

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

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

Инв. № 2

УТВЕРЖДЕНО  
РЕШЕНИЕМ УЧЕНОГО СОВЕТА  
Протокол № 11 от «6» декабря 2018 г.  
Председатель Ученого совета,  
директор института, д.г.-м.н.  
А.А. Цыганков



ОТЧЕТ за 2018 г.  
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

(промежуточный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО  
0340-2018-0008

**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

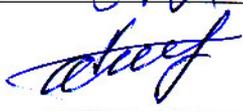
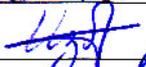
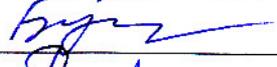
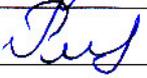
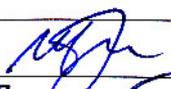
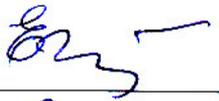
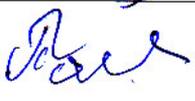
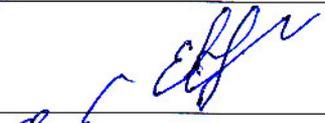
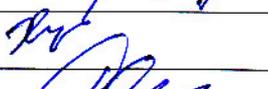
**Программа IX.129.1.** Процессы мантийно-корового взаимодействия и изотопно-геохимические индикаторы рециклирования элементов

Научный руководитель  
д.г.-м.н.,

А.А. Цыганков

Улан-Удэ, 2018

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы д.г.-м.н., дир.		А.А. Цыганков (введение, раздел 1 (Петрология), заключение, общая редакция)
Исполнители темы:		
д.г.-м.н., в.н.с (0.1)		Дорошкевич А.Г. (раздел 2)
к.г.-м.н., зав. лаб.		С.В. Канакин (аналитические работы)
к.г.-м.н., в.н.с.		Г.С. Рипп (раздел 2)
к.г.-м.н., уч. сек.		Т.Н. Анциферова (редактирование)
к.г.-м.н., с.н.с.		Т.Т. Врублевская (раздел 1)
к.г.-м.н., зав. лаб.		И.А. Избродин (раздел 2)
к.г.-м.н., с.н.с.		В.Б. Хубанов (аналитические работы)
к.г.-м.н., н.с.		Л.Б. Дамдинова (раздел 2)
к.г.-м.н., н.с.		Е.И. Ласточкин (раздел 2)
к.г.-м.н., н.с.		М.О. Рампилов (раздел 2)
к.г.-м.н., н.с.		Г.Н. Бурмакина (раздел 1)
к.г.-м.н., м.н.с.		М.В. Рампилова
к.г.-м.н., м.н.с.		Д.Ц. Аюржанаева
м.н.с.		М.Д. Буянтуев
м.н.с.		А.А. Батуева
с.н.с.		В.Ф. Посохов (аналитические работы)
инж. 1 категории		Н.Н. Егорова (подготовка иллюстраций)
вед. инж.		В.Л. Посохова (графическая обработка изотопных данных)
инж. 2 категории		Е.В. Ходырева (определение состава минералов)
м.н.с.		А.М. Хубанова
вед. инж.		В.А. Тюгашев

инж. 1 категории		Е.А. Хромова (эл. микроскопические исследования)
вед. инж.		Е.Д. Утина (пробоподготовка)
инж. 2 категории		Н.А. Арэфьева (пробоподготовка)
аспирант, (инж. 0.5)		Савченко А.А.

## Содержание

	Стр.
Реферат .....	1
Нормативные ссылки .....	2
Определения, обозначения и сокращения .....	2
Введение .....	3
Основные результаты.....	4
<b><i>Петрологический блок</i></b>	
<i>Геодинамические модели фанерозойского гранитоидного и щелочного магматизма СБСО [Отв. исп. д.г.-м.н. Цыганков А.А.] .....</i>	4
<b><i>Рудный блок</i></b>	
<i>Рудообразующий потенциал гранитоидных и щелочных комплексов СБСО и условия его реализации [Отв. исп. к.г.-м.н. Рипп Г.С.].....</i>	16
Заключение .....	23
Список использованной литературы .....	24
Приложение А .....	28

## Реферат

Отчет 29 с., 17 рис., 1 прил.

**ФАНЕРОЗОЙСКИЙ МАГМАТИЗМ И РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ САЯНО-БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ: ИСТОЧНИКИ РАСПЛАВОВ, ФЛЮИДОВ, РУДНОГО ВЕЩЕСТВА; ПРОЦЕССЫ ГЕНЕРАЦИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАГМ**

Объектами исследований являются позднепалеозойские гранитоиды северной части Ангаро-Витимского батолита, Сыннырский щелочной массив, комбинированные дайки, фтор-бериллиевое (Ауникское), редкоземельное (проявление Портовое, Улан-Удэ) и разноформационные флюоритовые месторождения Западного Забайкалья.

Цель работы: установление изотопного возраста, источников магм и рудообразующих флюидов разнотипных (гранитоидных, базитовых, щелочных) проявлений магматизма Западного Забайкалья и ассоциирующего редкоземельного и редкометалльного оруденения. В процессе работы проводились детальные петрографические, минералого-геохимические, изотопно-геохимические, изотопно-геохронологические и термобарогеохимические экспериментальные исследования.

Выделено две разновидности комбинированных даек, строение которых определяется пропорциями калиевого и базитового компонентов и реологическим состоянием вмещающей среды. Последняя может быть представлена как твердым субстратом с открытыми трещинами, так и в разной степени раскристаллизованным расплавом. Установлено, что массовое формирование комбинированных даек в Западном Забайкалье 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.

Установлен U-Pb изотопный возраст цирконов (LA-ICP-MS) и петро-геохимически охарактеризованы гранитоиды северной части Ангаро-Витимского батолита (АВБ). Изученные гранитоиды принадлежат к высоко-калиевой известково-щелочной серии и формировались в период с 321 до 281 млн. лет. В цирконах зафиксированы унаследованные ядра широкого возрастного диапазона, что указывает на смешанный разновозрастный источник магм.

Детально изучено проявление бастнезитсодержащих пород в районе г. Улан-Удэ, характеризующихся высокими (до 20 мас. %) содержаниями редкоземельных элементов. Выявленный тип пород, может быть идентифицирован как особый тип карбонатитов, что резко повышает перспективы региона и позволяет рекомендовать эту площадь для

поисковых работ на редкоземельное оруденение. На основе исследований изотопного состава кислорода разноформационных флюоритовых месторождений Забайкалья установлена доминирующая роль метеорных вод (от 50 до 80 %) в их формировании. 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.

**Ключевые слова:** научный отчет, гранитоидный и щелочной магматизм, комбинированные дайки, изотопная геохимия, U-Pb изотопный возраст, источники магм и флюидов, редкометалльные и флюоритовые месторождения, LA-ICP-MS, флюидные включения, рудообразование, Западное Забайкалье.

#### **Нормативные ссылки**

Настоящий отчет о НИР составлен с использованием Государственного стандарта ГОСТ 7.32-2001.

#### **Определения, обозначения и сокращения**

АВБ – Ангаро-Витимский батолит

СБСО – Саяно-Байкальская складчатая область

ФВ – флюидные включения

A/CNK –  $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ , мол. – индекс насыщения алюминием

Amph - амфибол

An - анортит

Bt- биотит

CD<sub>1</sub> комбинированные дайки первой разновидности

CD<sub>1</sub> комбинированные дайки первой разновидности

Kfs – калиевый полевой шпат

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

LA-SF-ICP-MS - магнитно-секторная масс-спектрометрия с лазерным пробоотбором

MSWD – средний квадрат отклонений

Pl - плагиоклаз

REE – редкоземельные элементы

PIС – область мантийных составов

SMOW – стандартная среднеокеаническая вода

## Введение

Исследованиями последних лет установлен позднепалеозойский возраст гранитоидов Ангаро-Витимского батолита, показано, что различные геохимические типы гранитоидов формировались за счет разновозрастных коровых и мантийных источников. Были установлены как минимум два этапа щелочного магматизма Витимской щелочной провинции, причем позднепалеозойский этап синхронен с формированием АББ. Вместе с тем, изотопно-геохронологическими исследованиями были охвачены центральные и южные районы Западного Забайкалья и эти данные экстраполировались на весь ареал гранитоидного магматизма, включая его северную часть. С целью проверки правомерности такой экстраполяции в отчетном году изотопно-геохронологически (U-Pb, LA-ICP-MS) были изучены основные разновидности гранитоидов, слагающих осевую часть Северо-Муйского хребта, а также гранитоиды конкудеро-мамаканского комплекса, развитые на северной периферии АББ (бассейн р. Мамакан). Кроме того, продолжено изучение щелочных пород Забайкалья, для чего проведено изотопно-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение крупнейшего в регионе Сыннырского щелочного массива.

На примере комбинированных даек, образующих протяженный пояс в центральной части Западного Забайкалья, продолжены исследования, направленные на изучение процессов взаимодействия мантийных базитовых и салических магм.

Рудное направление исследований по проекту за отчетный период включает детальное минералогическое и изотопно-геохимическое изучение редкоземельной минерализации (на примере рудопроявления Портовое, г. Улан-Удэ), а также впервые выполненное систематическое изучение изотопного состава кислорода разноформационных проявлений флюоритовой минерализации Забайкалья. В результате этих исследований удалось установить преобладание метеорных вод в составе рудообразующих флюидов.

Термобарогеохимическими и изотопно-геохимическими исследованиями фтор-бериллиевых руд Ауникского месторождения показана ключевая роль активности фтора в рудообразующем процессе.

Таким образом, в результате исследований 2018 года получены новые данные по позднепалеозойскому гранитоидному, базитовому и щелочному магматизму Забайкалья, связанному с этим магматизмом редкометалльному оруденению, а также по пространственно ассоциирующей редкоземельной минерализации, что полностью отвечает целям и задачам настоящего проекта.

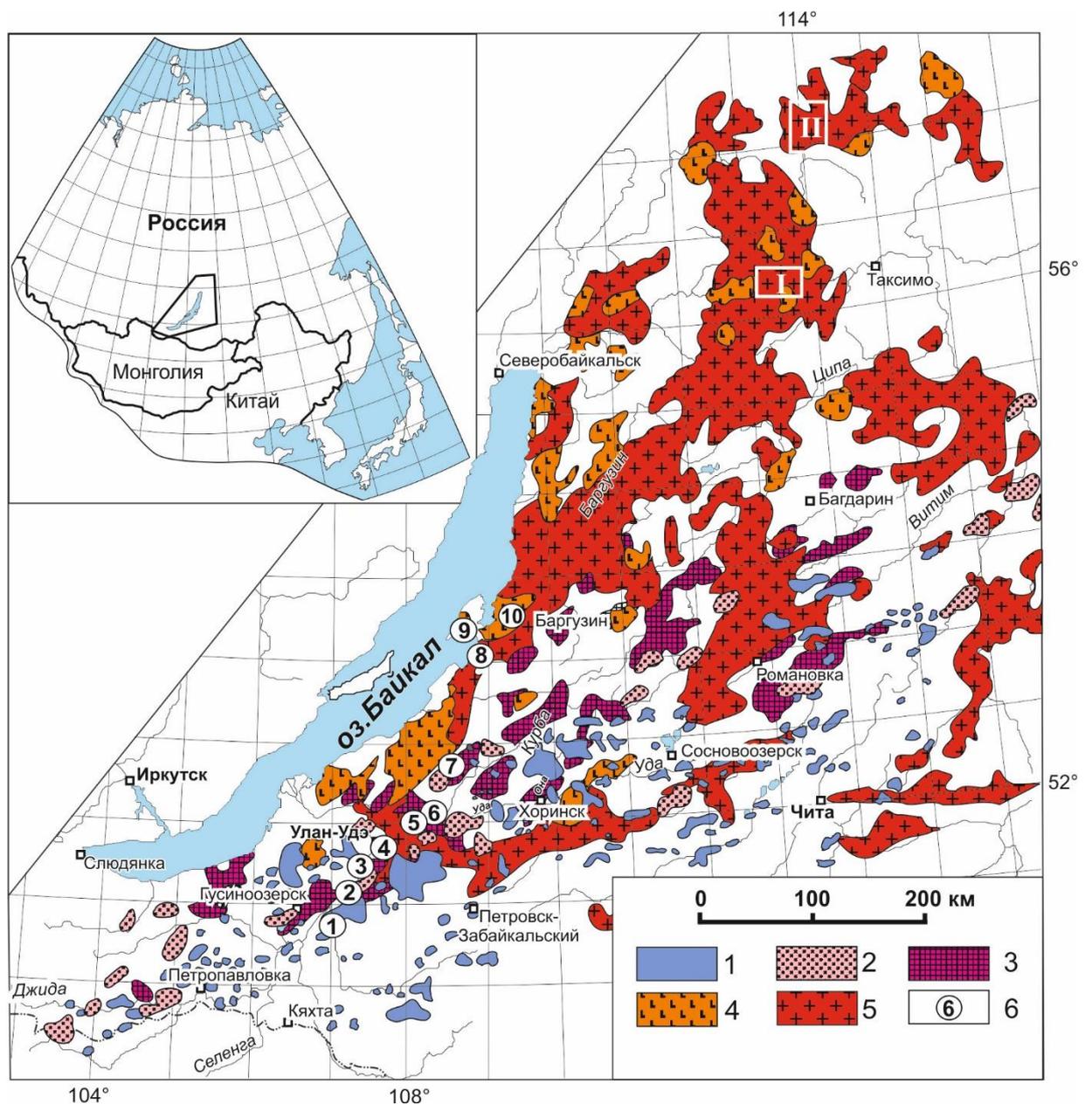
## Основные результаты

*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 Западном Забайкалье выходы комбинированных даек группируются в полосу северо-восточного простирания, протягивающуюся от нижнего течения р. Хилок (правый приток р. Селенги) до п-ова Святой Нос (оз. Байкал) и правобережья нижнего течения р. Баргузин (рис. 1). Протяженность этой полосы составляет около 350 км, в ее пределах обнаружено порядка 10 проявлений комбинированных даек (Бурмакина и др., 2018). В результате проведенных исследований выделено две разновидности даек (рис. 2), различающихся морфологией и внутренним строением, зависящим от: а) пропорций калиевого и базитового компонентов; б) реологического состояния вмещающей среды. Последняя может быть представлена как твердым субстратом с открытыми трещинами, так и расплавом различных стадий кристаллизации.

Первая разновидность (**CD<sub>1</sub>**) - это субгоризонтальные силло- или дайкоподобные тела с варьирующим соотношением калиевого и базитового составляющих (рис. 2а), иногда переходящие в синплутонические базитовые интрузии. Содержание базитового материала по простиранию даек варьирует от долей процента до 30 – 40 % общего объема. Этот материал представлен неправильными, часто пламевидными (свидетельство пластического течения) или изометричными базитовыми нодулями, размером от 1 – 2 до 15 – 20 см по длинной оси (рис. 2а). Зоны закалки в одних случаях хорошо различимы (рис. 2 в) в других отсутствуют. Характерны редкие порфиробласты розового калиевого полевого шпата (пелитизированного), четко выделяющиеся на фоне зеленовато-черной тонкозернистой массы нодулей. Последние «цементированы» мелкозернистым гранитом.

Таким образом, наиболее характерной особенностью даек **CD<sub>1</sub>** является их сложная морфология, варьирующее по простиранию соотношение базитовой и калиевого составляющей вплоть до переходов в базитовые синплутонические интрузии, в совокупности указывающие на внедрение базитового расплава, либо базит-гранитоидной (по составу) смеси в кристаллизующуюся гранитоидную магматическую камеру. Среди метаморфических пород подобные дайки не зафиксированы.



**Рисунок 1.** Схема расположения герцинских гранитоидов Западного Забайкалья, составлена на основе (Карта магматических..., 1989) с изменениями (Цыганков и др., 2010) и дополнениями.

1 - щелочно-полевошпатовые и щелочные граниты и сиениты Монголо-Забайкальского вулканоплутонического пояса (ранне-и поздне-куналейский комплексы (280-273 и 230-210 млн. лет) без разделения); 2 - высококальцевая монцонит-сиенит-кварцевосиенитовая с синплутоническими базитами интрузивная серия (нижне-селенгинский комплекс – 285-278 млн. лет); 3 - граниты и кварцевые сиениты с синплутоническими базитами (засинский комплекс - 305-285 млн. лет); 4 - известково-щелочные кварцевые сиениты, кварцевые монцониты и габброиды (чивыркуйский комплекс - 305 - 285 млн. лет); 5 - известково-щелочные граниты (баргузинский комплекс - 330 - 290 млн. лет); 6 - выходы комбинированных даек, участки: 1- Харитоново, 2 - Усть-Хилок, 3 - Жирим, 4 - Шалуты, 5 - хр.Улан-Бургассы (рр. Сухарка, Солонечная), 6 - Курба, 7 - Хасурта, 8 - Максимиha, 9 – Святой Нос, 10 - Нестериха. Римскими цифрами обозначены участки работ: I – Северо-Муйский, II – Бодайбинский.



**Рисунок 2.** Детали внутреннего строения комбинированных даек (темное – базитовая составляющая, светлое – салическая).

Дайки **CD<sub>1</sub>** типа: **а)** Шалутинский массив, дайка **CD<sub>1</sub>**, хорошо видна вытянутая, часто с расщепляющимися окончаниями (пламевидная) форма базитовых нодулей; **б)** комбинированная дайка Жиримского участка (Усть-Хилокский массив); **в)** зоны закалки (темные каймы) в базитовых нодулях комбинированной дайки Харитоновского щелочно-гранитоидного массива; дайки **CD<sub>2</sub>** типа: **г)** фрагмент комбинированной дайки (**CD**) в амфиболитах (**Amph**) п-ова Святой Нос: красный пунктир – контакт дайки с амфиболитами, срезающий лейкогранитную (**Gr**) жилу **д)** дайка **CD<sub>2</sub>** Шалутинского массива - характерна округлая форма и большие размеры базитовых нодулей, в черном прямоугольнике – ксенолит среднезернистых амфиболовых габбро; **е)** текстуры течения в дайке Усть-Хилокского массива. Остальные пояснения в тексте.

Второй геолого-морфологический тип даек ( $CD_2$ ) представлен крутопадающими ( $30 - 50^\circ$ ) (участки Шалутинский, хр. Улан-Бургасы, бассейн р. Курбы, рис. 1), или субгоризонтальными (Максимиха, Святой Нос) телами с четкими линейными секущими контактами (рис. 2г). Мощность даек рассматриваемого типа достигает 9 - 10 м. Внутреннее строение этих даек аналогично рассмотренным выше, однако существенных вариаций в соотношении салического и базитового материала, доля которого составляет 80 - 90 % объема, не зафиксировано. В целом, характерна более изометричная пиллоуподобная форма базитовых нодулей, вплоть до шарообразных (рис. 2д), с зонами закалки (не всегда) и фестончатыми краями, свидетельствующими о сосуществовании двух жидкостей (Enclaves ..., 1991). Салическая часть даек содержит диспергированный базитовый материал в виде отдельных кристаллов фемических минералов или их небольших сегрегаций, а также угловатые ксенолиты подстилающих или вмещающих пород (рис. 2д). Иногда хорошо выражены текстуры течения (рис. 2е).

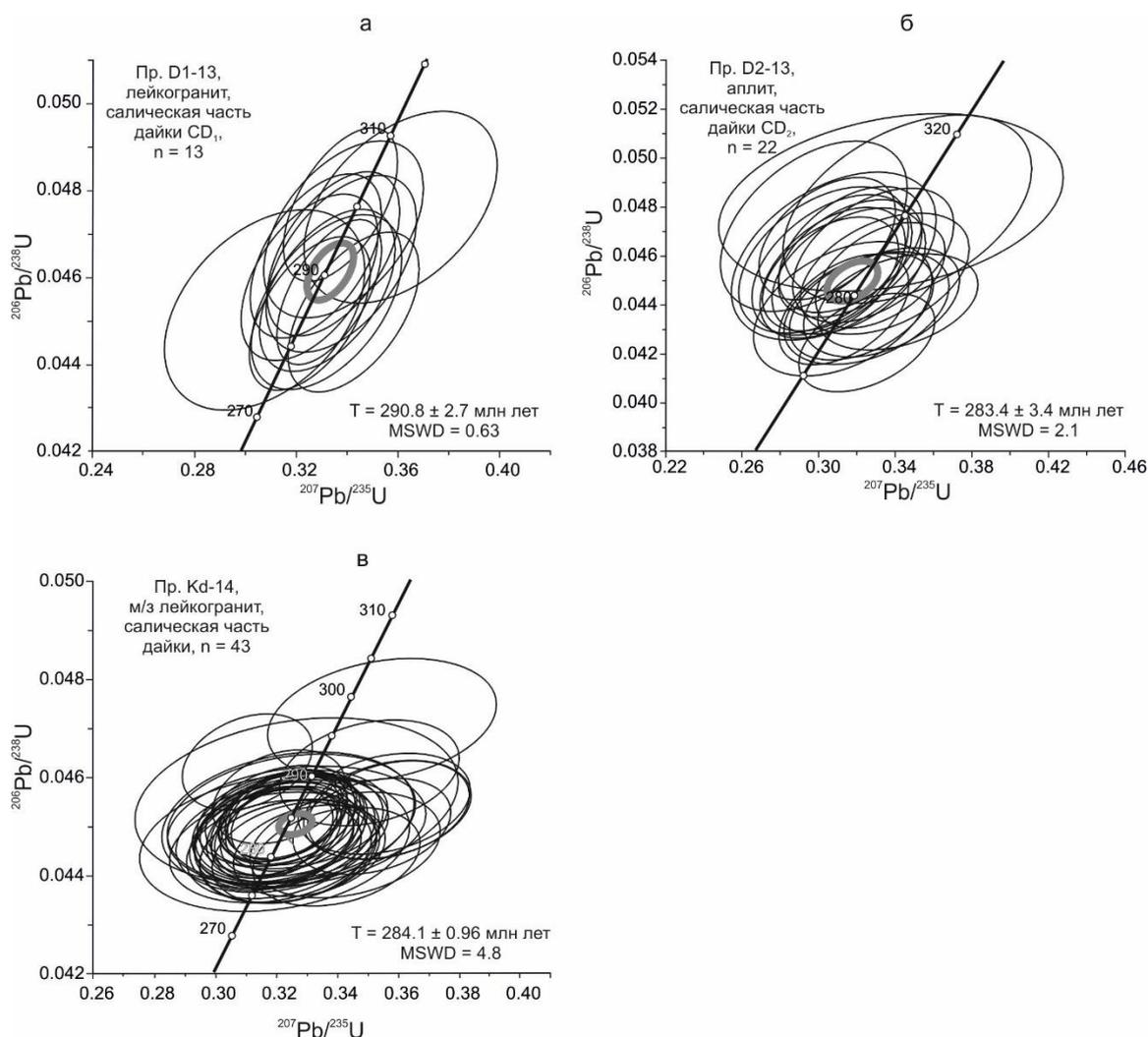
Базитовая составляющая комбинированных даек Западного Забайкалья по химическому составу варьирует от габбро и монцогаббро (49 – 51.5 мас. %  $SiO_2$ , при 4.5 – 5 мас. %  $Na_2O+K_2O$ ) до монцонитов (57 - 59 мас. %  $SiO_2$ , при 8.5 – 9 мас. %  $Na_2O+K_2O$ ) (Петрографический кодекс, 2009). Магнезиальность пород ( $MgO/(MgO + FeO^*) \times 100$  мол.%) составляет 53 - 38 %, корреляция с  $SiO_2$  отсутствует. Салическая часть даек варьирует от граносиенитов и сиенитов до умеренно щелочных и щелочных гранитов (65 – 72 мас.%  $SiO_2$ , 9 – 11 мас. %  $Na_2O+K_2O$ ), при этом щелочные минералы в дайках отсутствуют. Магнезиальность составляет 33 – 8 мол. %.

Породы комбинированных принадлежат к высоко-калиевой известково-щелочной серии, отношение  $K_2O/Na_2O$  в базитах всегда  $<1$ , тогда как в салической части  $>1$ . Салическая часть даек также высоко-калиевая известково-щелочная, индекс насыщения алюминием ( $A/CNK$ ) варьирует от 0.9 до 1.08.

Распределение REE в базитовой составляющей даек однотипно. Для них характерны относительно высокое суммарное содержание REE ( $> 200$  г/т  $\sum$  REE), дефицит HREE относительно LREE ( $La/Yb_{(n)}=14-20$ ); Eu-аномалия в большинстве случаев отсутствует. Графики распределения REE для салических частей даек в целом сходны с базитами.

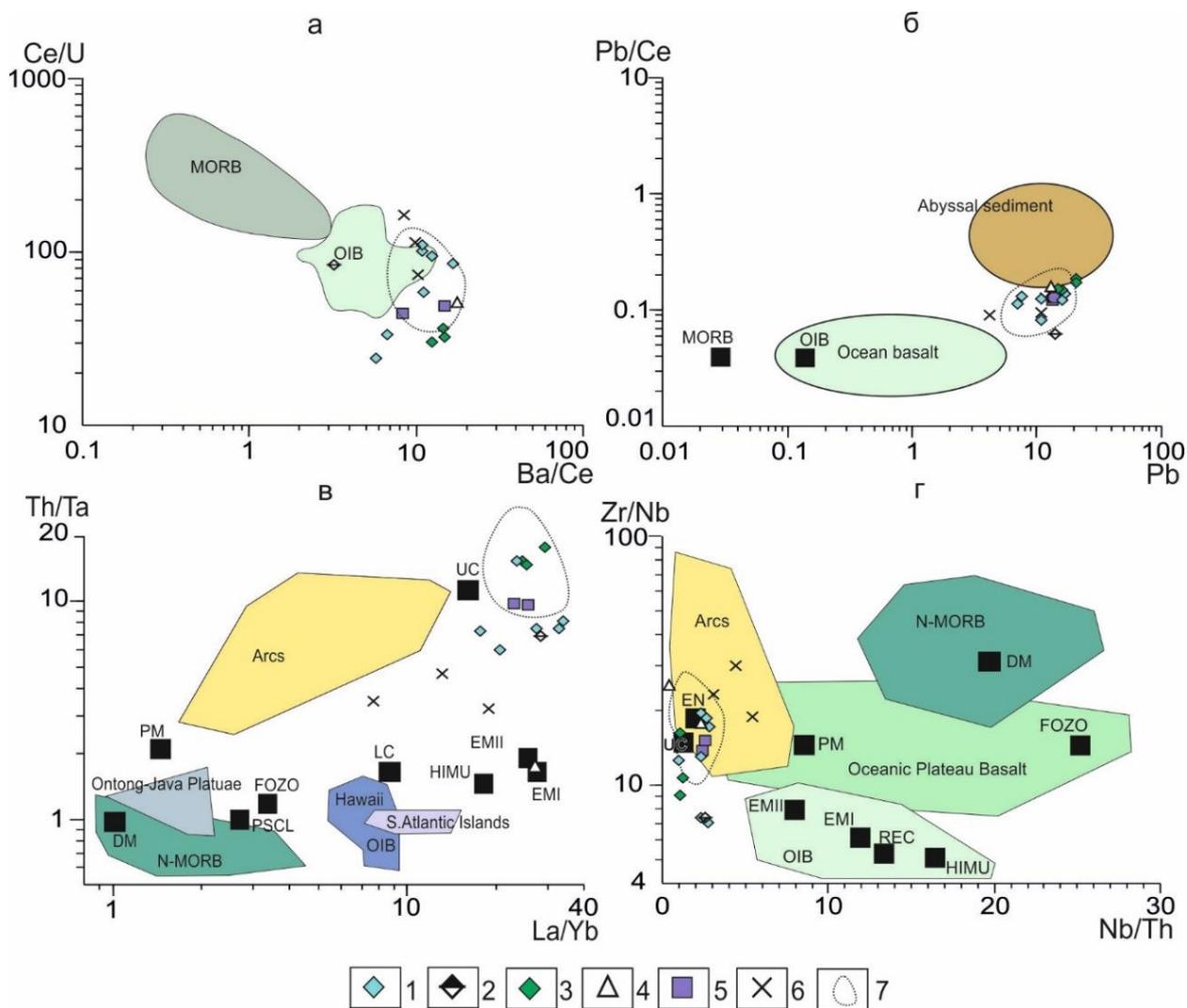
Установлен изотопный возраст даек в Шалутинском массиве, составляющий  $290.8 \pm 2.7$  млн. лет и  $283.4 \pm 3.4$  млн лет (рис. 3), близкий времени формирования вмещающих кварцевых сиенитов, а также возраст комбинированной дайки, прорывающей метаморфические образования на восточном побережье оз. Байкал -  $284.1 \pm 0.96$  млн. лет. Массовое формирование комбинированных даек в Западном Забайкалье коррелирует с позднепалеозойским этапом магматизма в результате которого сформировалась одна из

крупнейших на Земле гранитоидная провинция. Внедрение даек растянуто во времени как минимум на 10 – 12 млн. лет. Есть все основания полагать, что их формирование в каждом конкретном случае связано непосредственно с внедрением крупных объемов салических магм и становлением отдельных гранитоидных плутонов. Значительно реже встречаются раннемезозойские комбинированные дайки, ассоциирующие с щелочно-гранитоидными плутонами поздне-куналейского магматического комплекса, формировавшегося в период с 230 до 210 млн. лет назад.



**Рисунок 3.** Диаграммы с конкордией для пород комбинированных даек Шалутинского массива: дайки CD<sub>1</sub> (а), CD<sub>2</sub> (б) и участка Максимиha (в).

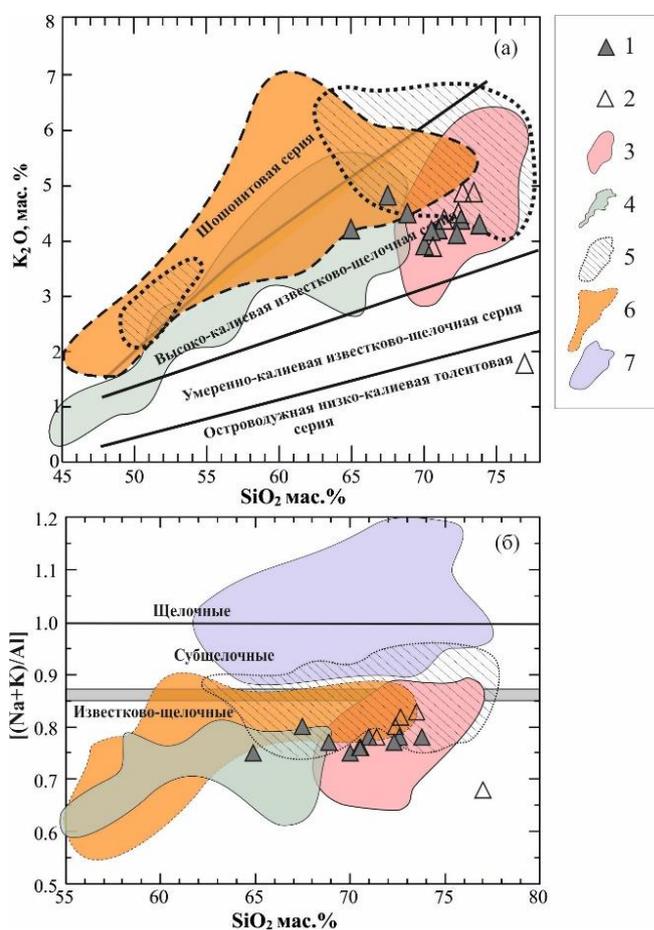
Образование базитовых магм комбинированных даек происходило на глубинах более 75 км за счет плавления модифицированного (обогащенного коровыми компонентами) мантийного источника (рис. 4). Салические компоненты даек, независимо от их геологического положения, в целом близки по составу к гранитоидам плутонической фации, а имеющиеся отличия обусловлены, по-видимому, процессами гибридизации в глубинных условиях.



**Рисунок 4.** Положение точек составов базитов комбинированных даек Западного Забайкалья на дискриминационных диаграммах Ba/Ce-Ce/U (а), Pb-Pb/Ce (б), La/Yb-Th/Ta (в), Nb/Th-Zr/Nb (г).

1 – Жиримский и Усть-Хилокский участки Усть-Хилокского массива нижне-селенгинского комплекса; 2 – CD<sub>1</sub>, 3 – CD<sub>2</sub> дайки Шалутинского массива зазинского комплекса; 4 - дайки бассейна р. Курбы, прорывающие гранитоиды чивыркуйского комплекса; 5 – дайки в кристаллических сланцах таланчанской свиты (участок Максимиха); 6 – дайки в Харитоновском раннемезозойском щелочно-гранитоидном массиве поздне-куналейского комплекса; 7 – синплутонические амфиболовые габбро Шалутинского массива (Цыганков и др., 2016). Положение составов магматических источников и базальтов из различных геодинамических обстановок заимствовано из (Halliday et al., 1995; Zhang et al., 2008; Condie, 1997; 2005). UC – верхняя континентальная кора; PM – примитивная мантия; DM – деплетированная мантия; HIMU – мантийный источник с высоким U/Pb; EM I и EM II – обогащенные мантийные источники; FOZO – нижнемантийный деплетированный источник; PSCL – пост-архейская субконтинентальная литосфера; EN – обогащенный компонент; REC – рециклинговый компонент; Arc – островодужные базальты; N-MORB – базальты COX; OIB – базальты океанических островов.

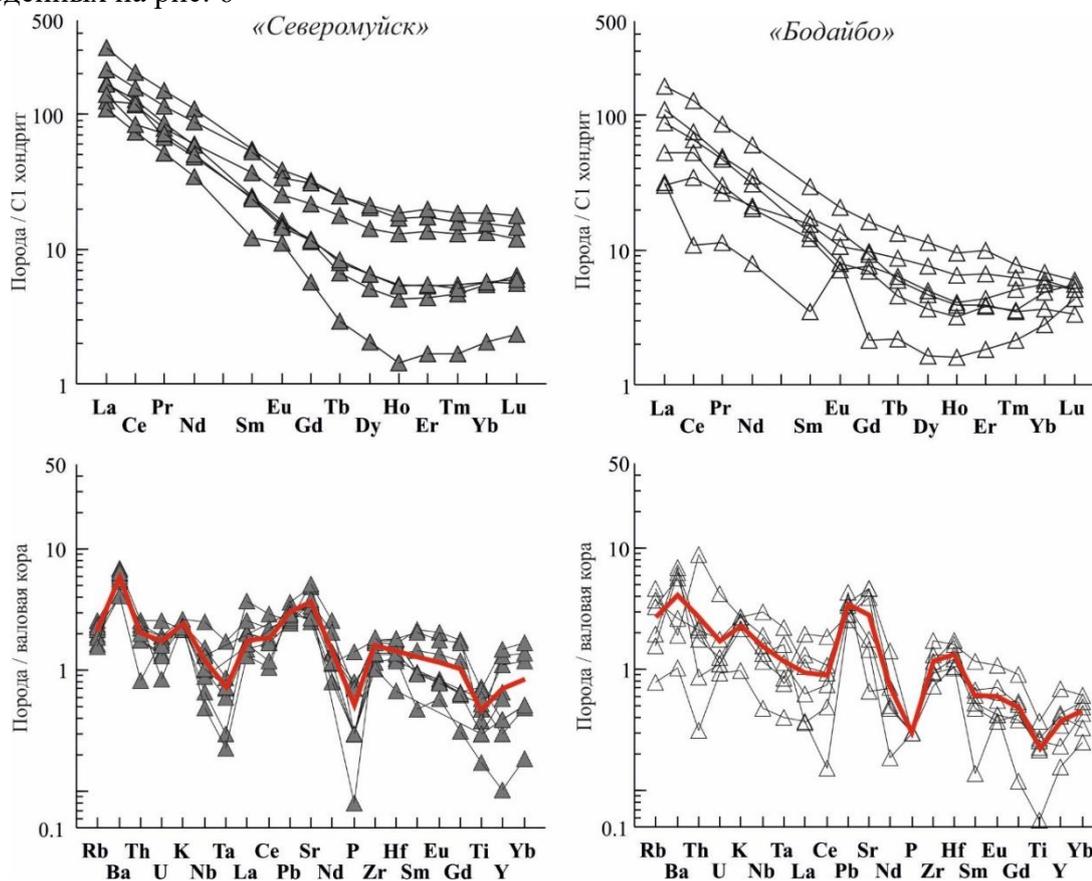
2. В отчетный период установлен U-Pb изотопный возраст цирконов (Цыганков и др., 2018) и петро-геохимически охарактеризованы гранитоиды двух районов северной части Ангаро-Витимского батолита (АВБ). Первый район (I на рис. 1) расположен в осевой части Северо-Муйского хребта (истоки и верхнее течение рр. Ангаракн – Муякан), второй располагается южнее г. Бодайбо в бассейне р. Мамакан (II на рис. 1). Оба района сложены гранитоидами конкудеро-мамаканского комплекса. Это порфировидные (Kfs) и равномернозернистые биотитовые, амфиболовые и амфибол-биотитовые граниты, граносиениты и лейкограниты. Согласно классификации (Петрографический кодекс..., 2009) состав гранитоидов варьирует от граносиенитов, через умеренно-щелочные граниты до умеренно-щелочных лейкогранитов слабо пересыщенных алюминием ( $ACNK > 1$ , до 1.22). Изученные гранитоиды принадлежат к высоко-калиевой известково-щелочной серии (рис. 5).



**Рисунок 5.** Поля составов позднепалеозойских гранитоидов Западного Забайкалья на классификационных диаграммах  $SiO_2 - K_2O$  и  $SiO_2 - [(Na + K)/Al]$ . Использована авторская База данных по геохимии магматических пород Забайкалья (Litvinovsky et al., 2011, Supplementary Data).

1 – гранитоиды Северо-Муйского, 2 – Бодайбинского участков; 3 – известково-щелочные граниты авто- и аллохтонной фаций (баргузинский комплекс, 325 – 290 млн. лет); 4 – высококалиевые известково-щелочные кварцевые монзониты, кварцевые сиениты и габброиды (чивыркуйский комплекс - 305 – 285 млн. лет); 5 – переходные, от высококалиевых известково-щелочных до субщелочных (alkaline) граниты и кварцевые сиениты с синплутоническими базитами (зазинский комплекс - 305 – 285 млн. лет); 6 – высококалиевая монзонит-сиенит-кварцевосиенитовая с синплутоническими базитами интрузивная серия (нижне-селенгинский комплекс - 285-278 млн. лет); 7 - щелочно-полевошпатовые и щелочные граниты и сиениты Монголо-Забайкальского вулcano-плутонического пояса (ранне-куналейский (280 – 273 млн. лет) и поздне-куналейский (230 -210 млн. лет) комплексы), на рис. (а) не показан.

Петрохимические характеристики пород, за отдельными исключениями, соответствуют гранитоидам баргузинского комплекса (рис. 5), развитым в центральной и южной части АББ (Цыганков и др., 2010; 2014; 2017; Litvinovsky et al., 2011). Следует отметить, что «Северомуйские» гранитоиды несколько отличаются от «Бодайбинских» пониженным содержанием  $\text{SiO}_2$ , что отражается и на их геохимических характеристиках, приведенных на рис. 6



**Рисунок 6.** Распределение редкоземельных элементов и спайдердиаграммы для гранитоидов северной части АББ. Красные линии на спайдер-диаграммах – средний состав изученных проб. Нормировано по (Sun, McDonough, 1989; Rudnick, Gao, 2003).

Распределение REE пород обоих участков характеризуется высокой дифференцированностью редкоземельного спектра ( $\text{La}/\text{Yb}_{(n)} = 25$  и  $17.4$ , Северо-Муйский и Бодайбинский участки), отсутствием европиевой аномалии в большинстве проб ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.91$  и  $0.85$ ) (в одной пробе автохтонных гранитов  $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 2.8$ ). Индикаторные отношения  $\text{La}/\text{Sm}_{(n)}$  и  $\text{Gd}/\text{Yb}_{(n)}$  отличаются незначительно ( $4.3$  и  $2.04$  Северомуйск,  $3.6$  и  $1.87$  Бодайбо).

Спайдер-диаграммы также демонстрируют принципиальное сходство геохимических характеристик гранитоидов двух изученных участков: обогащенность Ва (до  $3000$  г/т), Sr-Rb максимум, деплетированность фосфором и титаном. Наиболее заметное отличие

заключается в отсутствии Ta-Nb минимума в гранитах «Бодайбо», тогда как в Северо-Муйских эта аномалия проявлена достаточно четко.

Результаты U-Pb изотопно-геохронологических исследований гранитоидов Северо-Муйского и Бодайбинского участков приведены на рис. 7 – 8. Определения были выполнены в Геологическом институте СО РАН (Улан-Удэ) методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором (LA-SF-ICP-MS) на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR, фирмы Thermo Scientific. Пробоотбор проводился с помощью устройства лазерной абляции UP-213 фирмы New Wave Research. Детали аналитической процедуры и параметры измерения приведены в (Хубанов и др., 2016).

Изотопный возраст цирконов из гранитоидов Северо-Муйского участка варьирует от 321 до 281 млн. лет. В лейкограните пробы КМ-09-15 зафиксирован более широкий разброс значений изотопного возраста – от почти 900 до 300 млн. лет. Аналитические точки группируются в два широких кластера со средним возрастом 752 и 321 Ма, с очень большой погрешностью. По-видимому, эти лейкограниты содержат значительное количество цирконов, унаследованных от неопротерозойского протолита.

Среди цирконов амфиболового граносиенита (КМ-06-15) обнаружены два зерна с примерным возрастом 450 млн. лет, по-видимому унаследованных от каледонского фундамента. Проба КМ-05-15 (биотитовый гранит) содержит две статистически достоверных популяции цирконов с возрастом 308 и 285 Ма, вероятно отражающих два этапа позднепалеозойского гранитоидного магматизма Забайкалья, предполагавшихся, но основании данных по центральной части АВБ (Цыганков и др., 2007; 2017).

Таким образом U-Pb изотопные данные по цирконам из основных разновидностей гранитоидов, слагающих осевую часть Северо-Муйского хребта вполне согласуются с датировками, полученными ранее по центральным и южным районам Западного Забайкалья.

В строении северной части Ангаро-Витимского батолита преобладают биотитовые равномерно-зернистые или порфиоровидные (*Kfs*) граниты, преимущественно аллохтонной фации. В подчиненном количестве встречаются автохтонные разновидности, содержащие интенсивно переработанные останцы кристаллических сланцев. Те и другие объединены в конкудеро-мамаканский интрузивный комплекс и являются аналогом авто- и аллохтонных гранитов баргузинского комплекса, развитых в центральной части АВБ (Цыганков, 2014; Цыганков и др., 2007; 2010; 2017). Кроме того, обширные поля сложены лейкократовыми гранитами, аналогичными зазинским гранитам южных и центральных районов АВБ.

Нами отобрано пять геохронологических проб примерно вдоль линии гг. Бодайбо – Таксимо (участок II на рис. 1), представляющие основные разновидности гранитоидов АВБ

в его северной части. Петро-геохимическая характеристика пород приведена выше (см. рис. 5, 6). Результаты U-Pb изотопно-геохронологического изучения этих проб показаны на рис. 8.

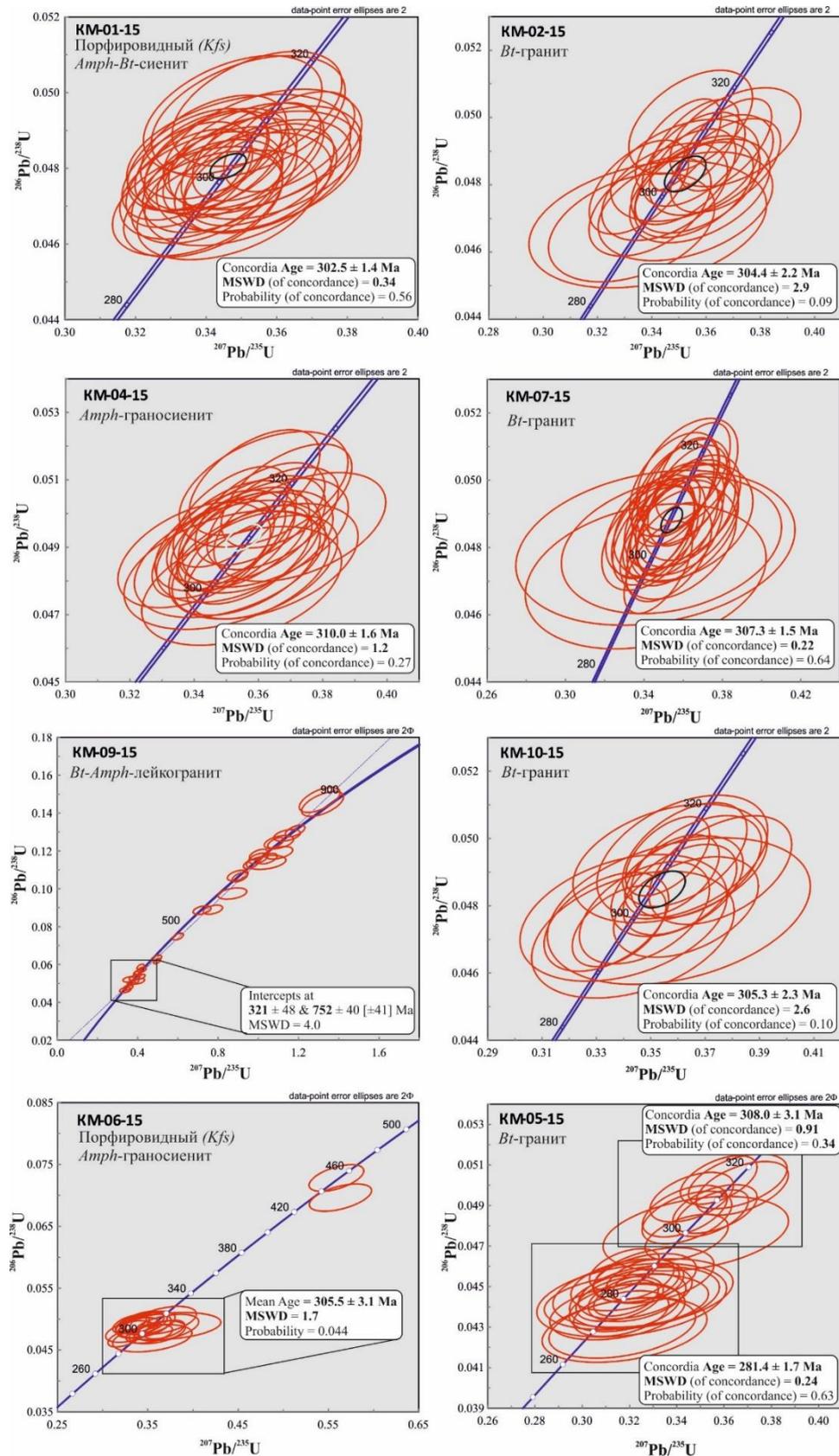
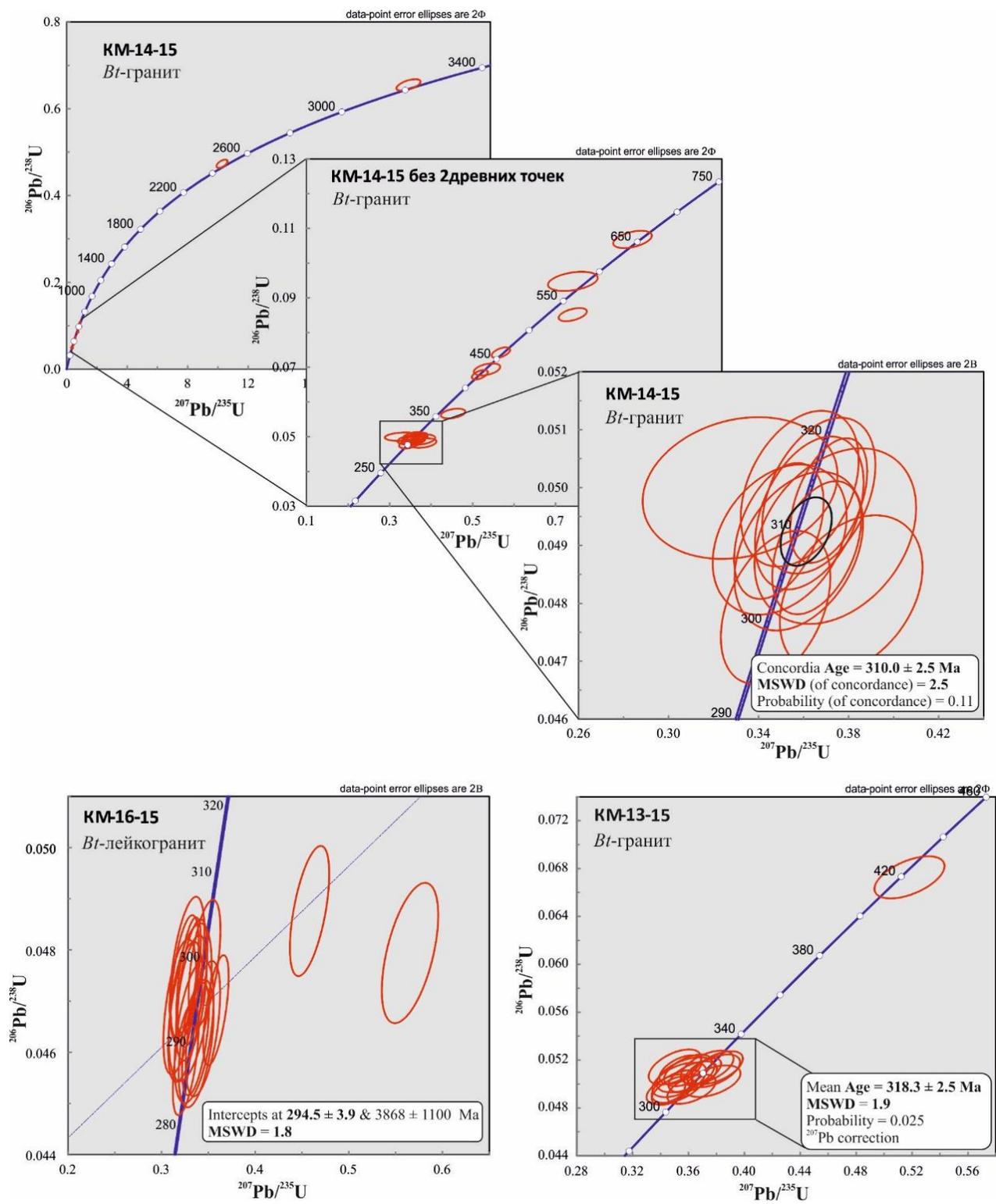


Рисунок 7. Диаграммы с конкордией для гранитоидов Северо-Муйского участка Ангаро-Витимского батолита.



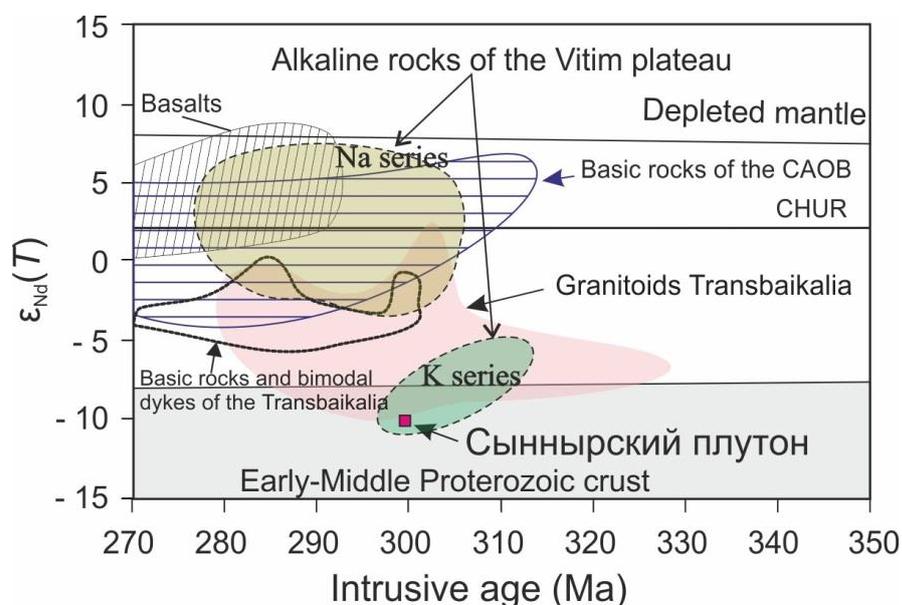
**Рисунок 8.** Диаграммы с конкордией для Бодайбинского участка Ангаро-Витимского батолита.

Из полученных данных следует, что гранитоиды северной части АВБ формировались в период с 318 до 294 млн. лет (с учетом данных, приведенных в (Цыганков и др., 2017)). В пробе КМ-13-15 (рис. 8) одно зерно, по-видимому унаследованное, показало возраст примерно 420 млн. лет, а в пробе КМ-14-15, на ряду с доминирующими позднепалеозойскими значениями возраста (310 млн. лет) зафиксирована целая серия «древних» унаследованных зерен с возрастaми от 370 до 650 млн. лет (рис. 8), и два зерна с возрастaми 2450 и 3200 млн. лет, что указывает на смешанный разновозрастный источник магм, либо захват разновозрастного корового материала по пути движения магмы в верхние горизонты коры.

Таким образом, новые U-Pb изотопно-геохронологические данные по гранитоидам северной части Ангаро-Витимского батолита не выявили каких либо значимых отличий состава и возраста пород, по сравнению с центральными и южными районами. Иначе говоря, позднепалеозойские магматические процессы развивались синхронно на всей территории, занятой АВБ.

3. Проведены U-Pb (SHRIMP II, циркон) геохронологические и изотопные (Nd) исследования нефелиновых сиенитов Сыннырского массива. Определено, что образование пород происходило в период  $289.5 \pm 3.2$  млн. лет. Полученный возраст совпадает с основным этапом становления (311-294 млн. лет) позднепалеозойских щелочных пород Витимского плоскогорья (Doroshkevich et al., 2012; Дорошкевич и др., 2012; 2014; Дорошкевич, 2013; Избродин и др., 2017), гранитоидов Ангаро-Витимского батолита (Будников, 1997, Ярмолук, 1997; Litvinovsky et al., 2011; Цыганков, 2014, Цыганков и др., 2017) и пород габбро-монцонитовой серии Забайкалья (Jahn et al., 2009; Litvinovsky et al., 2011, Бурмакина и др., 2018). Рассчитанный модельный возраст источника щелочных сиенитов Сыннырского массива составляет 1,6 млрд. лет и совпадает с таковым для источника щелочных сиенитов Чининского массива (Избродин и др., 2017). Щелочные сиениты Сыннырского массива характеризуются отрицательными величинами  $\epsilon Nd$  (290 млн. лет) (-10,54), что не характерно для позднепалеозойских щелочных пород Витимского плоскогорья (рис. 9), для которых значения  $\epsilon Nd$  (T) меняются в интервале от +0.2 до +6 (Doroshkevich et al., 2012; Дорошкевич, 2013).

Стоит отметить сходство с величинами  $\epsilon Nd$  (T) для щелочных сиенитов Чининского и Усойского массивов (от -5.2 до -8.7, Избродин и др., 2017), гранитов баргузинского комплекса (от -5.7 до -12.8 (Цыганков и др., 2017)) и пород габбро-монцонитовой серии (вариации -3.2 до -5.0, Jahn et al., 2009; Litvinovsky et al., 2011). Полученные данные свидетельствуют в пользу схожего источника щелочных пород Сыннырского массива, позднепалеозойских гранитов и пород габбро-монцонитовой серии Забайкалья.



**Рисунок 9.** Диаграмма зависимости  $\epsilon_{Nd}(T)$  от возраста для позднепалеозойских щелочных пород Витимского плоскогорья и Сыннырского плутона. Позднепалеозойские щелочные породы Витимского плоскогорья (натриевая и калиевая серии) по (Doroshkevich et al., 2012; Дорошкевич и др., 2012; 2014; Дорошкевич, 2013; Избродин и др., 2017); базиты ЦАСП по (Ярмлюк и др., 2000); базиты и бимодальные дайки Забайкалья (PZ<sub>3</sub>) (Jahn et al., 2009; Litvinovsky et al., 2011); базальты ЦАСП (PZ<sub>3</sub>-MZ<sub>1</sub>) по (Ярмлюк и др., 1997; Ярмлюк и др., 2000; Козловский и др., 2006); поле гранитоидов Ангаро-Витимского батолита по (Цыганков, 2014; Цыганков и др., 2017, Jahn et al., 2009; Litvinovsky et al., 2011).

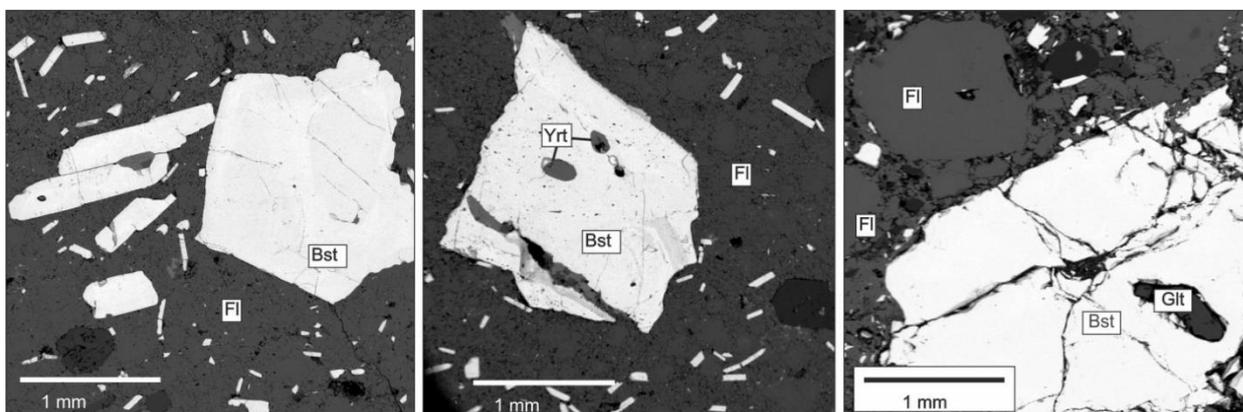
### **Рудный блок.**

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. В отчетный период было проведено детальное геологическое, минералого-геохимическое изучение нового для Забайкалья типа редкоземельного оруденения (Рипп и др., 2018). Оно представлено участками минерализованных брекчированных кристаллических пород и маломощными жилами (мощностью 0.5-1.0 м), обнаруженных в береговых обнажениях р. Селенги и котлованах под строительство жилых домов в г. Улан-Удэ. Проявления приурочены к эрозионному окну брекчированных кристаллических сланцев, кварцитов, гнейсов перекрытых позднемезозойскими терригенными отложениями. Руды сложены в основном бастнезитом и флюоритом. В числе второстепенных присутствуют тетраферрифлогопит, монацит. Содержание редкоземельных элементов, представленных легкими лантаноидами достигает 20 мас. %. По геохимическим

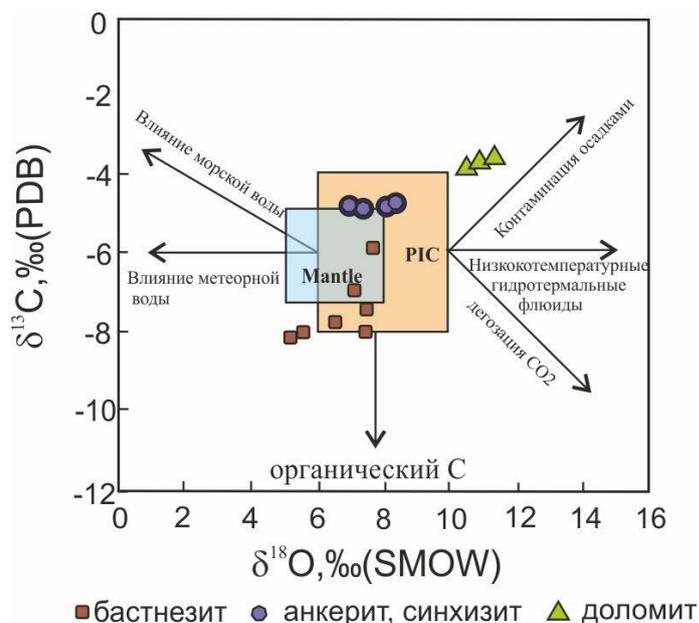
особенностям и возрасту ( $134.2 \pm 2.4$  млн. лет, Ar-Ar по слюде) рудопроявление идентично карбонатитам Западно-Забайкальской провинции (Рипп и др., 2018). Изотопные составы кислорода и углерода в бастнезите лежат в поле типичном для неизмененных карбонатитов. Идентичны с последними и значения первичных изотонных стронциевых отношений ( $I_{Sr} \approx 0.7055$ ), величины  $\epsilon Nd$ , а также кривые составов нормированных редкоземельных элементов. Как и в карбонатитах Западно-Забайкальской провинции в породах присутствует повышенное количество сульфатных минералов, представленных глауберитом и плюмбоярозитом. Последние образуют включения в фенокристаллах бастнезита (рис. 10) и флюорита, и мелкозернистые агрегатные скопления в рудах.

Выявленный тип пород, может быть идентифицирован как особый тип карбонатитов, что резко повышает перспективы региона и позволяет рекомендовать эту площадь для поисковых работ на редкоземельное оруденение.



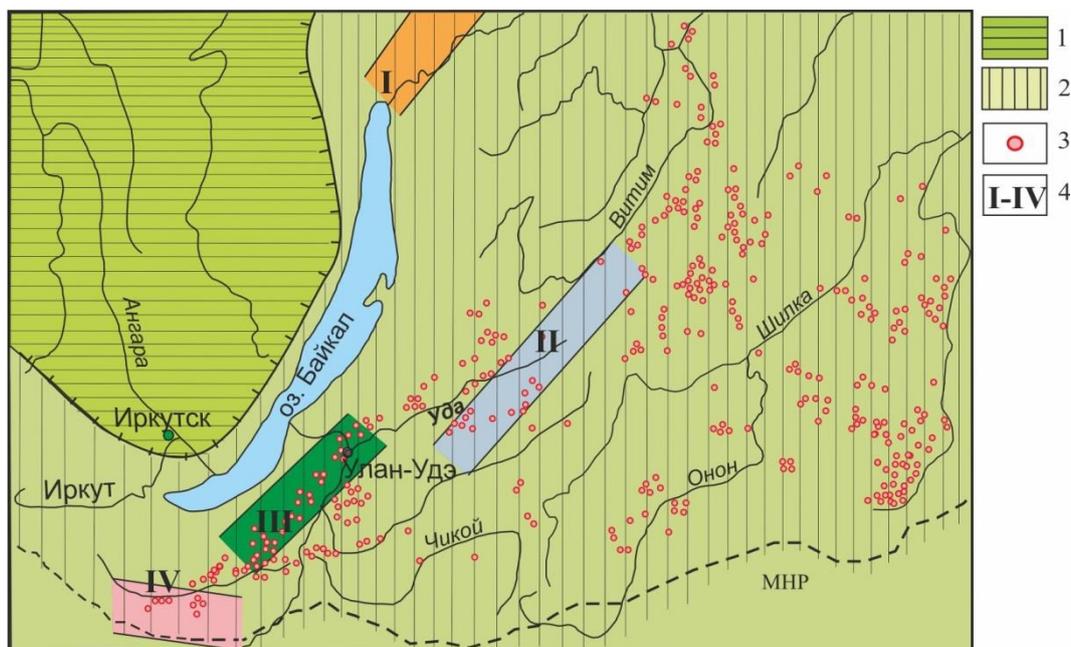
**Рисунок 10.** Характерный структурный рисунок бастнезитсодержащей породы. Bst – бастнезит, Fl-флюорит, Yrt – ярозит, Glt- глауберит.

2. В рамках бюджетной темы продолжилось изучение карбонатных пород Западного Забайкалья неясного генезиса. Были получены изотопно-геохимические характеристики кальцитовых пород Жарчихинского молибденового месторождения, анкиритовых пород Y-редкоземельного месторождения Акиит и магнетит-доломитовых пород золоторудного месторождения Чипчикон. Результаты анализов изотопных составов кислорода и углерода, лежащих в пределах квадрата PIC (рис. 11) указывают на участие в их образовании глубинной углекислоты и, соответственно, на возможную принадлежность их к карбонатитам. Последнее позволяет существенно расширить ареал распространения карбонатитового магматизма, реконструировать историю геологического развития региона и связанного с ними редкометалльного и редкоземельного оруденения.



**Рисунок 11.** Изотопные составы кислорода и углерода в бастнезите из редкоземельного проявления Портовое, Улан-Удэнское, анкерита и синхизита из месторождения Аakit, доломита из Чипчиконского месторождения. Поле PIC по (Taylor et al., 1967), магматический источник по (Cheng et al., 2017).

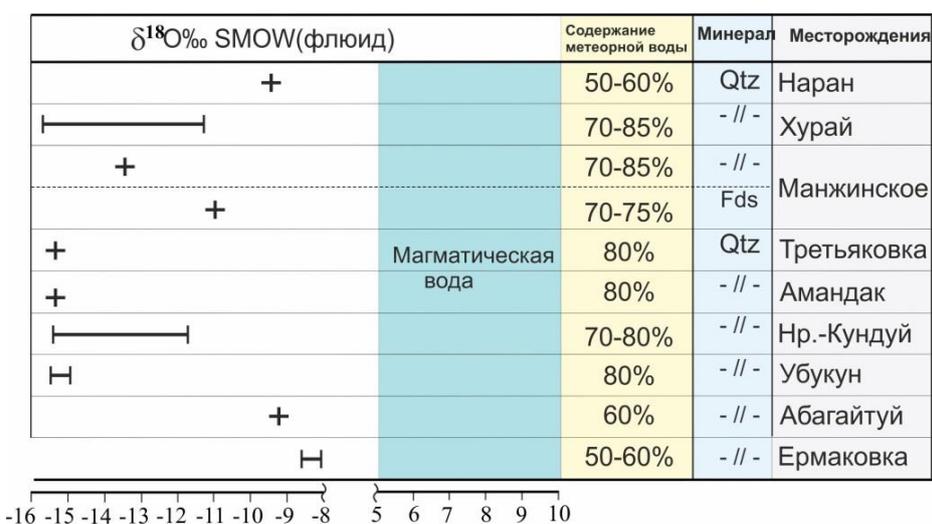
3. Устойчивая связь и повышенные количества фтора в рудах многих редкометалльных и редкоземельных месторождений Забайкалья предопределила проведение исследований по оценке роли этого элемента в процессах рудообразования. Западное Забайкалье характеризуется ярко выраженной флюоритовой специализацией (в регионе сосредоточено 14.36 % общероссийских балансовых запасов плавикового сырья). Здесь установлено более 150 флюоритсодержащих проявлений и месторождений, представленных шестью формационными типами (Рипп и др., 2018). Наибольшее распространение получил эпитермальный кварц-флюоритовый тип (рис. 12), в меньшем количестве представлены редкоземельные карбонатиты (Аршанское, Южное, Портовое), флюорит-фенакит-берtrandитовые (Ермаковское, Аунк, Амандак), молибден-вольфрамовые (Булуктаевское, Джидинское), флюорит-шеелитовое (Ангокит), анкерит-флюоритовое (Аakit), флюорит-апатитовое (Бурпала) месторождения. Наибольшая активность фтора фиксируется в мезозойский период с возрастанием от триаса (фтор-бериллиевые месторождения) к меловому этапу. Образование флюорита в позднепалеозойский период не характерно. На территории Забайкалья известно лишь одно тело с таким возрастом с высокими концентрациями флюорита (в ассоциации с апатитом) в щелочных породах массива Бурпала.



**Рисунок 12.** Схема распространения флюоритовой минерализации в Западном Забайкалье. 1 - Сибирская платформа, 2 - складчатая область, 3 - эпитермальные флюоритсодержащие проявления; 4 - провинции разноформационных фторсодержащих проявлений: I - Северо-Байкальская щелочная, II - Западно-Забайкальская бериллиеносная, III - карбонатитовая, IV - Джидинская молибден-вольфрамовая.

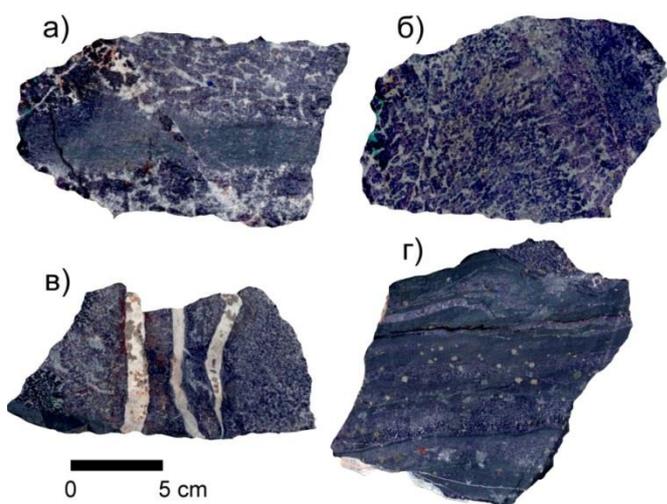
Изотопно-геохимические исследования проведены на эпитермальных флюоритовых месторождениях. Были изучены изотопные составы сульфидной и сульфатной серы, кислорода в кварцах, кислорода и углерода в кальцитах. В каолините и геарксутите определен изотопный состав водорода. В подавляющем большинстве величины  $\delta^{34}\text{S}$  пиритов варьируют в пределах отрицательных значений: кварц-флюоритовый тип (Наранское, Новопавловское II, Хурайское, Хамнейское, Третьяковское, Тосо-I, Бэрх) от -1.1 до -5.6; пирит-флюоритовые руды (Калангуйское) -2.0; кальцит-кварц-флюоритовый тип (Эгита) имеет положительные значения +2.26. В отличие от пирита изотопный состав серы в барите менее однороден и имеет значения  $\delta^{34}\text{S}$ , варьирующие в пределах +8...+15 ‰. Изотопный состав кислорода определен в кварце рудных стадий. На Манжинском месторождении проанализированы также геарксутит (+0.88,  $\delta^{18}\text{O}$  ‰, v-SMOW), встречающийся в центральных зонах рудных тел, и калиевый полевой шпат (-1.8,  $\delta^{18}\text{O}$  ‰, v-SMOW). Главной особенностью кислорода является деплетированность его тяжелым изотопом, имеющим в большинстве случаев отрицательные значения  $\delta^{18}\text{O}$  ‰, v-SMOW: кварц-флюоритовый тип (Хурайское, Третьяковское, Амандак, Нарын-Кундуйское) от -0.2 до -2.6, кварц из Наранского месторождения имеет положительные значения в интервале +2.0...+2.1. Для Эгитинского кальцит-кварц-флюоритового месторождения изотопный состав кислорода варьирует в интервале +4.4...+12.6,  $\delta^{18}\text{O}$  ‰, v-SMOW. Следует отметить,

что в формировании многих месторождений участвовали флюиды различных источников. При образовании основной группы изученных флюоритовых месторождений фиксируется (рис. 13) до 60-80 % воды метеорного происхождения (Ласточкин и др., 2018).



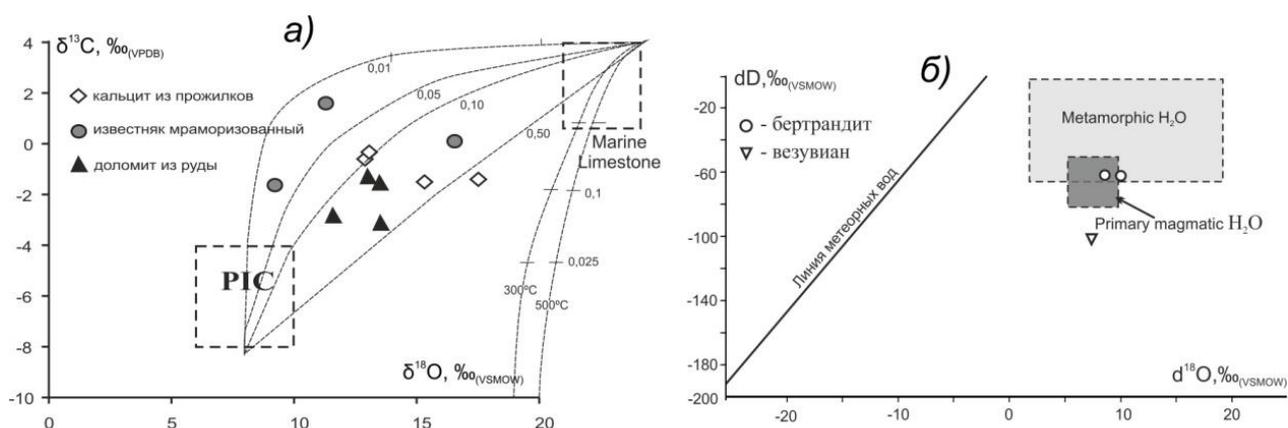
**Рисунок 13.** Изотопный состав кислорода воды равновесной с кварцем и КПШ флюоритовых месторождений. Рассчитано для температур от 180 до 200°C. Qtz- кварц, Fds – калиевый полевой шпат.

4. На примере Ауникского F-Be месторождения, входящего в состав Западно-Забайкальской бериллиеносной провинции, изучены состав руд и рудообразующих растворов, условия формирования и определены источники Be оруденения, а также оценены главные факторы, ответственные за формирование бериллиевого оруденения. Руды месторождения представлены полевошпат-флюорит-фенакит-берtrandитовыми метасоматитами (рис. 14), образованными по углистым известнякам при их метасоматическом замещении гидротермальными растворами, приносящими F, Be и сопутствующие элементы-примеси.



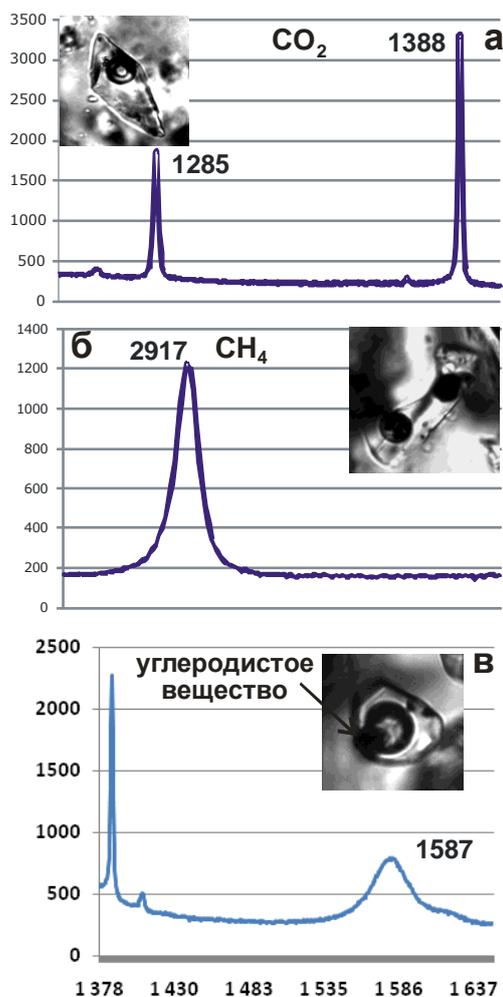
**Рисунок 14.** Фотографии фтор-бериллиевых руд месторождения Ауникское: а – чередование участков руд с ячеистой структурой и незамещенных прослоев углистых сланцев; б – постепенный переход мелкозернистых ячеистых руд к более крупнозернистым рудам с субграфической структурой; в – поздние секущие кварц-карбонат-полевошпатовые прожилки (светлые) с сульфидными минералами; г – тонкое переслаивание углистых сланцев и флюорит-бериллиевых руд.

Геологические наблюдения, минералого-петрографические и геохимические особенности руд, а также исследования изотопного состава минералов рудной ассоциации подтвердили апокарбонатную природу главных руд месторождения и позволили установить магматогенную природу рудообразующих палеогидротерм, источником которых явились субщелочные лейкограниты. Об этом свидетельствуют близкие  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  отношения в рудах и известняках (0.7086 и 0.7091 соответственно), сходные изотопные составы углерода и кислорода карбонатов из вмещающих известняков с карбонатами из рудного парагенезиса (рис. 15а).

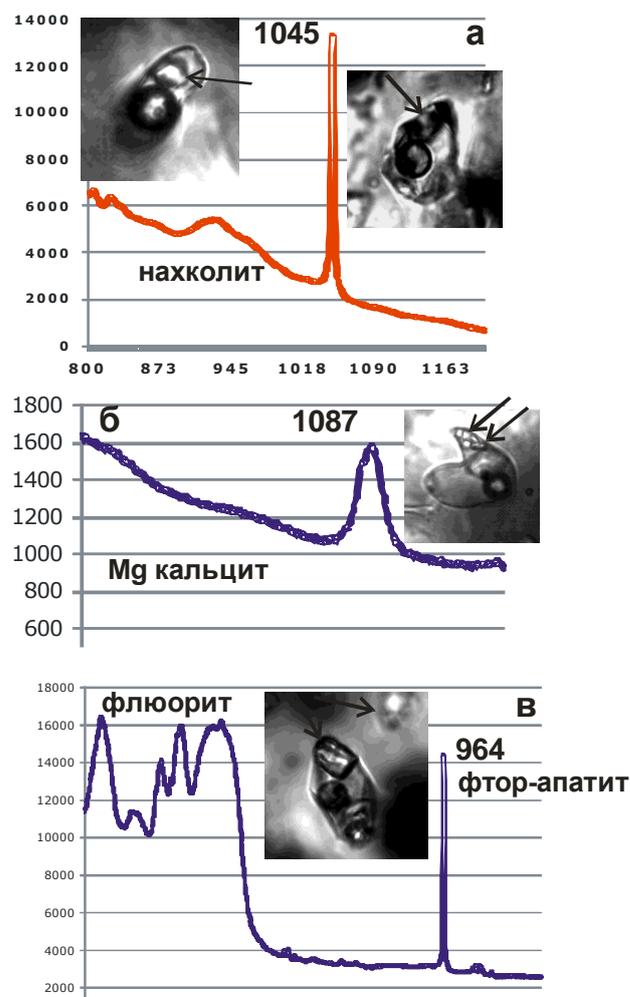


**Рисунок 15.** Диаграммы изотопных составов: а)  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  для карбонатных минералов относительно трендов смешения мантийного и осадочного карбонатного источников (Baumgartner, Valley, 2001). PIC – поле мантийных карбонатов по (Taylor et al., 1967). В правом углу диаграммы кривые известково-силикатной декарбонатизации в интервале температур 300–500 °C (Baumgartner, Valley, 2001); б)  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  для гидроксилсодержащих минералов скарнов и фторбериллиевых руд Ауникского месторождения. Источники флюидов из различных резервуаров Земли по (Sheppard, 1986).

Фигуративные точки изотопных составов кислорода и водорода, определенных непосредственно в бериллиевых минералах (бертрандите), попадают в поле первично-магматической воды на диаграмме  $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$  (рис.15 б). В некоторых ФВ, кроме нахколита (рис. 17а) присутствуют твердые фазы, представленные магниезальным кальцитом (рис. 17б) и фтор-апатитом (рис. 17в), которые, вероятнее всего, являются ксеногенными. Темная изотропная фаза вблизи газовых пузырей в ФВ из флюорита идентифицирована как углеродистое вещество (рис. 16).



**Рисунок 16.** КР-спектры газовых фаз (а, б) и углеродистого вещества (в) в ФВ.



**Рисунок 17.** КР-спектры минералов-узников в ФВ.

Термо-криометрическими методами установлено, что формирование ранней фенакит-флюоритовой ассоциации происходило из высокофтористых  $\text{CO}_2$ -содержащих растворов повышенной щелочности с соленостью  $\sim 10.5\text{-}12$  мас. % экв.  $\text{NaCl}$  в температурном интервале  $\sim 370 - 260^\circ \text{C}$  при давлениях от 1873 до 1248 бар. Более поздний флюорит и бертрандит формировались растворами с соленостью  $6.4\text{-}7.7$  мас. % экв.  $\text{NaCl}$  в интервале температур  $\sim 156 - 110^\circ \text{C}$  и давлений – 639 - 427 бар. 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. Повышенная щелочность рудообразующих растворов обусловила невысокую растворимость Be комплексов, что привело к низкому содержанию Be в рудах и относительно малому масштабу оруденения на месторождении.

## Заключение

В результате исследований, проводившихся в 2018 году по проекту «Фанерозойский магматизм и рудообразующие системы Саяно-Байкальской складчатой области: источники расплавов, флюидов, рудного вещества; процессы генерации и взаимодействия магм» получены следующие наиболее важные результаты.

1. В Западном Забайкалье установлены две разновидности комбинированных даек, внутреннее строение которых зависит от: а) пропорций калиевого и базитового компонентов в их составе; б) реологического состояния вмещающей среды (твердый субстрат с открытыми трещинами, или расплав разных стадий кристаллизации). Образование даек происходило путем внедрения магматической «эмульсии» - механической смеси калиевого и базитового расплавов. Время их образования (290-283 Ма, U-Pb) коррелирует с периодом становления Ангаро-Витимского батолита. Базитовый компонент даек образован за счет плавления обогащенного коровыми компонентами мантийного источника.

2. Установлен U-Pb изотопный возраст цирконов и петро-геохимически охарактеризованы гранитоиды конкудеро-мамаканского комплекса, развитые в осевой части Северо-Муйского хребта и бассейне р. Мамакан (северная часть Ангаро-Витимского батолита). Химический состав гранитоидов варьирует от граносиенитов, через умеренно-щелочные граниты до умеренно-щелочных лейкогранитов. Породы пересыщены глиноземом и относятся к высококалийной известково-щелочной серии. Их формирование охватывает интервал времени от 318 до 294 млн. лет, а в цирконах встречаются разновозрастные унаследованные ядра, широкого возрастного диапазона, указывающие на смешанный разновозрастный источник магм. Полученные данные указывают на то, что позднепалеозойские магматические процессы развивались синхронно на всей территории, занятой АВБ.

3. Установлен U-Pb (SHRIMP II, циркон) изотопный возраст нефелиновых сиенитов Сыннырского массива (289.5±3.2 млн. лет) коррелирующий с основным этапом щелочного магматизма Витимского плоскогорья и временем формирования АВБ. Изучен изотопный состав пород массива, свидетельствующий о древнекоровом источнике магм, что не характерно для позднепалеозойских щелочных пород Витимского плоскогорья.

4. Для Забайкалья установлен новый тип редкоземельного оруденения представленный существенно флюорит-бастнезитовой минеральной ассоциацией. Рудопроявления (Улан-Удэнское, Портовое, Смолина) приурочены к эрозионному окну кристаллических пород, перекрытых позднемезозойскими терригенными отложениями. Это существенно флюорит-бастнезитовые породы, содержащие повышенные количества

тетраферрифлогопита, монацита, сульфатных минералов (плюмбоярозит, глауберит). Изотопные характеристики и геохимические особенности пород близки к карбонатитам региона. Количество бастнезита, нередко превышающее 50%, изотопно-геохимические и структурно-текстурные особенности пород дают основание для выделения нового (флюорит-бастнезитового) типа редкоземельных карбонатитов (до 20-30 мас.% суммы легких РЗЭ).

5. Изотопно-геохимически охарактеризованы кальцитовые породы ряда редкометалльных, редкоземельных и золоторудных месторождений Забайкалья, изотопный составов кислорода и углерода которых указывают на глубинный источник углекислоты и, соответственно, на возможную принадлежность их к карбонатитам. Для ряда разноформационных месторождений флюорита (Забайкалье) напротив, установлено доминирование вод метеорного происхождения в составе рудообразующих флюидов.

6. На примере Ауникского F-Be месторождения, входящего в состав Западно-Забайкальской бериллиеносной провинции, изучены состав руд и рудообразующих растворов, условия формирования и определены источники Be оруденения, а также оценены главные факторы, ответственные за его формирование. Установлено, 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. Повышенная щелочность рудообразующих растворов обусловила невысокую растворимость Be комплексов, что привело к низкому содержанию Be в рудах и относительно малому масштабу оруденения на месторождении.

### **Список использованной литературы**

Будников С.В., Коваленко В.И., Антипин В.С. Новые данные о возрасте гранитоидов витимканского комплекса (Ангаро-Витимский батолит) // Доклады РАН. 1997. Т.353. №3. С. 375–378.

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.

Дорошкевич А.Г. Петрология карбонатитовых и карбонатсодержащих щелочных комплексов Западного Забайкалья: Автореф. дис.... д.г.-м.н. Улан-Удэ, 2013, 40 с.

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.

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.

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.

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.

Карта магматических формаций юга Сибири и Северной Монголии. Масштаб 1:1500000. М.: МинГео. 1989.

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.

Ласточкин Е.И., Рипп Г.С., Цыденова Д.С., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. Результаты изотопного изучения эпитермальных флюоритовых месторождений Западного Забайкалья (источники вещества и флюидов) // Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 41–53.

Рипп Г.С., Избродин И.А., Ласточкин Е.И., Рампилов М.О., Дорошкевич А.Г., Хромова Е.А. Новый тип редкоземельного оруденения в Западном Забайкалье // Отечественная геология. 2018. №3. С. 9-21.

Рипп Г.С., Ласточкин Е.И., Избродин И.А., Савченко А.А., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. Флюоритоносные комплексы Забайкалья (Связь с магматизмом, геохронология, источники вещества) // Материалы Всероссийской конференции с международным участием. «Петрология магматических и метаморфических комплексов. Выпуск 10. Томск, 2018. С. 305-311.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2009. 200 с.

Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ3-Mz магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-

спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 241–258.

Цыганков А.А. Позднепалеозойские гранитоиды Западного Забайкалья: последовательность формирования, источники магм, геодинамика // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 2. С. 197–227.

Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д. Геодинамика позднепалеозойского батолитообразования в Западном Забайкалье // Петрология. 2017. Т. 25. № 4. С. 395-418.

Цыганков А.А., Матуков Д.И., Бережная Н.Г., Ларионов А.Н., Посохов В.Ф., Цыренов Б.Ц., Хромов А.А., Сергеев С.А. Источники магм и этапы становления позднепалеозойских гранитоидов Западного Забайкалья // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 1. С. 156-180.

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.

Цыганков А. А., Хубанов В. Б., Буянтуев М. Д. Периодичность эндогенных событий Монголо Забайкальского сектора ЦАСП по данным U-Pb датирования цирконов из современных речных осадков // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции Геодинамика и минерагения Северной и Центральной Азии. Улан-Удэ: Изд-во БГУ. 2018. С. 380-383.

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.

Ярмолюк В.В., Будников С.В., Коваленко В.И., Антипин В.С., Горегляд А.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Козаков И.А., Ковач В.П., Яковлева З.С., Бережная Н.Г. Геохронология и геодинамическая позиция Ангаро-Витимского батолита // Петрология. 1997. Т.5. № 5. С. 451-466.

Ярмолюк В.В., Воронцов А.А., Коваленко В.И., Журавлев Д.З. Изотопная неоднородность источников позднепалеозойского внутриплитного магматизма Центральной Азии (на основе данных по изотопам Sr и Nd базальтов бимодальных ассоциаций) // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 6. С. 1137—1142.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Кузьмин М.И. Северо-Азиатский суперплюм в фанерозое: магматизм и глубинная геодинамика // Геотектоника. 2000. № 5. С. 1-27.

Baumgartner L.P., Valley J.W. (2001) Stable isotope transport and contact metamorphic fluid flow // *Rev. in Miner. and Geoch.* 2001. Vol. 43. P. 415-467.

Condie K.C. Source of Proterozoic mafic dyke swarms: constraints from Th/Ta and La/Yb ratios // *Precambrian research.* 1997. V. 81. P. 3-14.

Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // *Lithos.* V. 79. 2005. P. 491-504.

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. 152. P. 157—172.

Enclaves and granite petrology / Eds. J. Didier, B. Barbarin. Amsterdam: Elsevier. 1991. 625 p.

Halliday A. N., Lee D.-C., Tommasini S. Incompatible trace elements in OIB and MORB and source enrichment in the sub-oceanic mantle // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1995. V.133. P. 379-395.

Jahn B.M., Litvinovsky B.A., Zanzilevich A.N., Reichow M. Peralkaline granitoid magmatism in the Mongolian–Transbaikalian Belt: evolution, petrogenesis and tectonic significance// *Lithos.* 2009. V.113. P. 521–539.

Litvinovsky B.A., Tsygankov A.A., Jahn B.M., Katzir Y., Be'eri-Shlevin Origin and evolution of overlapping calc-alkaline and alkaline magmas: The Late Palaeozoic post-collisional igneous province of Transbaikalia (Russia) // *Lithos.* 2011. V. 125. P. 845-874.

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental // *Treatise on geochemistry.* Elsevier Ltd, 2003. P. 1–64.

Sheppard S.M.F. Characterization and isotopic variations in natural waters // *Review of Mineralogy.* 1986. V.16. P. 165-181.

Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / *Magmatism in the oceanic basins* (Saunders A.D., Norry M.J. Eds.) Geological Society Special Publications. 1989. V. 42. P. 313-345.

Taylor H.P., Frechen J., Degens E.T. Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher See District, West Germany and the Alno District, Sweden // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 1967. V. 31. P. 407-430.

Zhang L.C., Zhou X.H., Ying J.F. et al. Geochemistry and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes of Early Cretaceous basalts from the Great Xingan Range, NE China: Implication for their origin and mantle source characteristics // *Chemical Geology.* 2008. V. 256. P. 12-23.

**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 2018 год:*

1. Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R., Izokh A.E., Klemd R., Ponomarchuk A.V., Nikolaeva I.V., Vladykin N.V. Isotopic and trace element geochemistry of the Seligdar magnesiocarbonatites (South Yakutia, Russia): Insights regarding the mantle evolution beneath the Aldan-Stanovoy shield // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2018. 154. 3. 354–368.

**DOI: 10.1016/j.jseaes.2017.12.030 (WoS, Scopus) Q2**

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. 320-321. P. 567-582.

**DOI: 10.1016/j.lithos.2018.08.030 (WoS, Scopus) Q1**

3. Ripp G.S., Smirnova O.K., Izbrodin I.A., Lastochkin E.I., Rampilov M.O. Posokhov V.F. An Isotope Study of the Dzhida Mo–W Ore Field (Western Transbaikalia, Russia) // *Minerals*. 2018. N8 (546). P.1-15.

**DOI: 10.3390/min8120546 (WoS) Q2**

4. 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.

**DOI: 10.15372/GiG20180102 (WoS, Scopus) Q4**

5. Дамдинова Л.Б., Дамдинов Б.Б. Состав растворов, формировавших молибденовое оруденение Первомайского месторождения (Джидинское рудное поле, Юго-Западное забайкалье) // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*, 2018. Т.41. №4. С. 37–49.

**DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-4-37-49 (РИНЦ) V**

6. Дамдинова Л.Б., Дамдинов Б.Б., Брянский Н.В. Процессы формирования флюорит-лейкофан-мелинофан-эвидимитовых руд Ермаковского F-Be месторождения (Западное Забайкалье) // *Геология и Геофизика*. 2018. т. 59. № 8. С. 1271-1291.

**DOI: 10.15372/GiG20180810 (WoS, Scopus) Q4**

7. Дорошкевич А.Г., Избродин И.А., Рампилов М.О., Рипп Г.С., Ласточкин Е.А., Хубанов В.Б. Пермо-триасовый этап щелочного магматизма Витимского плоскогорья (Западное Забайкалье) // *Геология и геофизика*. 2018. Т.59 (9). С. 1325–1344.

**DOI: 10.1016/j.rgg.2018.08.001 (WoS, Scopus) Q4**

8. Ласточкин Е.И., Рипп Г.С., Орсов Д.А., Хубанов В.Б. О характере связи базитов и сиенитов Арсентьевского массива по данным геохронологических и изотопных

исследований // Литосфера. 2018. т. 18. № 4. С. 566–573. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-566-573 (РИНЦ) V

9. Рипп Г.С., Избродин И.А., Ласточкин Е.И., Рампилов М.О., Дорошкевич А.Г., Хромова Е.А. Новый тип редкоземельного оруденения в Западном Забайкалье // Отечественная геология. 2018. №3. С. 9-21. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-00017(РИНЦ) V

10. Савченко А.А., Рипп Г.С. Алюмофторидная и алюмофосфатная минерализация Жарчихинского молибденового месторождения (Западное Забайкалье) // Вестник ВГУ, Серия: Геология, 2018. № 1. С. 92-101. (РИНЦ) V

Руководитель проекта,

Цыганков А.А.  директор ГИН СО РАН, д.г.-м.н.

Тел: (3012)433955