

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Настоящий отчет о НИР составлен с использованием Государственного стандарта (ГОСТ 7.32-2017).

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Конкордия – кривая согласованных значений радиометрического возраста

Кр-спектроскопия – спектроскопия комбинационного рассеяния

ФВ – флюидные включения

Ar/Ar – аргон-аргоновый метод изотопного датирования

D – дейтерий

HREE – тяжелые редкоземельные элементы

Kfs – калиевый полевой шпат

LA-ICP-MS – аналитический метод - масс-спектрометрия индуктивно-связанной плазмы с лазерным пробоотбором

LREE – легкие редкоземельные элементы

MME (mafic microgranular enclaves) – мафические микрогранулярные включения

MSWD (СКВО) – средний квадрат отклонений

PDB – стандарт для углерода

PIС – область мантийных составов

Pl – плагиоклаз

REE (РЗЭ)– редкоземельные элементы

Re-Os – рений – осмиевый метод изотопного датирования

SHRIMP – RG ионный мультиколлекторный микрозонд

U-Pb – уран-свинцовый метод изотопного датирования

VCDT – метеоритный стандарт

VSMOW – стандартная среднеокеаническая вода

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение .....	6
Наиболее значимые результаты, полученные при выполнении проекта (2017–2019 гг.) .....	8
Основные результаты 2020 года. ....	12
Заключение .....	29
Список использованной литературы .....	30
Приложение А .....	34

## ВВЕДЕНИЕ

Завершающийся в 2020 году проект «Фанерозойский магматизм и рудообразующие системы Саяно-Байкальской складчатой области: источники расплавов, флюидов, рудного вещества; процессы генерации и взаимодействия магм» был направлен на изучение гранитоидных, базитовых и щелочных комплексов СБСО и связанного с ними редкометалльного оруденения с целью установления этапов магматизма, геохимических типов источников вещества (расплавов, рудоносных флюидов), реконструкции геодинамических обстановок магматизма и рудообразования, процессов генерации, взаимодействия и кристаллизации магм, условий переноса и концентрирования рудных компонентов.

В 2020 году были продолжены исследования, направленные на выяснение изотопного возраста гранитоидов и щелочных пород Западного Забайкалья с акцентом на установление длительности и относительной интенсивности магматических процессов, главным образом, на позднепалеозойском этапе геологического развития региона. Помимо традиционных методов изотопного датирования был использован метод детритовой геохронологии. В результате этих исследований получены дополнительные свидетельства синхронности позднепалеозойского щелочного и гранитоидного магматизма Западного Забайкалья, уточнена общая продолжительность формирования гранитоидов Ангаро-Витимского батолита (на примере одного из участков Северо-Муйского хребта), составляющая 40 млн. лет. выделены пять этапов формирования и переработки континентальной коры Монголо-Забайкальского сектора Центрально-Азиатского складчатого пояса: 1) неоархей-палеопротерозойский этап, соответствующий глобальным корообразующим процессам формирования фундамента докембрийских кратонов; 2) неопротерозойский (байкальский) и 3) раннепалеозойский (каледонский) этапы ювенильного (островодужного) корообразования; 4) позднепалеозойский и 5) ранне-среднемезозойский этапы внутриплитного рифтогенеза и магматизма.

Большое внимание уделялось реконструкции источников магм, прежде всего щелочных пород. В частности, для ряда массивов щелочных пород Витимской провинции установлен деплетированный мантийный источник щелочных магм, контаминированных карбонатным материалом вмещающих пород.

Особое внимание в отчетном году было сосредоточено на рудном направлении исследований. На Ермаковском F-Be месторождении, посредством изотопно-геохронологических и изотопно-геохимических исследований фтор-бериллиевых руд и кварц-сульфатных прожилков в щелочных гранитах массива «Шток» показана зависимость изотопного состава кварца ( $\delta^{18}\text{O}$ ) этих гидротермалитов от состава вмещающих пород;

получены новые геохронологические данные по апатиту (U-Pb, LA-ICP-MS) рудных зон, возраст которого коррелирует с сиенитами и гранитами, развитыми в рудном поле месторождения.

Продолжено изучение редкоземельных руд флюорит-бастнезитового типа (Улан-Удэнское, Портовое, Смолина). В 2020 г. исследования сосредоточились на термометрическом изучении включений в минералах, в результате чего были получены доказательства магматической природы редкометалльной минерализации.

Забайкалье является крупнейшей в России флюоритоносной провинцией. Здесь известны сотни проявлений и месторождений флюорита эпитермального генетического типа, в том числе и промышленные. Изотопно-геохимическими исследованиями ряда разнотипных флюоритовых месторождений показано участие метеорных вод в их образовании, причем доля метеорного флюида варьировала от 55 до 85 %. При этом редкоэлементный состав флюорита обнаруживает сильную зависимость от состава вмещающих флюоритовые жилы и прожилки пород.

Проведены минералогические и термобарогеохимические исследования руд Инкурского вольфрамового месторождения (Джидинское рудное поле, Юго-Западное Забайкалье). В результате этих исследований установлены этапы минералообразования, выявлены факторы осаждения гюбнерита из гидротермальных растворов.

Начаты экспериментальные исследования (совместно с ИЭМ РАН) по растворимости бериллия в гранитоидных расплавах различной щелочности. Первые результаты этих исследований выявили высокую растворимость Be, возрастающую с увеличением алкаитности гранитного расплава.

Таким образом, в результате исследований 2020 года получены новые данные по изотопному возрасту щелочных пород, гранитоидов и рудных образований, а также по источникам и составу рудообразующих флюидов разнотипных магматогенных гидротермальных редкометалльных и редкоземельных месторождений и рудопроявлений, что полностью отвечает целям и задачам настоящего проекта.

## Наиболее значимые результаты, полученные при выполнении проекта (2017–2019 гг.)

1. Установлены два типа комбинированных даек (минглинг-даек), строение которых определяется пропорциями салического и базитового компонентов и реологическим состоянием вмещающей среды. Формирование комбинированных даек в Западном Забайкалье по времени коррелирует с позднепалеозойским этапом магматизма в результате которого сформировалась одна из крупнейших на Земле гранитоидная провинция. Образование базитовых магм комбинированных даек происходило за счет плавления модифицированного (обогащенного коровыми компонентами) мантийного источника.

2. Установлен позднепалеозойский (от 321 до 281 млн. лет) возраст цирконов гранитоидов северной части Ангаро-Витимского батолита (U-Pb, LA-ICP-MS). Изученные гранитоиды принадлежат к умеренно-глиноземистой высоко-калиевой известково-щелочной серии. В цирконах зафиксированы унаследованные ядра широкого возрастного диапазона, что указывает на смешанный разновозрастный источник магм.

3. Впервые установлен особый тип бастнезитсодержащих редкоземельных карбонатитов, характеризующихся высокими (до 20 мас. %) содержаниями легких лантаноидов (рудопоявление Портовое, г. Улан-Удэ), что резко повышает перспективы региона и позволяет рекомендовать эту площадь для поисковых работ на редкоземельное оруденение.

4. Посредством минералого-петрографических, геохимических и термобарогеохимических исследований флюидных включений в минералах руд Ауникского F-Be месторождения установлены P-T-X параметры рудообразующего процесса. Показано, что главными факторами, обусловившими формирование F-Be руд, явились уменьшение активности F в растворах за счет связывания Ca и F во флюорит, а также снижение температуры в ходе рудоотложения.

5. На примере изучения гранитных ксенолитов щелочно-базитовой Гусиноозерской дайки (Западное Забайкалье) показано, что они претерпели частичное плавление в контакте с вмещающей базитовой (мантийной) магмой. Ксенолиты имеют щелочно-полевошпат-гранитный и плагиогранитный состав. Независимо от их состава продукты плавления представляют собой ультракислое стекло с высокой калиевой щелочностью отношение  $K_2O/Na_2O$  в котором  $\geq 2$ . Установлено, что ультракислый высококалиевый состав продуктов плавления определяется, главным образом,

присутствием щелочно-хлоридного и/или щелочно-углекислого флюида и в меньшей степени зависит от состава гранитоидного протолита.

6. Посредством U-Pb LA-ICP-MS изотопного датирования цирконов установлен одинаковый (в пределах точности определения) возраст салической (трахириолит) и мафической (субщелочной базальт) составляющих комбинированных даек «первого типа» позднепалеозойского дайкового пояса центральной части Западного Забайкалья. Полученные данные свидетельствуют о пространственно-временной сопряженности корового (салического) и мантийного (базитового) магматизма на позднепалеозойском этапе эволюции региона. Установлено, что промежуточные трахиандезит-трахидацитовые зоны комбинированных даек являются результатом химического взаимодействия контрастных магм на гипабиссальном уровне земной коры.

7. На основании детальных исследований впервые для Сибири доказана принадлежность апатит-магнетитовых руд месторождения Северный Гурвунур (Западное Забайкалье) к типу Кируна. U-Pb возраст (LA-ICP-MS) месторождения, определенный по апатиту, составляет  $422 \pm 20$  млн. лет, что указывает на существование ранее неизвестного этапа рудообразования в Забайкалье. Вычисленная температура апатит-магнетитового равновесия  $620-800^\circ \text{C}$  свидетельствует о магматическом происхождении руд. Метаморфизм, имевшего место 293 млн. лет назад ( $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ , флогопит), привел к перекристаллизации руд, рафинированию апатита от примесей с выделением монацита и ксенотима.

8. Термобарогеохимическими исследованиями основных рудных зон Ермаковского F-Be месторождения определены интервалы температур частичной гомогенизации флюидных включений (ФВ). Все первичные ФВ содержат дочерние кристаллы кальцита, не растворяющиеся в момент растворения газовой фазы. На основании расчетных и экспериментальных данных установлено, что давление в момент захвата ФВ, содержащих дочерний кальцит, составляло  $\geq 3$  кбар, что говорит о высокobarических и, соответственно, высокотемпературных условиях ( $T \geq 450^\circ \text{C}$ ) кристаллизации раннего флюорита.

9. Посредством Sm-Nd (породы) и Lu-Hf (цирконы) изотопных исследований гранитоидов северо-западной и северной части Ангаро-Витимского батолита (АВБ), с учетом ранее полученных данных установлено, что позднепалеозойская гранитоидная провинция Западного Забайкалья сформировалась на коре континентального типа – в пределах рифейской изотопной провинции. Эта провинция гетерогенна по своей геологической и изотопной структуре, что отражается на изотопном составе однотипных и разновозрастных гранитоидов. Изотопная (геологическая) гетерогенность проявлена как по

латерали, так и в разрезе коры, о чем свидетельствует пространственное совмещение, синхронных, сходных по химическому составу, но изотопно разных гранитоидов, формировавшихся за счет разноглубинных и разновозрастных источников.

10. Установлен U-Pb изотопный возраст минглинг-даек Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) – индикаторов смены тектонического режима сжатия, постколлизийным растяжением. Формирование минглинг-даек происходило в период 485-490 млн лет. Вмещающие граниты Матутского массива имеют изотопный возраст 509 млн лет, а в цирконах из гнейсогранитов эрзинского метаморфического комплекса зафиксированы термальные события рифейского (679–934 млн лет) и раннепалеозойского (484 млн лет) возраста. Полученные данные согласуются с установленной ранее последовательностью тектоно-метаморфических событий Западного Сангилен. Базиты изученных минглинг-даек кардинально различаются содержаниями индикаторных элементов (Rb, Nb, Ta, Zr, Hf) и величиной отношений Nb/Y, Zr/Y, Th/Ta, Zr/Nb, Nb/Th, что указывает на разные, вероятно разноглубинные, мантийные источники. Протолитом калийной части даек были породы близкие по составу к автохтонным и параавтохтонным гнейсогранитам Эрзинского метаморфического комплекса. Геохимические различия калийных пород рассматриваемых даек связаны с гетерогенностью метаморфической толщи, разной степенью плавления протолита и разной степенью сегрегации расплава.

11. Изучены бастнезит-флюоритовые породы Улан-Удэнского проявления, представляющего собой новый тип карбонатитов. Результаты термобарометрических исследований включений в бастнезите и флюорите, минералогические и изотопно-геохимические особенности Улан-Удэнского бастнезитового проявления, свидетельствуют о их магматическом происхождении. В бастнезите установлены флюидные рассол-расплавные включения с температурами гомогенизации 490–520° С. Солевой состав таких включений представлен преимущественно сульфатами Na и Ca, в подчиненном количестве присутствуют карбонаты Ca и REE, газовая фаза включений содержит углекислоту. Структурно-текстурные особенности пород (равномернозернистость, фенокристы, следы течения, наличие газовых пустот) отсутствие реакционных кайм с ксенолитами (несмотря на пестрый состав), более всего указывает на магматический способ их образования. Высокие (до 8-9 мас. %) содержания фтора в тетраферрифлюоропитах при отсутствии в них воды демонстрируют дефицит флюида в расплаве. Значения  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  в бастнезите-(Ce) из бастнезит-флюоритовых пород (-3.6 до -6.6 ‰), и  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  (+4.3 до +8.3 ‰) лежащие в поле PIC, свидетельствуют о глубинном источнике углекислоты.

12. Комплексом современных методов изотопного датирования – U-Pb (по циркону), Ar/Ar (по мусковиту) и Re-Os (по молибдениту), получены новые данные о

возрасте Первомайского молибденового месторождения, свидетельствующие о сопряженности процессов гранитообразования и рудоотложения на рубеже 119-128 млн. лет назад. Термобарогеохимическими исследованиями первичных флюидных включений установлено, что кварц-молибденитовые прожилки месторождения формировались в интервале температур  $\geq 314-186^{\circ}\text{C}$  при участии гомогенных флюидов с периодами гетерогенизации раствора, с общей концентрацией солей 6.3–12.7 мас. % экв. NaCl. Главные солевые компоненты рудообразующих растворов – CaCl, NaCl, KCl и FeCl<sub>2</sub>. В составе газовой фазы флюидных включений установлены CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>. Методом LA-ICP-MS определены концентрации следующих элементов: Li, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, La, Ce, Ta, W, Au, Pb, Th, U, Be, B, Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, в палеорастворах. Содержание Mo в богатых кварц-молибденитовых прожилках достигает 559 ppm (сред. 182 ppm), в более бедных – до 212 ppm (сред. 13). Установлено, что богатые прожилки были сформированы околонеутральными растворами с большим содержанием Mo, S и F, тогда как из растворов повышенной щелочности отлагаются относительно бедные прожилки, что позволяет считать pH растворов одним из факторов рудоносности.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2020 ГОДА

**Петрологический блок.** Геодинамические модели фанерозойского гранитоидного и щелочного магматизма СБСО: общая продолжительность и относительная интенсивность позднепалеозойского и раннемезозойского циклов магматизма, его периодизация на основе данных изотопной геохронологии, геохимическая типизация источников коровых и мантийных магм, вклад процессов дифференциации, ассимиляции и смешения магм в результирующий состав plutонических и вулканогенных комплексов СБСО [Отв. исп. д.г.-м.н. Цыганков А.А.].

1. В отчетном году продолжено петролого-геохимическое и геохронологическое изучение пород Витимской щелочной провинции (Западное Забайкалье). Для Зимовьечинского, Тучинского и Комского интрузивов щелочных пород (рис. 1) получены новые геохронологические ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , U-Pb SHRIMP II), петрологические и геохимические данные (рис. 2). При этом для Комского массива данные фиксируют 4 возрастные группы:  $2705 \pm 29$  млн. лет (1 зерно – 2 определения);  $983 \pm 26$  млн. лет (1 зерно – 2 определения);  $811 \pm 15$  млн. лет (6 значений в 6 зернах); и  $314.1 \pm 6.6$  млн. лет (4 значения в четырех зернах). При этом результаты каждой из групп образуют конкордатные значения (см. рис. 2 в). Для уточнения полученного возраста были проведены дополнительные Ar-Ar изотопные исследования биотита, отобранного из образца нефелинового сиенита (см. рис. 2 г). На  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  спектре биотита, отчетливо выделяется возрастное плато с значением  $287 \pm 3.6$  млн. лет и максимальной долей кумулятивного  $^{39}\text{Ar}$ . Учитывая близкие U-Pb и Ar-Ar изохронные данные для сиенитов Комского массива, можно предположить, что возраст полученный по циркону (314 млн. лет) соответствует началу кристаллизации щелочных пород, а возраст, определенный по биотиту (287 млн. лет), времени закрытия изотопной системы. Столь продолжительный интервал времени закрытия изотопной системы, скорее всего, связан с длительностью существования магматического очага. Это подтверждается мультисистемным изотопным датированием, выполненным в последние годы для Ангаро-Витимского гранитоидного батолита, которое свидетельствует в пользу закрытия изотопной системы U/Pb в цирконе и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  в биотите  $\Delta t_{\text{zr-bt}} = 37\text{--}112$  млн. лет [1].

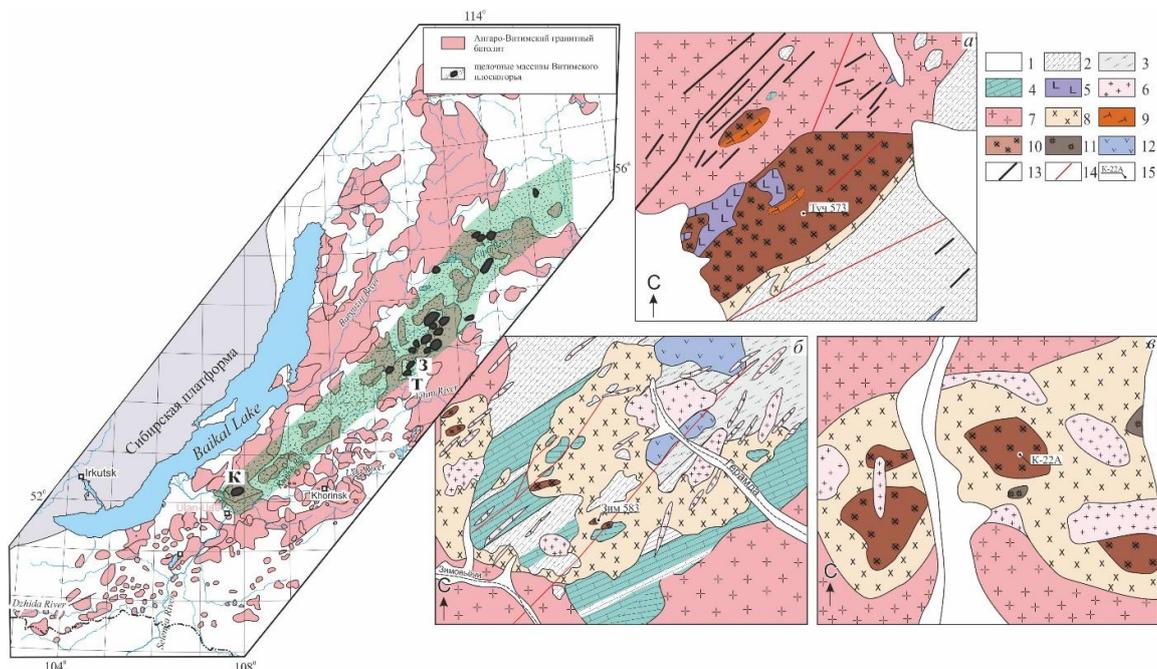


Рисунок 1 - Схема расположения и геологического строения щелочных массивов на Витимском плоскогорье: 3 – Зимовьечинский (а), Т – Тучинский (б) и К – Комский (в) (по данным [2,3,4] с дополнениями авторов). 1 – четвертичные отложения; 2 – метаморфизованные песчаники и сланцы; 3 – скарны, роговики, амфиболиты; 4 – известняки; 5 – покровы неогеновых базальтов; 6 - лейкократовые аплитовидные граниты, щелочные граниты и граносиениты. 7 – средне - крупнозернистые порфировидные граниты и сиениты; 8 - щелочные сиениты; 9 – уртиты; 10 – нефелиновые сиениты; 11 – шонкиниты; 12 – габбро, габбро-диориты и диориты; 13 – дайки сиенит-порфиров, кварцевых сиенит-порфиров, сиенит-пегматитов, 14 – тектонические нарушения; 15 – места отбора проб для геохронологических исследований

На гистограмме распределения геохронологических данных (рис. 3) видно, что образование изученных интрузивов по времени совпадает с основным этапом становления позднепалеозойских (311–294 млн. лет) щелочных пород Витимского плоскогорья и сыннырского комплекса [5,6,7,8,9,10,11] разных по составу гранитоидов баргузинского, чивыркуйского и зазинского комплексов в Забайкалье [12,13,14,15,16]. В этот период также формировались породы бимодальной вулканической ассоциации, шошонитовой габбро-монцонит-сиенитовой серии ряда массивов в Забайкалье [17,18,19,20]. Стоит отметить, что образование щелочных пород происходило в достаточно широком временном интервале (см. рис. 3), схожим по времени со становлением гранитоидов. В противоположность этому, породы базитового ряда Забайкалья показывают достаточно узкий временной интервал формирования [14,15,19], хотя авторы связывают это с небольшим количеством определений возраста. В любом случае, вышперечисленные данные свидетельствуют, что проявление позднепалеозойских магматических процессов на современной территории Забайкалья было длительным.

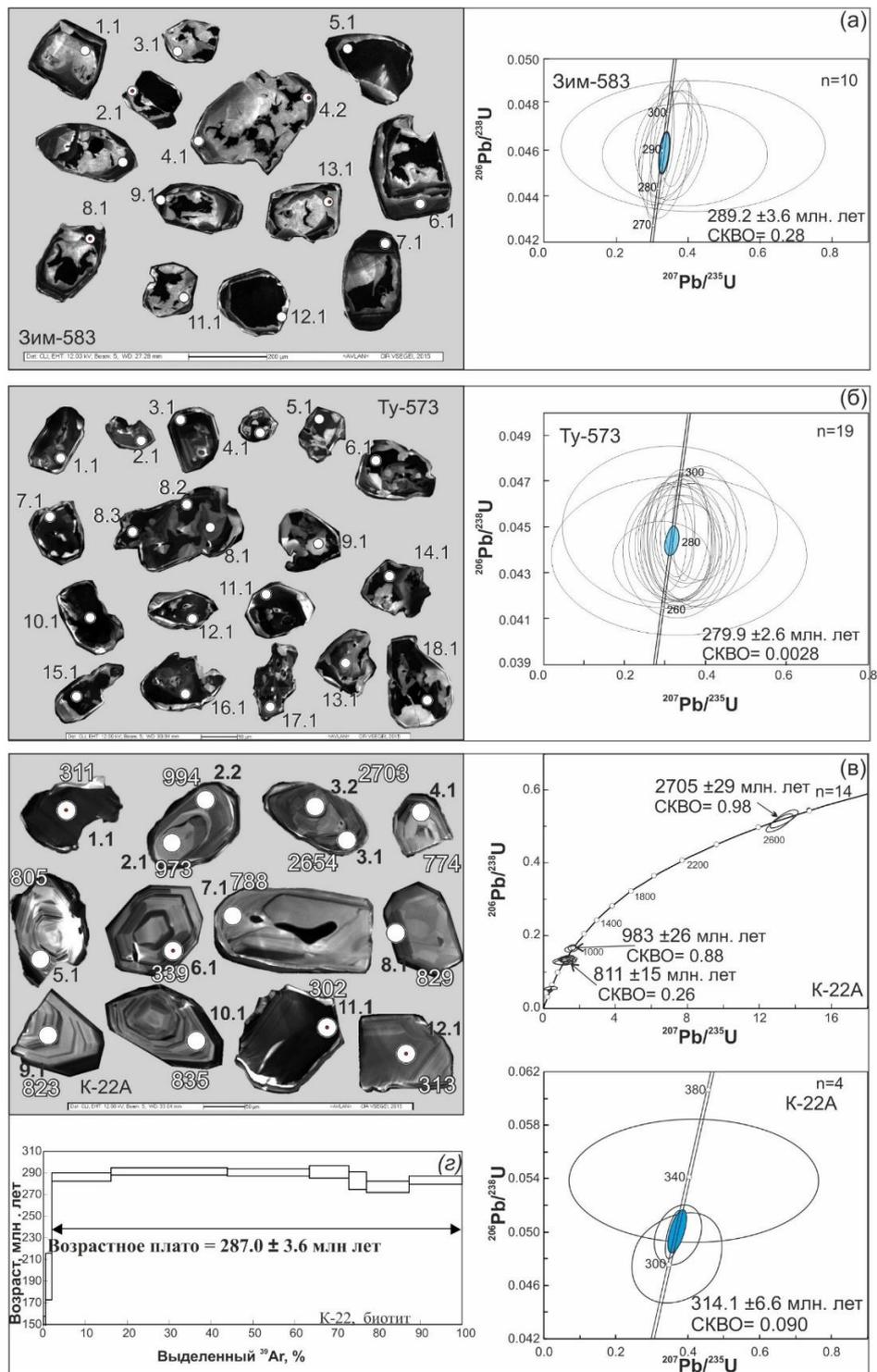


Рисунок 2 - Катодоллюминесцентное изображение цирконов (слева) и диаграммы Тера-Вассербурга с конкордией [21] (справа) – для цирконов из нефелиновых сиенитов Зимовьечинского (а – Зим-583), Тучинского (б – Ту-573) и Комского массивов (в – K-22A); (г) -  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  спектр биотита из нефелинового сиенита Комского массива.

Согласно полученным изотопно-геохимическим данным, щелочные породы Зимовьечинского, Тучинского и Комского массивов характеризуются диапазоном значений  $\epsilon\text{Nd}(T)$ , которые полностью перекрываются с изотопным составом позднепалеозойских щелочных пород натровой серии Витимского плоскогорья [5]. Вариации изотопного

состава неодима ( $\epsilon Nd$  от +6 до -3) вероятно связаны с ассимиляцией карбонатного осадочного материала [5,8]. Косвенными признаками этого служит наличие в щелочных породах кальцита и кальциевых гранатов, а также отрицательные значения  $\epsilon Nd$  в тех массивах, внедрение которых происходило в карбонатную раму (например, Зимовьечинский, Мухальский массивы) и, наоборот, отсутствие вышеперечисленных минералов и положительные  $\epsilon Nd$  в тех массивах, залегающих среди алюмосиликатных пород (например, Комский массив) [8,22].

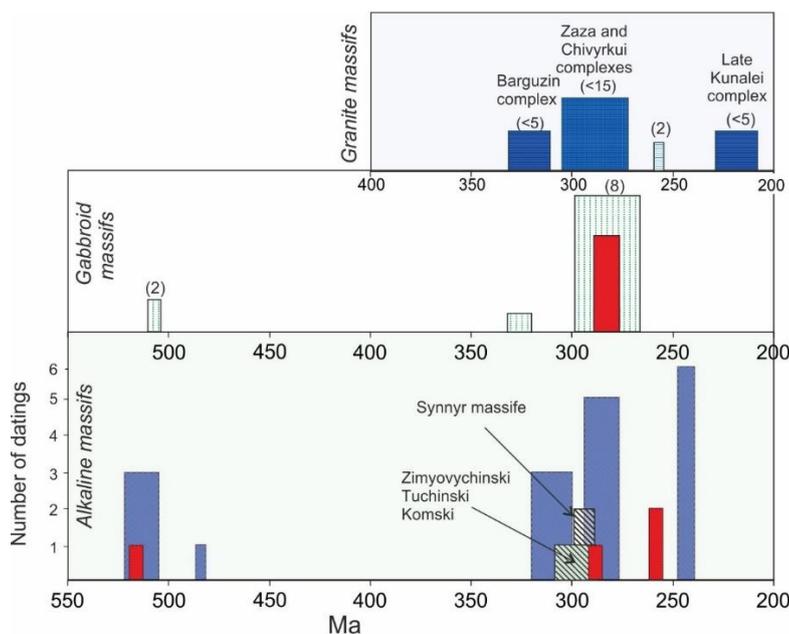


Рисунок 3 - Гистограмма распределения геохронологических данных для щелочных массивов Витимского плоскогорья. Во вкладке для сравнения приведены возрастные характеристики гранитоидного [14,15] и габброидного [19,20] магматизма Забайкалья. Метод определения возраста: со штриховкой U-Pb (SHRIMP-II и LAICPMS); залитое поле – Ar-Ar.

Из этого следует, что положительные до близких к нулю значения  $\epsilon Nd$  являются характерной особенностью натрового типа щелочного магматизма в рассматриваемом регионе в этот период времени. Ранее подобные изотопные характеристики были зафиксированы для базальтов Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП), состав которых определялся совмещением деплетированного и обогащенного мантийных источников [13,23,24,25] (рис. 4, а, б).

Скорее всего, это может свидетельствовать в пользу близости возможных источников родоначальных расплавов щелочных пород натровой серии, базитов и гранитоидов восточного сегмента ЦАСП. Стоит отметить, что значения  $\epsilon Nd$  (T) позднепалеозойских пород натровой серии Витимского плоскогорья отличаются от одновозрастных пород калиевой серии (включая Сыннырский массив), гранитоидов и пород базитового ряда Забайкалья, которые характеризуются отрицательными  $\epsilon Nd$  (T) и мезопротерозойскими значениями модельного возраста [10,14,15,16,17,26] (см. рис. 4, а, б).

Этот факт позволяет предполагать участие источника, отличного от такового для пород натриевой серии. Отв. исп. к.г.-м.н. Избродин И.А.

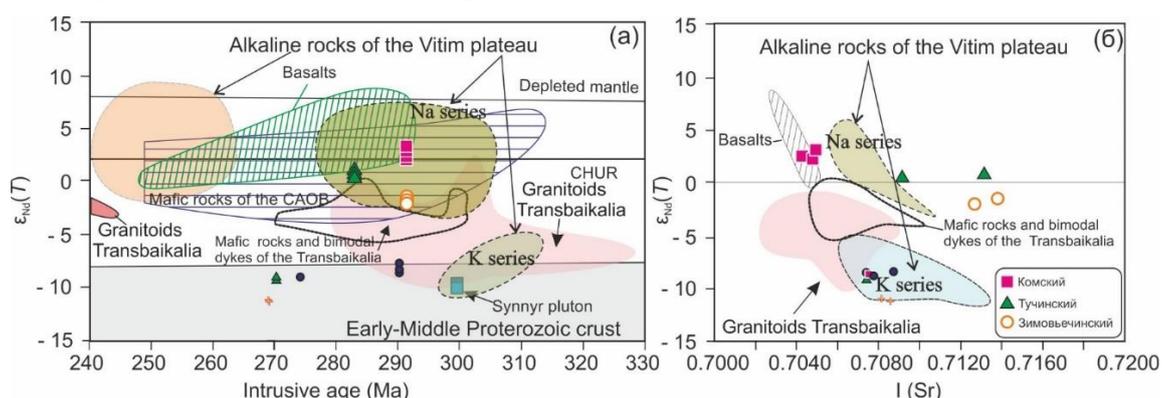


Рисунок 4 - Диаграмма зависимости  $\epsilon_{Nd}(T)$  от возраста и изотопных отношений  $^{143}Nd/^{144}Nd - (I)Sr$  – для позднепалеозойских щелочных пород Витимского плоскогорья, Западное Забайкалье. Базиты ЦАСП по [13,23,25]; базиты и бимодальные дайки Забайкалья (PZ<sub>3</sub>) [14,27]; гранитоиды Ангаро-Витимского батолита [14,15,16,27].

2. Монголо-Забайкальский сектор Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) представляет собой байкальско-каледонское аккреционное горно-складчатое сооружение, образованное путем амальгамации разноформационных террейнов к южной (в современных координатах) окраине Сибирского кратона. В конце палеозоя и раннем мезозое эта территория стала ареной беспрецедентного по масштабам гранитоидного магматизма, в результате которого сформировались крупнейшие в Центральной Азии Ангаро-Витимский (АВБ), Хангайский и Хэнтэйский батолиты, суммарная площадь которых превышает 0.45 млн. км<sup>2</sup>. Основные этапы тектоно-магматической эволюции Монголо-Забайкальского сектора ЦАСП более или менее обоснованы данными U-Pb, Ar-Ar и от части Rb-Sr датирования магматических и метаморфических образований. Вместе с тем, фрагментарность догранитных геологических комплексов, сохранившихся среди обширных полей гранитоидов в виде провесов кровли, крайне затрудняет восстановление хронологии событий позднего неопротерозоя, раннего и среднего палеозоя. Особенно это актуально для северной – Забайкальской части рассматриваемой территории, где Ангаро-Витимский батолит занимает порядка 80 % площади. Помимо этого, нет ясности в понимании продолжительности и интенсивности позднепалеозойско-мезозойского магматизма, прежде всего гранитоидного. Для решения этой проблемы нами использован достаточно хорошо известный подход, суть которого заключается в изотопном датировании обломочных цирконов из современных речных осадков.

Нами отобраны пробы песчаных и песчано-гравийных русловых отложений низовий р. Селенги, примерно в 45 км от ее устья (оз. Байкал) и проба песка из нижнего течения р. Витим (один из крупнейших притоков р. Лены) в районе г. Бодайбо, а также опробованы

русловые песчаные отложения низовий рек Ангаракан и Муя, стекающих с западного и восточного склонов Северо-Муйского хребта (рис. 5). Всего датировано около 530 зерен. Совокупная площадь водосборного бассейна указанных рек составляет примерно 690 тыс. км<sup>2</sup>.

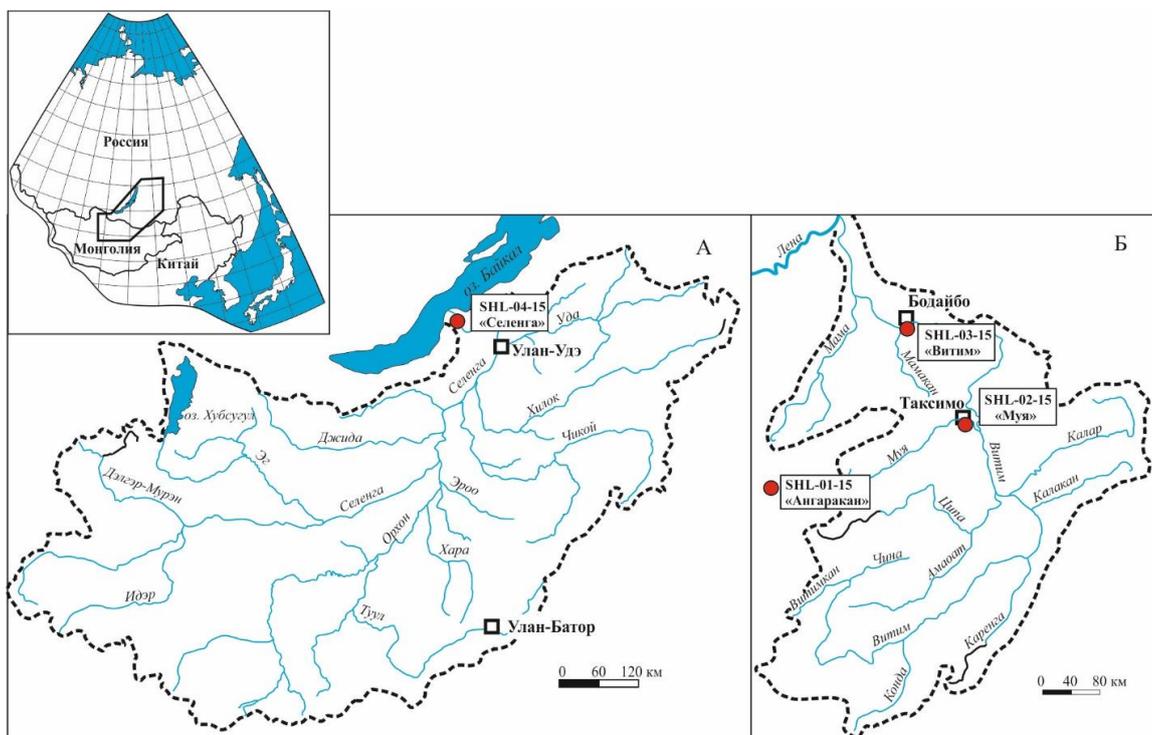


Рисунок 5 - Места отбора проб детритовых цирконов из современных аллювиальных отложений

На общем графике распределения плотности вероятности, построенном по всем данным (рис. 6), достаточно четко выделяются пять временных интервалов: 1) неогархей-палеопротерозойский – 2.7–1.7 млрд. лет со слабовыраженным максимумом 1.83 млрд. лет; 2) неопротерозойский – 900–600 млн. лет с двумя максимумами – 780 и 621 млн. лет; 3) поздний кембрий-девонский – 500–360 млн. лет с максимумом 426 млн. лет; 4) ранний карбон-раннепермский – 350–240 млн. лет с максимумами 315 и 285 млн. лет; 5) триас-раннемеловой – 242–130 млн. лет с максимумом 189 млн. лет.

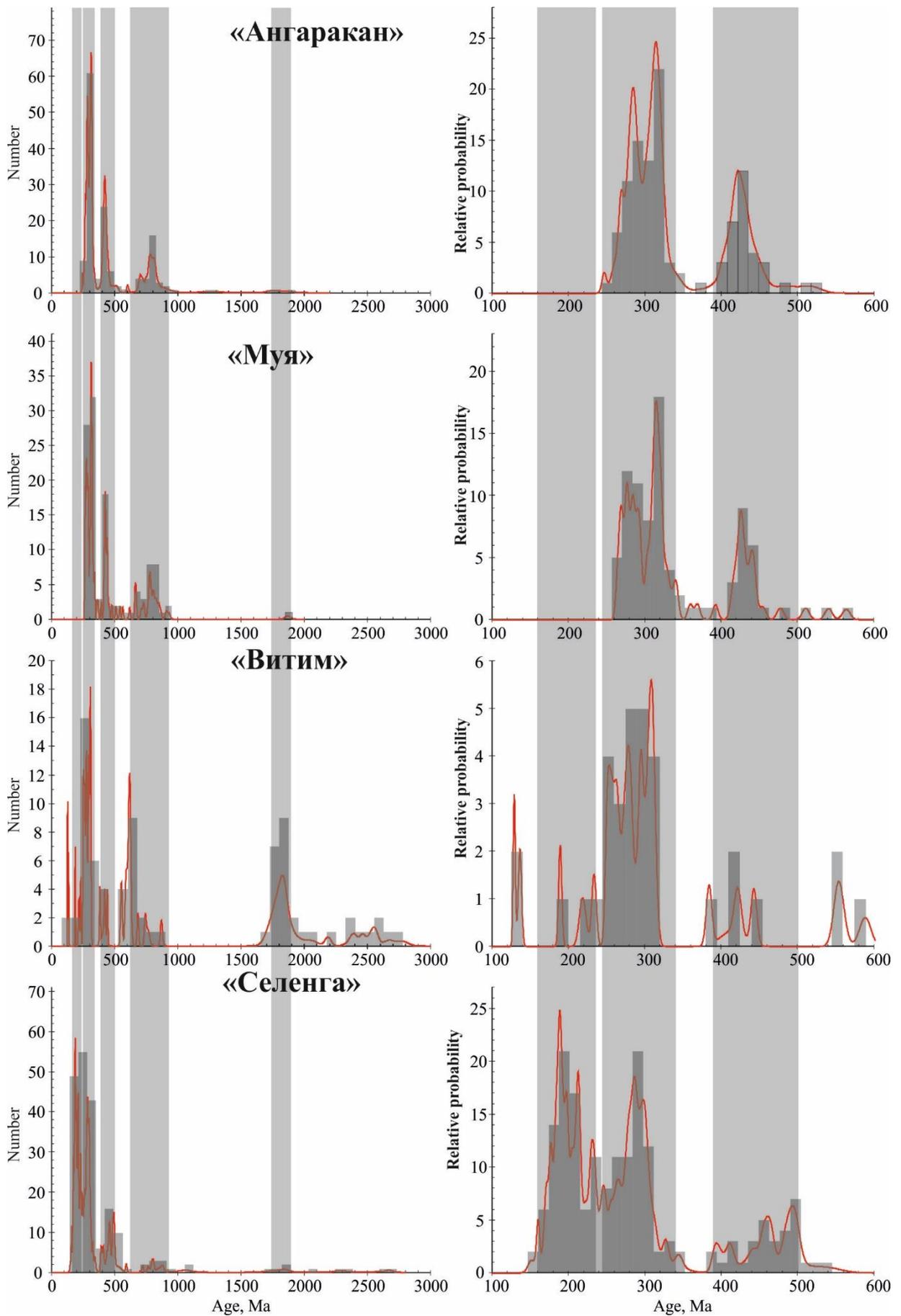


Рисунок 6 - Корреляция U-Pb возраста детритовых цирконов из водосборных бассейнов рр. Ангаракан, Муя, Витим, Селенга

Очевидно, что источником наиболее древних неоархей-палеопротерозойских цирконов с возрастом 2.7–1.7 млрд лет, являются структуры западной части Алданского щита (Олекминский террейн Алданской провинции и Могочинский блок Становой провинции), а также гнейсы, кристаллические сланцы и отложения рифейского чехла (промежуточный коллектор) Дзабханского и Тувино-Монгольского микроконтинентов. Согласно данным И.К. Козакова с соавторами [28] возраст гнейсов и кристаллических сланцев байдарагинского и бумбугерского комплексов Дзабханского террейна составляет 2.6–2.5 млрд лет, идерского комплекса Тарбагатайского террейна ~ 2.2 млрд лет. Древнекоровый компонент фиксируется и в модельном возрасте (TNd(DM-2st) = 1.5–2.7 млрд лет позднепалеозойских гранитов Хангайского батолита [29].

Следующий – неопротерозойский этап (900–600 млн. лет) документирован более надежно. Он в разной степени зафиксирован во всех изученных пробах, а также в единичных унаследованных цирконах из позднепалеозойских гранитоидов Ангаро-Витимского батолита. Обращает внимание значительная продолжительность неопротерозойского интервала, составляющая порядка 300 млн. лет. Это, на наш взгляд, свидетельствует о том, что данный период включает разные события, разделенные, скорее всего, не только во времени, но и в пространстве. Еще одна особенность рассматриваемого этапа заключается в том, что в пробе «Витим» максимум «сдвинут» в более молодую область и составляет 619 млн. лет, т.е. на 150 млн. лет моложе, чем в других пробах. Таким образом, неопротерозойский (байкальский) этап северной и северо-восточной части Байкальской складчатой области включает как минимум два события: 1) островодужный магматизм (Байкало-Муйская островная дуга), максимум которого приходится на рубеж примерно 780 млн. лет; 2) магматические метаморфические процессы, связанные с аккрецией этой Од к Мамско-Бодайбинской окраине Сибири.

Раннепалеозойский этап эндогенной активности, с позднего кембрия (500 млн. лет) по начало позднего девона включительно (375 млн. лет) с максимумом 426 млн. лет, отражает магматические и метаморфические процессы каледонского цикла тектогенеза в результате которого в основном сформировалось южное (в современных координатах) складчатое обрамление Сибирского кратона.

Считается [30], что ранний палеозой – это время существования Удино-Витимской (534–470 млн. лет) и Джидинской (519–504 млн. лет) островных дуг, аккретированных к окраине континента примерно к рубежу 470 млн. лет, что подтверждается радиологическим возрастом (490–477 млн. лет) коллизионных гранитоидов в Юго-Западном Забайкалье [30]. Кроме того, этому временному интервалу соответствуют датировки магматических и

метаморфических комплексов Ольхонского региона, где аккреционно-коллизийные процессы завершились примерно 460–450 млн. лет назад [31].

Позднепалеозойско-раннемезозойский этап эндогенной активности является доминирующим в рассматриваемом регионе. Его общая продолжительность около 80 млн лет – от 350 до 260 млн. лет. В этот временной интервал попадает около 40 % всех изученных цирконов. От событий каледонского этапа рассматриваемый период отделен резким затуханием эндогенной активности в период 375–350 млн. лет.

Происхождение большей части позднепалеозойских цирконов не вызывает особых вопросов. Карбон–пермь – это время формирования Ангаро-Витимского (325–280 млн. лет, [32]) и Хангайского (302–242 млн. лет, основной этап 270–240 млн. лет, [29]) гранитоидных батолитов, суммарная площадь которых составляет порядка 300000 км<sup>2</sup>, а также щелочных гранитоидов Северо-Монгольско-Забайкальского вулканоплутонического пояса (275–210 млн. лет), щелочных гранитоидов и вулканитов Северо-Монгольской рифтовой зоны (265–250 млн. лет).

Мезозойский этап охватывает период примерно в 110 млн. лет с раннего триаса по ранний мел включительно (240–130 млн. лет). В наиболее «чистом» виде этот этап отражен в пробе «Селенга» и представлен небольшим количеством цирконов в пробе «Витим», где они принадлежат, скорее всего, мезозойским гранитами западной части Алданского щита.

В центральных и южных районах Западного Забайкалья, Северной и от части Центральной Монголии этому периоду соответствуют щелочно-гранитоидные и вулканогенные, включая трахиты и щелочные риолиты, образования Северо-Монголо-Забайкальского вулканоплутонического пояса, завершившего свое формирование около 210 млн лет назад, а также гранитоиды Хэнтэй-Даурского батолита (230–210 млн. лет) и литий-фтористые граниты Центральной Монголии (170–140 млн. лет). В Западном Забайкалье в это время сформировались комплексы метаморфических ядер (238–165 млн. лет) [33], трахибазальты, трахиты и трахириолиты Мало-Хамардабанской, Хамбинской и других вулкано-тектонических структур [34]. Кроме того, к завершению этого этапа приурочено формирование рудоносных (W-Mo) гранитоидов гуджирского комплекса (например, Первомайский массив лейкогранитов Джидинского рудного поля, 127 млн. лет) и массивы апатитоносных габброидов (Ошурковский массив, 131–122 млн. лет, [35]).

Таким образом, U-Pb изотопно-геохронологические данные по цирконам из современных речных осадков Монголо-Забайкальского сектора ЦАСП отражают основные этапы эндогенной активности региона, или, говоря иначе, основные этапы образования и переработки континентальной коры. Неоархей-палеопротерозойский этап соответствует глобальным корообразующим процессам формирования фундамена докембрийских

кратонов; 2) неопротерозойский (байкальский) и 3) раннепалеозойский (каледонский) отражают последовательные этапы ювенильного корообразования путем островодужного магматизма и аккреционно-коллизионных процессов, сформировавших складчатые структуры южного обрамления Сибири; 4) позднепалеозойский и 5) ранне-среднемезозойский этапы фиксируют процессы внутриплитного магматизма и рифтогенеза, связанных с плюм-литосферным взаимодействием. Отв. исп. к.г.-м.н. Хубанов В.Б.

**Рудный блок.** Рудообразующий потенциал гранитоидных и щелочных комплексов СБСО и условия его реализации: геохронология и тектонический режим рудообразующих процессов, источники, факторы переноса и концентрирования рудного вещества, динамика рудообразующих процессов, геолого-генетические модели, [Отв. исп. к.г.-м.н. Рипп Г.С.].

1. На Ермаковском F-Be месторождении исследования были направлены на оценку характера связи гранитов массива Шток и фтор-бериллиевого оруденения. Они включали определение возраста руд, установление геохимических особенностей гранитов, пегматитов и гидротермалитов [36]. В результате проведенных исследований установлены два контрастно отличающихся состава типа гидротермалитов. Один из них представлен кварцевыми прожилками, специализирован на РЗЭ и несет сульфатные и фосфатные минералы. Сопровождающими минералами их являются фенгит, каолинит. Эта минерализация фиксируется в пределах гранитоидного массива Шток. Второй тип включает парагенезисы фтор-бериллиевых руд, распространенных исключительно за пределами гранитного массива.

Различие специализации гидротермальных образований определяется составом исходных пород. Это различие фиксируется следующими минералогическими и геохимическими особенностями: 1) для гранитов и связанных с ними гидротермалитов характерны редкоземельная специализация, представленная фосфатами (монацит, ксенотим, флоренсит), бериллиевые руды сопровождаются силикатами, флюоритом, карбонатами, сульфидами; 2) первичные изотопные стронциевые отношения в гранитах варьируют в пределах 0.7058–0.7065, тогда как в бериллиевых рудах 0.7072–0.7083; 3) спектры РЗЭ имеют различные конфигурации нормированных кривых, в частности кварц-сульфатные прожилки в гранитах характеризуются наличием отрицательно европейской аномалии, аналогичной гранитам, тогда как F-Be руды аномалий Eu не имеют (рис. 7); 4) изотопные составы кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) в кварцах из гранитов и связанных с ними

гидротермалитах имеют значения 7.1–7.9 ‰, а в кварце из фторбериллиевой рудной ассоциации 4.8–5.8 ‰.

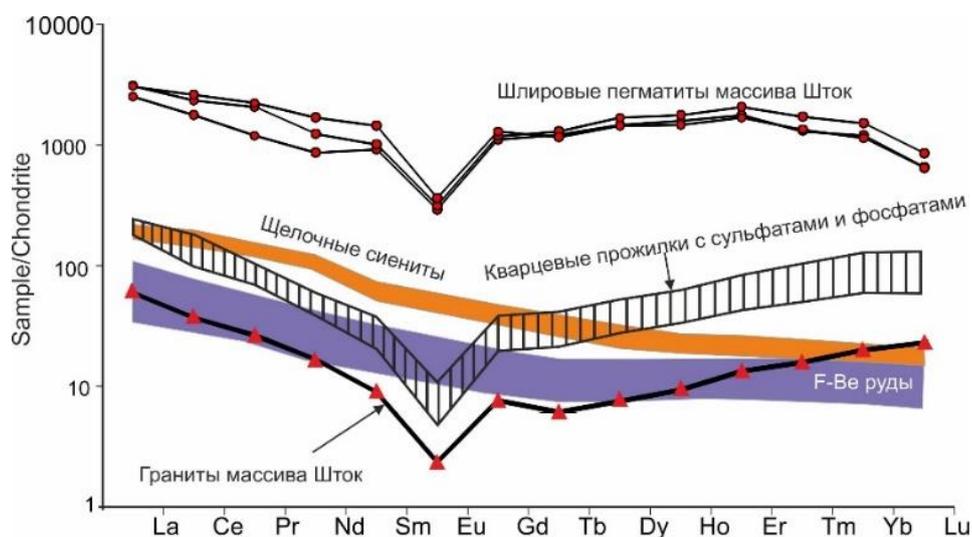


Рисунок 7 - Нормированные спектры распределения РЗЭ в породах Ермаковского месторождения

По апатиту из фтор-бериллиевых руд определен изотопный возраст (U-Pb, LA-ICP-MS). Проанализирован апатит двух участков первой рудной зоны, где он тесно ассоциирует с бериллиевыми и другими минералами рудного парагенезиса. Анализы показали значение  $225.1 \pm 6.2$  млн. лет, (определение по 24 зернам). Эти значения совпадают с возрастом щелочных сиенитов и щелочных гранитов массива «Шток» [37]. Отв. исп. к.г.-м.н. Рипп Г.С.

2. Продолжено изучение редкоземельных руд флюорит-бастнезитового типа (Улан-Удэнское, Портовое, Смолина). В 2020 г. исследования сосредоточились на термометрическом изучении включений в минералах. Были изучены первичные включения в фенокристаллах бастнезита и флюорита начальной стадии и завершающего этапа. Установлены расплавные, кристаллофлюидные и газовой-жидкие включения. В бастнезите изучены расплавные включения (рис. 8 а-с). Они содержат газовую (25–30 %) и твердую (70–75 %) фазы. Нередко газовый пузырь во включениях отсутствует. Минеральная фаза наблюдается в виде кристалликов неправильной формы, при прогреве включений часть из них растворяется при температуре 220–240° С. При нагреве включений в фенокристаллах бастнезита минерал-хозяин начинал темнеть при температурах  $\geq 450^\circ$  С, в связи с этим видимость становилась нулевой и эксперименты завершались. При этом объем нерастворившейся газовой фазы составлял 80–85 %. Для определения температуры образования этого минерала нами использован титаномагнетит (около 15 % титана), присутствующий в бастнезите. Известные результаты изучения титаномагнетитов [38] из быстро остывавших пород показали корреляцию температур с содержанием титана в них.

Расчет температуры образования такого магнетита в нашем случае показал  $630^{\circ}\text{C}$ , что, вероятно, соответствует реальной температуре образования бастнезита. При нагревании до  $580^{\circ}\text{C}$  первичных включений в фенокристаллах флюорита, образованных на ранней стадии кристаллизации происходила гомогенизация. Растворение твердых минеральных фаз отмечается при температурах  $\geq 250\text{--}350^{\circ}\text{C}$ . Включения в флюорите, слагающем матрицу карбонатита (рис. 8, g–i), нагревались до  $580^{\circ}\text{C}$ , при этом объем газового пузыря уменьшился всего на 10–20 %. Гомогенизация некоторых включений зафиксирована в диапазоне  $\geq 450\text{--}550^{\circ}\text{C}$ . Таким образом температуры образования бастнезита и флюорита превышают  $500^{\circ}\text{C}$  [39] и однозначно свидетельствуют о магматической природе бастнезит-флюоритовых пород. Кристаллизация пород начиналась в промежуточном очаге. Матрица, сложенная тонкозернистым флюоритом с мелкими табличками бастнезита, формировалась в близповерхностных условиях, что фиксируется закаленностью пород.

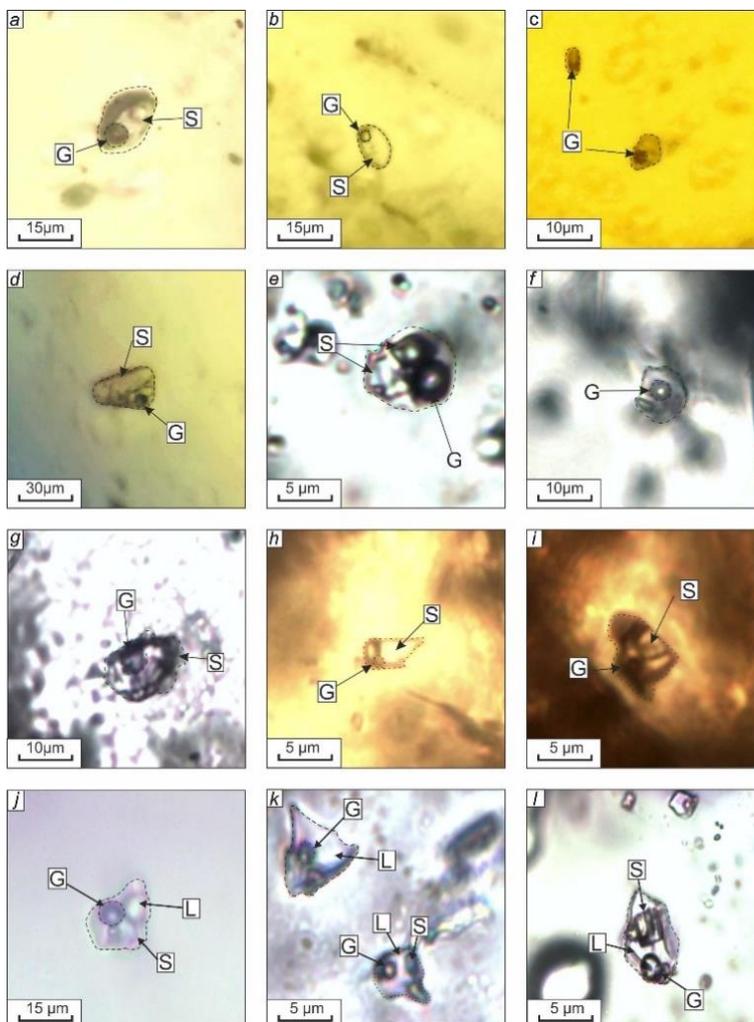


Рисунок 8 - Первичные включения бастнезита (а–с), флюорита (d–f) и флюоритов из тонкозернистой матрицы карбонатита (g–i) в фенокристаллах; газовой-жидкие включения (j–l) во флюоритах

Особенностью карбонатитов является «сухость» их расплава. Это определило крайне низкое проявление гидротермальных процессов изменения ксенолитов и ранее

образованных минералов. Свидетельством пониженного содержания флюида является отсутствие во флогопите воды в позиции А, заполненной только фтором. Карбонатиты характеризуются повышенным содержанием сульфатов, представленных тенардитом, глауберитом, плюмбоярозитом, коркитом, присутствующих в составе солевых расплавов, выделившихся на поздней стадии кристаллизации расплава. Отв. исп. к.г.-м.н. Рипп Г.С.

3. Продолжено изучение изотопно-геохимических характеристик наиболее крупных эпитермальных флюоритовых месторождений Забайкалья (Ласточкин и др., в печати). В результате исследований изотопного состава кислорода в кварце было установлено, что при формировании эпитермальных месторождений Забайкалья принимали участие метеорные воды. Главной особенностью кислорода кварца рудной стадии изученных месторождений является его существенная облегченность ( $-3.4$ – $+2.6$  ‰  $\delta^{18}\text{O}$ ) (рис. 9).

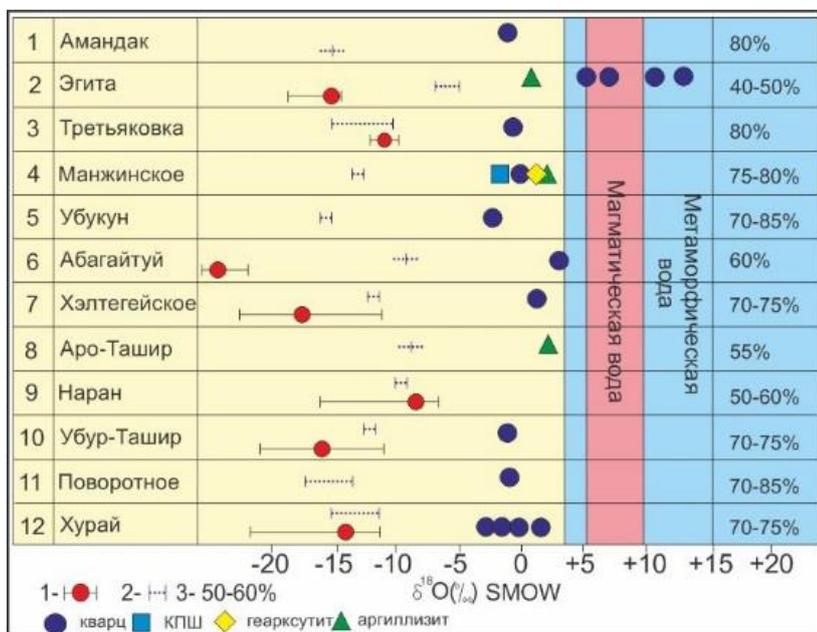


Рисунок 9 - Изотопный состав кислорода в минералах и воды из включений флюорита (1) и воды равновесной с кварцем и КФС (2) флюоритовых месторождений Забайкалья. 3-количество метеорной воды. Рассчитано для температур от 180 до 200° С. Дистанцированность значений Эгитинского месторождения обусловлена метасоматическими процессами.

Изотопный состав кислорода, рассчитанный во флюидной фазе равновесной с кварцем [40], характеризуется отрицательными значениями и фиксирует влияние метеорной воды при рудообразовании. Количество такой воды, варьирует в пределах 55–85 % (см. рис. 9). Для уточнения источников проведены изотопные исследования воды из газовой-жидких включений во флюоритах эпитермальных месторождений (Хурай, Наран, Хэлтегейское, Убур-Ташир, Третьяковка, Манжинское, Абагайтуй).

Изотопный состав кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$  ‰ SMOW от -8,38 до -25,42) и водорода ( $\delta\text{D}$  ‰ SMOW от -99 до -109) также подтверждают участие воды метеорного происхождения в образовании флюорита. Содержание редких и редкоземельных элементов во флюоритах широко варьирует даже в пределах одного месторождения, что, вероятно, отражает разномасштабную контаминацию рудоносных флюидов материалом вмещающих пород. Для флюоритов эпитермальных месторождений характерны широкие вариации La/Yb отношений и преобладание U над Th, что также указывает на интенсивное взаимодействие флюида с вмещающими образованиями. Отв. исп. к.г.-м.н. Ласточкин Е.И.

4. Проведены минералогические и термобарогеохимические исследования руд Инкурского вольфрамового месторождения (рис. 10) расположенного в пределах Джидинского рудного поля (Юго-Западное Забайкалье). Оно является наиболее крупным месторождением вольфрама в России и относится к штокверковому геолого-промышленному типу. Рудные минералы приурочены к многочисленным разноориентированным кварцевым прожилкам, образующим штокверк. В ходе исследований в рудах месторождения диагностировано более 20 минеральных видов. Гюбнерит, бóльшая часть которого, судя по идиоморфизму, отложилась в начальный период минералообразующего процесса, является главным рудным минералом Инкурского месторождения. В качестве второстепенных и редких присутствуют следующие минеральные виды: сульфиды (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, молибденит, ковеллин), сульфосоли (айкинит, тетраэдрит), теллуриды (гессит), оксиды (касситерит). На основе изучения взаимоотношений минералов в рудных прожилках, установлена общая последовательность минералообразования. Впервые в рудах установлен редкий минерал из класса галогенидов – гидрофторид алюминия, по составу близкий розенбергиту (см. рис. 10 г). Термобарогеохимические исследования ФВ из жильных минералов Инкурского месторождения, показали, что рудообразующие флюиды характеризовались гомогенным агрегатным состоянием, умеренной концентрацией солей, присутствием в газовой фазе углекислого газа и азота, хлоридным составом (хлориды Ca, Mg, K, Na), в то же время наличие фторсодержащих минералов свидетельствует о присутствии соединений F в составе флюида.

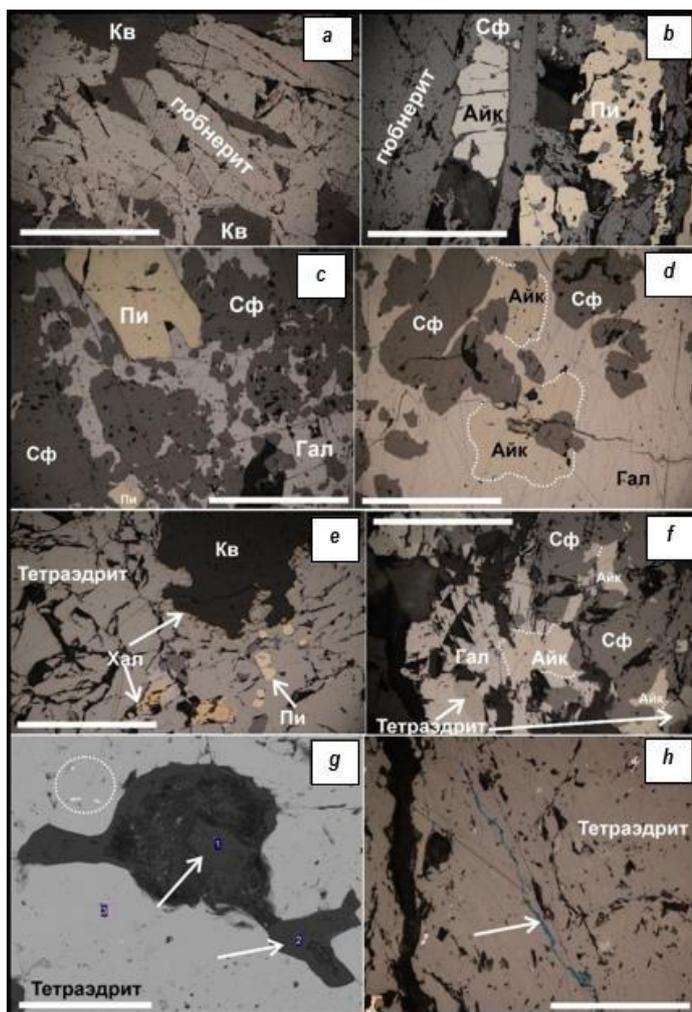


Рисунок 10 - Морфология и взаимоотношения рудных минералов в кварц-гюбнеритовых прожилках Инкурского месторождения (фотографии шлифов): а – скопления шестоватых кристаллов гюбнерита; b – сростания гюбнерита, сфалерита, айкинита и пирита; с – тесные сростания сфалерита и галенита; d – выделения айкинита (белый пунктир) в зерне галенита; e – агрегаты тетраэдрита в сростании с кварцем и мелкими зернами халькопирита и пирита; f – айкинит (белый пунктир) в зерне галенита на контакте со сфалеритом и тетраэдритом; g – зерно розенбергита(?) (стрелки) в тетраэдрите, в пунктире показаны микровключения гессита (фото в обратно-рассеянных электронах); h – прожилок ковеллина в тетраэдрите Кв – кварц; Пи – пирит; Гал – галенит; Хал – халькопирит; Сф – сфалерит; Айк – айкинит. Длина масштабной линейки – 0.5 мм, на фото g – 200 мкм, на фото h – 0.1 мм

Поскольку в рудах обнаружены единичные зерна кварца с сингенетичными существенно-водными и существенно-газовыми ФВ, предполагается, что в ходе рудоотложения были редкие периоды вскипания растворов (рис. 11). Кроме этого, большое количество газовых включений в гюбнерите говорит о том, что его отложение происходило при участии газовой фазы. Распределение температур гомогенизации ФВ свидетельствует о существовании двух стадий минералообразования – высокотемпературной ( $\geq 300^\circ \text{C}$ ), где отлагался ранний кварц, и относительно низкотемпературной ( $\geq 200\text{--}300^\circ \text{C}$ ), где происходило отложение позднего кварца, гюбнерита и флюорита (рис. 12).

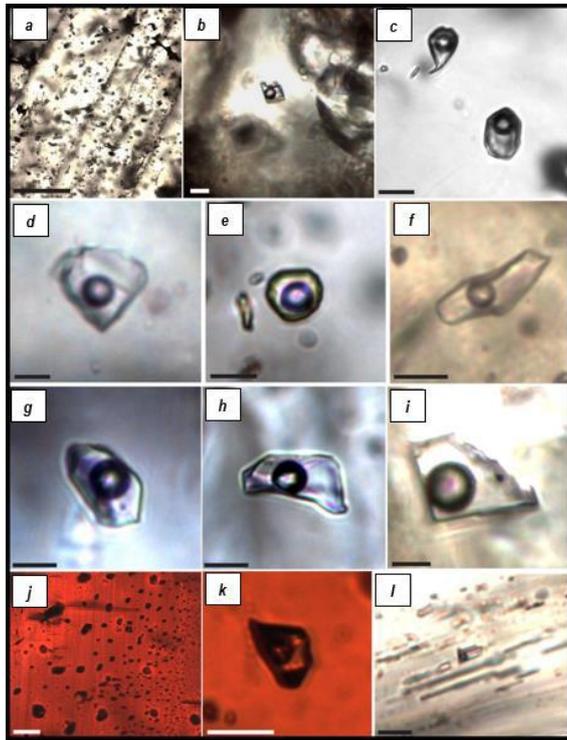


Рисунок 11 - Первичные гомогенные флюидные включения из кварц-гюбнеритовых прожилков Инкурского месторождения: а – зерно кварца с «щепочками» вторичных включений; b–f – первичные двухфазовые флюидные включения в зернах кварца; g–i – первичные включения с мелкими темными фазами во флюорите; j – группа газовых флюидных включений в зерне гюбнерита; k – первичное одиночное двухфазовое флюидное включение в гюбнерите; l – группа мелких флюидных включений в мусковите. Длина масштабной линейки на фото, а – 100 мкм, на фото b–l – 10 мкм

Следовательно, отложение минералов в рудных прожилках шло с понижением температуры. Таким образом, главными факторами осаждения гюбнерита из гидротермальных растворов являются изменение щелочности-кислотности, снижение температуры и солёности. Отв. исп. к.г.-м.н. Дамдинова Л.Б.

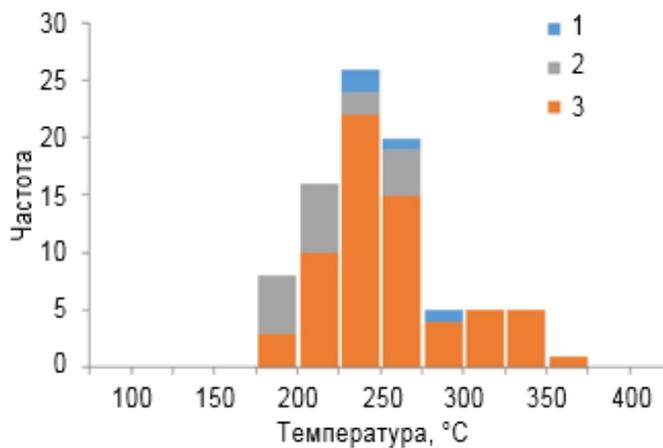


Рисунок 12 - Гистограмма распределения температур гомогенизации флюидных включений из рудных прожилков Инкурского месторождения: 1 – гюбнерит; 2 – флюорит; 3 – кварц

5. Проведены экспериментальные исследования зависимости растворимости бериллия от щелочности гранитоидного расплава (совместно с ИЭМ РАН, п.

Черноголовка). Растворимость фенакита в алюмосиликатных расплавах различного состава экспериментально изучалась при  $T=1000^{\circ}\text{C}$  и  $P=1$  кбар в сухих условиях и в присутствии 10 мас. %  $\text{H}_2\text{O}$ , на установке высокого газового давления. Продолжительность опытов составляла 5 суток. Исходным материалом служили предварительно наплавленные стекла гранитного состава с различной агпаитностью (1–1.5), а также природный фенакит Ермаковского F-Be месторождения. Составы образцов после экспериментов определялись методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа, содержания бериллия определяли методом LA-ICP-MS. Установлено, что концентрации бериллия в гранитоидном расплаве возрастают с ростом щелочности (рис. 13). Содержания BeO в силикатном стекле в интервале значений коэффициента агпаитности 1.01–1.52, в сухих условиях повышаются от 0.67 до 1.3 мас.%. В присутствии водного флюида, в интервале агпаитности 0.98–1.36, содержания BeO варьируют в пределах 1.58–2.28 мас.%.

Экспериментальными исследованиями показано, что бериллий характеризуется высокой растворимостью в гранитных расплавах, где содержания BeO могут превышать 2 мас. %, что соответствует его концентрациям в богатых месторождениях. Высокая растворимость бериллия в гранитоидном расплаве, позволяет сделать вывод о том, что крупные месторождения бериллия могут формироваться за счет сравнительно небольших по объему магматических тел.

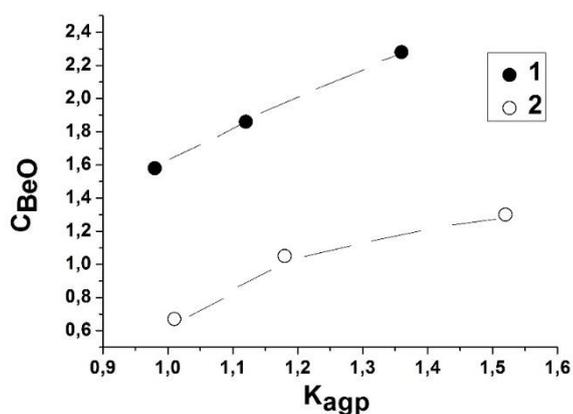


Рисунок 13 - Зависимость содержания BeO (мас. %) от агпаитности алюмосиликатного расплава  $(\text{Na}+\text{K})/\text{Al}$ . 1 – эксперименты, проведенные в присутствии водного флюида, 2 – эксперименты, проведенные в сухих условиях.

Полученные данные свидетельствуют в пользу модели концентрирования бериллия в остаточных щелочных водосодержащих расплавах, образующихся при явлениях гетерогенизации во флюидно-магматических системах, связанных с декомпрессией при эволюции гранитных расплавов. Отв. исп. к.г.-м.н. Дамдинова Л.Б.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проводившихся по проекту «Фанерозойский магматизм и рудообразующие системы Саяно-Байкальской складчатой области: источники расплавов, флюидов, рудного вещества; процессы генерации и взаимодействия магм» в 2017–2020 гг., получены новые данные о процессах взаимодействия мафических и кремнекислых магм, их источниках, изотопном возрасте гранитоидных комплексов Забайкалья, возрасте интрузий щелочных пород и проявлений базитового магматизма. Установлена синхронность основного этапа позднепалеозойского гранитоидного магматизма, результатом которого стало формирование одного из крупнейших в мире Ангаро-Витимского батолита, с одним из этапов щелочного и базитового магматизма Забайкалье. Эти данные, в сочетании с геологическими и геохронологическими свидетельствами смешения магм подтверждают существующие представления о ключевой роли мантийного магматизма, по-видимому плюмовой природы, в формировании гигантских ареалов гранитоидов во внутриконтинентальной геодинамической обстановке.

Установлено, что мафические расплавы формировались за счет обогащенного мантийного источника, метасоматизированного на предшествующем (байкальско-каледонском) этапе геологической эволюции региона. В отличие от мафических магм, щелочные расплавы формировались за счет умеренно-деплезированной мантии и были в разной степени контаминированы материалом вмещающих карбонатных пород.

Изучены процессы плавления гранитных ксенолитов в щелочно-базальтовом расплаве. Показано, что ультракислый высококалиевый состав продуктов плавления определяется, главным образом, присутствием щелочно-хлоридного и/или щелочно-углекислого флюида и слабо зависит от состава гранитоидов.

На основании детальных исследований впервые для Сибири доказана принадлежность апатит-магнетитовых руд месторождения Северный Гурвунур (Западное Забайкалье) к типу Кируна, установлен его изотопный возраст, параметры формирования и преобразования руд. Комплексом современных методов изотопного датирования – U-Pb (по циркону), Ar/Ar (по мусковиту) и Re-Os (по молибдениту), получены новые данные о возрасте Первомайского молибденового месторождения, определен солевой состав рудообразующих флюидов, LA-ICP-MS методом определены концентрации 25 породообразующих, редких и рассеянных элементов в палеогидротермах. Термобарогеохимическими исследованиями руд Ермаковского F-Be месторождения установлены РТХ условия кристаллизации руд. Открыт новый тип бастнезит-флюоритовых карбонатитов, доказана их магматическая природа, установлен возраст, изотопные характеристики, РТХ условия образования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Травин А.В., Владимиров А.Г., Цыганков А.А., Ханчук А.И., Эрнст Р., Мурзинцев Н.Г., Михеев Е.И., Хубанов В.Б. Термохронология Ангаро-Витимского гранитоидного батолита. Забайкалье, Россия//ДАН. - 2020. - Т.494. №1. - С. 53 - 59.
2. Андреев Г.В., Шаракшинов А.О., Литвиновский Б.А. Интрузии нефелиновых сиенитов Западного Забайкалья. Новосибирск. Наука, 1969. - 186 с.
3. Шаракшинов А.О. Щелочной магматизм Витимского плоскогорья. Новосибирск. Наука, 1984. - 183 с.
4. Шаракшинов А.О., Посохов В.Ф., Раднаев К.Н. Геологическое строение, возраст Комского массива и петрографические особенности слагающих его пород//Магматические и метаморфические породы Бурятии и связанная с ними рудная минерализация. Улан-Удэ. Изд-во БНЦ СО РАН. 2000. - С. 55 - 71.
5. Doroshkevich A.G., Ripp G.S., Izbrodin I.A., Savatenkov V.M. Alkaline magmatism of the Vitim province, West Transbaikalia, Russia: age, mineralogical, geochemical and isotope (O, C, D, Sr, Nd) data //Lithos. - 2012. - V.152. - PP. 157 - 172.
6. Дорошкевич А.Г., Рипп Г.С., Сергеев С.А. U-Pb (SHRIMP II) изотопное датирование цирконов из щелочных пород Витимской провинции, Западное Забайкалье //ДАН. - 2012. - Т.443. - №1. - С. 297 - 301.
7. Дорошкевич А.Г., Рипп Г.С., Избродин И.А., Сергеев С.А., Травин А.В. Геохронология Гулхенского массива Витимской щелочной провинции, Западное Забайкалье//ДАН. - 2014. - Т.457. - №6. - С. 687 - 689.
8. Дорошкевич А.Г. Петрология карбонатитовых и карбонатсодержащих щелочных комплексов Западного Забайкалья: Автореф. дис.... д.г.-м.н. Улан-Удэ, ГИН СО РАН, 2013, 40 с.
9. Котов А.Б., Владыкин Н.В., Ярмолюк В.В., Сальникова Е.Б. и др. Пермский возраст Бурпалинского щелочного массива (Северное Прибайкалье): геодинамические следствия//ДАН. - 2013. - Т.453. №3. - С. 295 - 299.
10. Избродин И.А., Дорошкевич А.Г., Рампилов М.О., Рипп Г.С., Ласточкин Е.А., Хубанов В.Б., Посохов В.Ф., Владыкин Н.В. Возраст, минералогическая и геохимическая характеристика пород Чининского щелочного массива (Западное Забайкалье)//Геология и геофизика. - 2017. - Т.58. №8. - С. 1135 - 1156.
11. Дорошкевич А.Г., Избродин И.А., Рампилов М.О., Рипп Г.С., Ласточкин Е.И., Хубанов В.Б. Пермо-триасовый этап щелочного магматизма Витимского плоскогорья, Западное Забайкалье//Геология и геофизика. - 2018. - Т.59. №9. - С. 1325 - 1344.

12. Будников С.В., Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Антипин В.С., Горегляд А.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ковач В.П., Козаков И.К., Яковлева С.З., Бережная Н.Г. Новые данные о возрасте Баргузинского гранитоидного комплекса Ангаро-Витимского батолита//ДАН. - 1995. - Т.344. №3. - С. 377 - 380.
13. Ярмолюк В.В., Будников С.В., Коваленко В.И., Антипин В.С., Горегляд А.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Козаков И.К., Ковач В.П., Яковлева С.З., Бережная Н.Г. Геохронология и геодинамическая позиция Ангаро-Витимского батолита//Петрология. - 1997. - Т. 5. №5. - С. 451 - 466.
14. Litvinovsky V.A., Tsygankov A.A., Jahn B.M., Katzir Y., Be'eri-Shlevin Y. Origin and evolution of overlapping calc-alkaline and alkaline magmas: The Late Palaeozoic post-collisional igneous province of Transbaikalia (Russia)//Lithos. - 2011. - V.125. - PP. 845 - 874.
15. Цыганков А.А. Позднепалеозойские гранитоиды Западного Забайкалья: последовательность формирования, источники магм, геодинамика//Геология и геофизика. - 2014. - Т.55. №2. - С. 197 - 227.
16. Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д. Геодинамика позднепалеозойского батолитообразования в Западном Забайкалье//Петрология. - 2017. - №4. - С. 395 - 418.
17. Jahn B.M., Litvinovsky V.A., Zanvilevich A.N., Reichow M. Peralkaline granitoid magmatism in the Mongolian-Transbaikalian Belt: evolution, petrogenesis and tectonic significance//Lithos. - 2009. - V.113. - PP. 521 -539.
18. Цыганков А.А., Литвиновский Б.А., Джань Б.М., Рейков М., Лю Д.И., Ларионов А.Н., Пресняков С.Л., Лепехина Е.Н., Сергеев С.А. Последовательность магматических событий на позднепалеозойском этапе магматизма Забайкалья (результаты U-Pb изотопного датирования)//Геология и геофизика. - 2010. - Т.51. №9. С. 1249 - 1276.
19. Цыганков А.А., Хубанов В.Б., Травин А.В., Лепехина Е.Н., Бурмакина Г.Н., Анциферова Т.Н., Удоратина О.В. Позднепалеозойские габброиды Западного Забайкалья: U-Pb и Ar-Ar изотопный возраст, состав, петрогенезис//Геология и геофизика. - 2016. - Т. 57. №5. - С. 1005 - 1027.
20. Бурмакина Г.Н., Цыганков А.А., Хубанов В.Б. Петрогенезис комбинированных даек в гранитоидах Западного Забайкалья//Геология и Геофизика. - 2018. - Т.59. №1. С. 23 - 48.
21. Tera F., Wasserburg G.J. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks, Earth Planet//Earth and Planetary Science Letters. - 1972. - V.14. PP. 281 - 304.

22. Конев А.А. Нефелиновые породы Саяно-Байкальской горной области. Наука, Новосибирск. - 1982. - 200 с.
23. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Кузьмин М.И. Северо-Азиатский суперплюм в фанерозое: магматизм и глубинная геодинамика//Геотектоника. - 2000. - № 5. С. 3 - 29.
24. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В. Северо-Монгольская полихронная рифтовая система (этапы формирования, магматизм, источники расплавов, геодинамика) //Литосфера. - 2004. - №3. - С. 17 - 32.
25. Козловский А.М., Ярмолюк В.В., Саватенков В.М., Ковач В.П. Источники базальтоидного магматизма в условиях рифтогенеза на активной континентальной окраине (на примере бимодальной ассоциации хребтов Ноён и Тост позднепалеозойской Гоби-Тяньшаньской рифтовой зоны, Южная Монголия)//Петрология. - 2006. - Т.14. - №4. - С. 358 - 383.
26. Рыцк С.Д., Великославинский С.А., Смыслов А.Б., Котов В.А., Глебовицкий Е.С., Богомолов Е.В., Толмачева В.П., Ковач В.П. Геохимические особенности и источники позднепалеозойских высококалийных и ультракалийных сиенитов Сыннырского и Тасского массивов (Восточная Сибирь)//ДАН. - 2017. - Т.476. - №1. - С. 1043 - 1047.
27. Jahn В.М., Litvinovsky В.А., Zanjvilevich А.Н., Reichow М. Peralkaline granitoid magmatism in the Mongolian-Transbaikalian Belt: evolution, petrogenesis and tectonic significance//Lithos. - 2009. - V.113. - PP. 521 - 539.
28. Козаков И.К., Козловский А.М., Ярмолюк В.В. и др. Кристаллические комплексы Тарбагатайского блока раннекаледонского супертеррейна Центральной Азии//Петрология. - 2011. - Т. 19. - № 4. - С. 445 - 464.
29. Ярмолюк В.В., Козловский А.М., Кузьмин М.И. Зональные магматические ареалы и анорогенное батолитообразование в Центрально-Азиатском складчатом поясе: на примере позднепалеозойской Хангайской магматической области//Геология и геофизика. - 2016. - Т. 57. - № 3. - С. 457 - 475.
30. Гордиенко И.В., Ковач В.П., Елбаев А.Л. и др. Возраст и условия формирования коллизионных гранитоидов Джидинской зоны Центрально-Азиатского складчатого пояса, Юго-Западное Забайкалье//Петрология. - 2012. - Т. 20. - № 1. - С. 45 - 65.
31. Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Федоровский В.С. и др. Фрагмент раннепалеозойской (~500 млн лет) островной дуги в структуре Ольхонского террейна (Центрально-Азиатский складчатый пояс)//Доклады АН. - 2014. - Т. 457. - № 4. - С. 429 - 433.

32. Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д. Геодинамика позднепалеозойского батолитообразования в Западном Забайкалье//Петрология. - 2017. - №4. - С. 395 - 418.
33. Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М. и др. Мезозойские гранитоиды в структуре Безымянного комплекса метаморфического ядра (Западное Забайкалье)//Геология и геофизика. - 2016. - Т. 57. - № 11. - С. 2015 - 2033.
34. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В., Иванов В.Г., Никифоров А.В. Позднемезозойский магматизм Джидинского сектора Западно-Забайкальской рифтовой области: этапы формирования, ассоциации, источники//Петрология. - 2002. - Т. 10. - № 5. - С. 510 - 531.
35. Рипп Г.С., Избродин И.А., Ласточкин Е.И. и др. Ошурковский базитовый pluton: хронология, изотопно-геохимические и минералогические особенности, условия образования. Новосибирск. - Изд-во Гео. - 2013. - 163 с.
36. Ripp G.S, Izbrodin I.A., Rampilov M.O., Tomilenko A.A, Lastochkin E.A., Posokhov V.F. 2020. Relationship of F-Be mineralization to granites and syenites at the Ermakovka deposit (Western Transbaikalia)//Geologica Acta. - 2020. - V.18. - PP. 1 - 13.
37. Лыхин Д.А., Коваленко В.И., Ярмолюк В.В. и др. Рудоносный магматизм Ермаковского бериллиевого месторождения в Западном Забайкалье: возраст, источники магм и соотношение с оруденением//Геология рудных месторождений. - 2001. - Т.44. - №1. - С. 52 - 70.
38. Jackson M., Bowles J.A. Curie temperatures of titanomagnetite in ignimbrites: Effects of emplacement temperatures, cooling rates, exsolution, and cation ordering//Geochemistry, Geophysics, Geosystems. - 2014. - V.15. - PP. 4343 - 4368.
39. Рипп Г.С., Ласточкин Е.И., Дамдинова Л.Б., Избродин И.А., Рампилов М.О., Савченко А.А., Посохов В.Ф. Флюорит-бастнезитовые породы Улан-Удэнского редкоземельного проявления – новый тип карбонатитов (Россия, Западное Забайкалье)//Науки о Земле и недропользование - 2020. - Т.43. - №2. - С. 145 - 159.
40. Sharp Z.D., Gibbons J.A., Maltsev O., Atudorei V., Pack A., Sengupta S., Shock E.L., Knauth L.P. A calibration of the triple oxygen isotope fractionation in the SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system and applications to natural samples//Geochimica et Cosmochimica Acta. - 2016. - V.186. - PP. 105 - 119.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Количество научных публикаций в журналах, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования (Web of Science, Scopus, MathSciNet, Российский индекс научного цитирования, Google Scholar, European Reference Index for the Humanities и др.) по проекту за 2020 год:

Arzhannikova A.V., Demonterova E.I., Arzhannikov S.G., Mikheeva E.A., Ivanov A.V., Jolivet M., **Khubanov V.B.**, Pavlova L.A. Late Mesozoic topographic evolution of Western Transbaikalia: evidence for rapid geodynamic changes from the Mongol–Okhotsk collision to widespread rifting // *Geoscience Frontiers*. - 2020. - V.11. - PP.1695–1709. **DOI:** 10.1016/j.gsf.2019.12.012.

**Doroshkevich A.G.**, Prokopyev I.R., Ponomarchuk A.V., Savatenkov V.M., Kravchenko A.A., Ivanov A.I., Wohlgemuth-Ueberwasse C. Petrology and geochemistry of the late Mesozoic Dzheltula alkaline igneous complex, Aldan-Stanovoy Shield, Russia: constraints on derivation from the ancient enriched mantle source // *International Journal of Earth Sciences*. - 2020. - V.109. - PP. 2407-2423. **DOI:** 10.1007/s00531-020-01909-6

**Izbrodin I.A.**, **Doroshkevich A.G.**, Elbaev A.L., **Rampilov M.O.**, **Ripp G.S.** Late Paleozoic alkaline magmatism in Western Transbaikalia, Russia: Implications for magma sources and tectonic settings // *Geoscience Frontiers*. - 2020. - V.11. - №4. - PP. 1289-1303. **DOI:** 10.1016/j.gsf.2019.12.009

Kotelnikov A.R., Damdinov B.B., **Damdinova L.B.**, Bryanskiy N.V., Akhmedzhanova G.M., Suk N.I. Synthetic fluid inclusions in quartz: a check for the adequacy of capture of ore elements // *Experiment in GeoSciences*. - 2020. - V.26. - №1. - PP. 95-96.

Kotelnikov A.R., Suk N.I. Damdinov B.B., **Damdinova L.B.**, Khubanov V.B. Experimental studies of phenakite solubility in silicate melts // *Experiment in GeoSciences* - 2020. - V.26. - №1. - PP. 158-159.

Mikheeva E.A., Demonterova E.I., Khubanov V.B., Ivanov A.V., Arzhannikova A.V., Arzhannikov S.G., Blinov A.V. Age of the coal accumulation in the Irkutsk basin based on accessory zircon dating in the Azeisk deposit tonstein (LA-ICP-MS) // *Vestnik of Saint Petersburg University Earth Sciences*. - 2020. - V.65. №3. **DOI:**10.21638/spbu07.2020.301.

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. **DOI:** 10.1016/j.lithos.2020.105675

Nikulova, N. Yu.; Filippov, V. N.; Khubanov, V. B. Provenance and U-Pb Ages of Detrital Zircons from the Sandstones of the Middle Devonian Asyvvozh Formation, Dzhezhimparma Highland, Southern Timan // *Stratigraphy and Geological correlation*. 2020. V. 28 (6). PP. 653-664

Prokopyev I.R., Kozlov E., Fomina E., **Doroshkevich A.G.**, Dyomkin M. Mineralogy and fluid regime of formation of the REE-late-stage hydrothermal mineralization of petyayan-vara carbonatites Vuoriyarvi, Kola region, NW Russia // *Minerals*. - 2020. - V.10. **DOI:** 10.3390/min10050405

Prokopyev I.R., Starikova A.E., **Doroshkevich A.G.**, Nugumanova Y., Potapov V. Petrogenesis of ultramafic lamprophyres from the Terina complex (Chadobets upland, Russia): Mineralogy and melt inclusion composition // *Minerals*. - 2020. - V.10. **DOI:** 10.3390/min10050419

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. - 2020. **DOI: 10.1016/j.chemer.2020.125666**

**Ripp G.S., Izbrodin I.A., Rampilov M.O.,** Tomilenko A.A, **Lastochkin E.A.,** Posokhov V.F. Relationship of F-Be mineralization to granites and syenites at the Ermakovka deposit (Western Transbaikalia) //Geologica Acta. - 2020. - V.18. PP.1-13. **DOI: 10.1344/GeologicaActa2020.18.2**

Sharygin V.V, **Doroshkevich A.G.,** Seryotkin Yu.V., Karmanov N.S., Belogub E.V., Moroz T.N., Nigmatulina E.N., Yelisseyev A.P., Vedenyapin V.N., Kupriyanov I.N. Rippite,  $K_2(Nb,Ti)_2(Si_4O_{12})O(O,F)$ , a New K-Nb-Cyclosilicate from Chuktukon Carbonatite Massif, Chadobets Upland, Krasnoyarsk Territory, Russia //Minerals. - 2020. V.10. (1102). **DOI: 10.3390/min10121102**

Sharygin V.V., **Ripp G.S.,** Yakovlev G.A., Seryotkin Y.V., Karmanov N.S., **Izbrodin I.A.,** Grokhovsky V.I., Khromova, E.A. Uakitite, VN, a New Mononitride Mineral from Uakit Iron Meteorite (ПAB) //Minerals. - 2020. - V.10. - PP. 150-157. **DOI: 10.3390/min10020150**

**Zhalsaraev B.Z.** X-ray scattering and polarization in wavelength dispersive spectrometers //X-Ray Spectrometry. - 2020. V.49. PP.480-492. **DOI:10.1002/xrs.3142.**

Абрамов Б.Н., Калинин Ю.А., Боровиков А.А., Бадмацыренова Р.А., **Посохов В.Ф.** Александровское золоторудное месторождение (Восточное Забайкалье): источники вещества пород и руд Абрамов Б.Н., Калинин Ю.А., Боровиков А.А., Бадмацыренова Р.А., Посохов В.Ф. //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2020. - Т.331. - № 4. - С.83-95. DOI 10.18799/24131830/2020/4/2596.

**Аюржанаева Д.Ц.,** Федоров А.М., Мазукабзов А.М., Непомнящих А.И., Очирова Э.А. Механизмы формирования химически чистых кварцитов Бурал-Сардыкского месторождения //Геология и Геофизика. - 2020. - №10. - С.1316-1330. **DOI: 10.15372/GiG2020106**

Васюкова Е.А, Пономарчук А.В., **Дорошкевич А.Г.** Петролого-геохимическая характеристика и возраст пород Ыллымахского массива (Алданский щит, Южная Якутия) //Геология и геофизика. - 2020. - Т.61. - №4. - С.489-507. **DOI:10.15372/RGG2019147**

Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Мотова З.Л., **Хубанов В.Б.** U-Pb-возраст детритового циркона из палеозойских осадочных толщ юго-запада Сибирской Платформы: свидетельство палеопротерозойского и раннепалеозойского орогенных событий //Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. - 2020. - Т.493. - № 2. - С.18-23. **DOI: 10.1134/S1028334X20080061.**

Дамдинов Б.Б., **Дамдинова Л.Б.,** Хубанов В.Б., Юдин Д.С., Травин А.В., Буянтуев М.Д. Золото-сурьмяное рудопоявление Туманное (Восточный Саян, Россия): минералогия, флюидные включения, изотопы S и O, U-Pb и  $^{40}Ar/^{39}Ar$  //Геология рудных месторождений. - 2020. - Т.62. - №3. - С.247-271. **DOI: 10.31857/S001677702003003X**

Дамдинов Б.Б., Жмодик С.М., Хубанов В.Б., Миронов А.Г., Травин А.В., **Дамдинова Л.Б.** Возраст и обстановки формирования неопротерозойских золотоносных гранитоидов Восточного Саяна //Геотектоника. - 2020. - №3. - С.82-93. **DOI: 10.31857/S0016853X20020034**

**Дамдинова Л.Б.,** Дамдинов Б.Б. Минеральный состав и условия формирования руд Инкурского вольфрамового месторождения (Джидинское рудное поле, Юго-Западное Забайкалье) // Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Науки о Земле и Недропользование. - 2020. - Т.43. - №3. - С.290-306. **DOI:10.21285/2686-9993-2020-43-3-290-306**

Докукина К.А., Минц М.В., Конилов А.Н., Шешуков В.С., **Хубанов В.Б.,** Баянова Т.Б., Ван К.В., Голованова Т.И. Палеопротерозойский гранулитовый метаморфизм с возрастом ~ 2.45 млрд. лет в породах Беломорской эклогитовой провинции Фенноскандинавского щита, Россия //Науки о Земле. - 2020. - № 2. - С. 4-23. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43851919>. РИНЦ.

Елбаев А.Л., Гордиенко И.В., **Хубанов В.Б.**, Зарубина О.В. Петрогеохимические особенности и U-Pb возраст морион-гранитов центрального Забайкалья: типизация пород и вопросы их генезиса //Литосфера. – 2020. - Т.20. - № 5. - С.690–705. **DOI:** 10.24930/1681-9004-2020-20-5-690-705.

Максаров Р.А., **Дорошкевич А.Г.**, Прокопьев И.Р., Редин Ю.О., Потапов В.В. V-Nb-W-содержащий рутил золоторудного месторождения Каральвеем как потенциальный индикатор рудоносности //Геосферные исследования. - 2020. - №3. - С.50-59. **DOI:** 10.17223/25421379/16/4

Москвитина М. Л., Дамдинов Б. Б., **Дамдинова Л.Б.**, Извекова А. Д. Минеральные ассоциации кварц-сульфидных руд Зун-Холбинского золоторудного месторождения, Восточный Саян //Руды и металлы. - 2020. - №2. - С.33-46. **DOI:** 10.24411/0869-5997-2020-10012

Никулова Н. Ю., Филиппов В.Н., **Хубанов В.Б.** Источники сноса и U-Pb возраст детритовых цирконов из песчаников Асывовожской свиты среднего девона, возвышенность Джежимпарма, Южный Тиман //Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2020. - Т.28. - №6. С.92-104. **DOI:**10.1134/S0869593820060076.

**Рипп Г.С., Ласточкин Е.И., Дамдинова Л.Б., Избродин И.А., Рампилов М.О., Савченко А.О.,** Посохов В.Ф. Флюорит-бастнезитовые породы Улан-Удэнского редкоземельного проявления - новый тип карбонатитов (Россия, Западное Забайкалье) //Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Науки о Земле и Недропользование. - 2020. - Т.43. - №2. - С.145-159. **DOI:** 10.21285/2686-9993-2020-43-2-145-159

Савина Е.А., Перетяжко И.С., **Хромова Е.А.**, Глушкова В.Е. Плавленые породы (клинкеры и паралавы) пирометаморфического комплекса Хамарин-Хкрал-Хид, Восточная Монголия: Минералогия, геохимия, процессы образования //Петрология. -2020. -Т.28. - № 5. - С.482-510. **DOI:** 10.31857/S0869590320050052.

Травин А.В., Владимиров А.Г., **Цыганков А.А.**, Ханчук А.И., Эрнст Р., Мурзинцев Н.Г., Михеев Е.И., **Хубанов В.Б.** Термохронология Ангаро-Витимского гранитоидного батолита. Забайкалье, Россия //ДАН. - 2020. - Т.494. - №1. С.53-59. **DOI:** 10.31857/S2686739720090194

**Хромова Е.А., Дорошкевич А.Г., Избродин И.А.** Геохимическая и Sr-Nd-Pb изотопная характеристики щелочных пород и карбонатитов Белозиминского массива (Восточный Саян) //Геосферные исследования. - 2020. - №1. - С.33-55. **DOI:** 10.17223/25421379/14/3