Федеральное агентство научных организаций ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 551.2 (553.04,556.25) № гос. рег. АААА-А16-116122110027-2

Инв. № 2



# ОТЧЕТ за 2017 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 0340-2016-0002

**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 \_\_\_\_\_ А.А. Цыганков Д.Г.-М.Н., \_\_\_\_

Улан-Удэ, 2017

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы	Alla			
д.гм.н., директор	Allo	А.А. Цыганков		
д.гм.н., в.н.с (0.1)	Sof	А.Г.Дорошкевич		
д.гм.н., в.н.с (0.3)	Gapely	Д.И. Царев		
к.гм.н., зав. лаб.	that	И.А. Избродин		
к.гм.н., зав. лаб.		С.В. Канакин		
К.ГМ.Н., В.Н.С.	M	Г.С. Рипп		
к.гм.н., уч. сек.	- Coll	Т.Н. Анциферова		
К.ГМ.Н., С.Н.С.	Alle -	Т.Т. Врублевская		
к.гм.н., н.с.	XyJuuo6	В.Б. Хубанов		
к.гм.н., н.с.	Daug	Л.Б. Дамдинова		
к.г. <b>-</b> м.н., н.с.	CA-0	Е.И. Ласточкин		
к.г. <b>-</b> м.н., н.с.	allout	М.О. Рампилов		
к.гм.н., м.н.с.	Stopp	Д.Ц. Аюржанаева		
к.гм.н., м.н.с.	do y pur	Г.Н. Бурмакина		
К.ГМ.Н., М.Н.С.	Ruf	М.В. Рампилова		
С.Н.С.	tug-	В.Ф. Посохов		
м.н.с.	ph	М.Д. Буянтуев		
м.н.с.	Bomy	А.А. Батуева		
М.Н.С.	thing	Б.Ц. Цыренов		
вед. инж.	TLOCS-	В.Л. Посохова		
вед. инж.	Hugy	Е.Д. Утина		
вед. инж.	ple	В.А. Тюгашев		
инж. 1 категории	Forchelo	Н.Н. Егорова		
инж. 2 категории	Ar	Е.В. Ходырева		
инж. 1 категории	2 pm/	Е.А. Хромова		
инж. 2 категории	April	Н.А. Арефьева		
инж. 2 категории	Edyn	Е.Е. Дугданова		
инж.	XySaula	А.М. Хубанова		
аспирант, (лаб. 0.5)	( Jud	А.А. Савченко		
магистрант, (лаб. 0.5)	Fil	В.В. Бурдуковский		

## Содержание

	Стр.
Реферат	1
Нормативные ссылки	1
Определения, обозначения и сокращения	1
Введение	3
Основные результаты	4
Петрологический блок	
Геодинамические модели фанерозойского гранитоидного и щелочного магматизма	
СБСО [Отв. исп. д.гм.н. Цыганков А.А.]	4
Рудный блок	
Рудообразующий потенциал гранитоидных и щелочных комплексов СБСО и	
условия его реализации [Отв. исп. к.гм.н. Рипп Г.С.]	11
Вещественный состав и генетические взаимоотношения рудно-магматических	
систем, условия переноса рудного вещества гидротермальными растворами,	
факторы концентрированного рудоотложения. [Отв. исп. к.гм.н. Дамдинова	
Л.Б.Ј	14
Заключение	16
Список использованной литературы	17
Приложение А	20

### Реферат

Отчет 21 с., 10 рис., 29 ист., 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 северо-западной и северной частей Ангаро-Витимского батолита, включая бимодальный дайковый пояс Западного Забайкалья, фтор-бериллиевое (Ермаковское), апатит-магнетитовое (Северный Гурвунур), титано-магнетитовое (Арсентьевское) и молибденовое (Жарчихинское) месторождения Западного Забайкалья.

Цель работы геодинамическая реконструкция позднепалеозойского гранитоидного магматизма в Западном Забайкалье, геохронологические доказательства сосуществования салических и мафических составляющих на примере бимодального дайкового пояса и Арсентьевского титано-магнетитового месторождения. Установление условий формирования и источников вещества, участвовавших в формировании руд месторождений Северный Гурвунур, Жарчихинское и Ермаковское.

В процессе работы проводились детальные петрографические, минералогогеохимические, изотопно-геохронологические термобарогеохимические экспериментальные исследования.

В результате исследований получены новые U-Pb изотопно-геохронологические и Sm-Nd изотопные данные по северо-западной и северной краевым частям Ангаро-Витимского батолита, а также первые данные по изотопному составу Hf в цирконах из гранитоидов этих районов. Установлено, что позднепалеозойский гранитоидный магматизм в Западном Забайкалье развивался на гетерогенной по своей геологической и изотопной структуре палеопротерозойской континентальной коре, содержащей блоки (домены) более молодого неопротерозойского ювенильного материала.

С помощью U-Pb LA-ICP-MS датирования цирконов показан близкий возраст составляющих комбинированных салических И мафических тел в составе позднепалезойского дайкового Западного Забайкалья, подтверждает пояса что геологические признаки сосуществования и взаимодействия контрастных (мантийных и коровых) расплавов с образованием промежуточных (гибридных) магм.

На основе детальных изотопных и минералогических данных установлены различные источники молибденовой и алюмофторидной минерализации на Жарчихинском месторождении, а на апатит-магнетитовом месторождении Северный Гурвунур

предполагается магматический источник вещества. Образование флюорита на Ермаковском фтор-бериллиевом месторождении связано с воздействием постмагматических флюидов на относительно высокотемпературной и высокобарической флюидно-магматической стадии развития рудообразующей системы.

Ключевые слова: научный отчет, гранитоидный магматизм, изотопная геохимия, U-Pb изотопный возраст, источники магм и флюидов, редкометалльные месторождения, LA-ICP-MS, флюидные включения, Саяно-Байкальская складчатая область

## Нормативные ссылки

Настоящий отчет о НИР составлен с использованием Государственного стандарта ГОСТ 7.32-2001 в редакции 07.09.2005 г.

## Определения, обозначения и сокращения

АВБ – Ангаро-Витимский батолит

КПШ – калиевый полевой шпат

СБСО – Саяно-Байкальская складчатая область

ФВ – флюидные включения

Аb–альбит

AFSp – щелочной полевой шпат,

Ар – апатит

BSE – изображение в обратно-рассеянных электронах

CHUR – хондритовый универсальный резервуар

DM – истощенная мантия

Gl-стекло

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

пробоотбором

ММЕ – мафические включения

Mnz – монацит

Mag – магнетит

MORB - базальты океанических островов

MSWD - средний квадрат отклонений

OIB – островодужные базальты

Ort - ортоклаз

Qu – кварц,

SMOW – стандартная среднеокеаническая вода

U-Pb – уран-свинцовый метод изотопного датирования

### Введение

В результате выполнения двух предшествующих проектов был установлен позднепалеозойский возраст гранитоидов одного из крупнейших в мире Ангаро-Витимского гранитоидного батолита (АВБ). В его составе были выделены несколько комплексов, различающихся набором пород и геохимическими характеристиками, установлено синхронное формирование пространственно сопряженных разнотипных гранитоидов. Эти данные характеризуют позднепалеозойские гранитоиды юго-западных и частично центральных районов Западного Забайкалья. Вопрос экстраполяции сложившихся представлений о времени массового гранитообразования на северную часть гранитоидного ареала остается открытым. Более того, дискутируется вопрос об общей Забайкалья продолжительности позднепалеозойского цикла магматизма И его относительной интенсивности. Важным итогом выполненных исследование стало обоснование синхронности базитового, щелочного и гранитоидного магматизма поскольку все обсуждаемые геодинамические модели отводят ключевую роль в массовом гранитообразовании мантийным базитовым и щелочно-базитовым магмам. Характерной является особенностью гранитоидного магматизма рассматриваемого региона пространственно-временная ассоциация известково-щелочного магматизма (АВБ) и гранитоидов с которыми традиционно связывают многочисленные щелочных месторождения и рудопроявления Be, W, Мо в Забайкалье. Вместе с тем, новые изотопные полученные последние указывают более данные, В годы на сложные генетические/парагенетические взаимоотношения гранитоидных интрузий И редкометалльного оруденения.

Исследования, проводившиеся в 2017 году, являются логическим продолжением работ, выполнявшихся в предшествующие годы. При этом **основной целью** исследований в рамках настоящего проекта является установление этапов палеозойского магматизма, геохимических типов источников вещества (расплавов, рудоносных флюидов), реконструкция геодинамических обстановок, процессов генерации, взаимодействия и кристаллизации магм, условий переноса и концентрирования рудных компонентов.

3

## 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 плутонических и вулканогенных комплексов СБСО. [Отв. исп. д.г.-м.н. Цыганков А.А.]

1. Гранитоиды позднепалеозойской магматической провинции Западного Забайкалья занимают площадь порядка 200 тыс. км<sup>2</sup>. Среди них доминируют известково-щелочные граниты баргузинского комплекса, составляющие не менее 2/3 общего объема позднепалеозойских гранитоидов. Геологические и изотопно-геохимические данные указывают на их исключительно коровое происхождение. Относительно более поздние образования подразделяются на несколько магматических комплексов (чивыркуйский, зазинский, нижне-селенгинский) и варьируют по составу от лейкогранитов до кварцевых сиенитов и кварцевых монцонитов. Для всех этих комплексов характерны сопутствующие базиты в форме габбро-монцонитовых и габбро-сиенитовых массивов, синплутонических базитовых интрузий, комбинированных даек и мафических включений (Бурмакина, Цыганков, 2013; Цыганков и др., 2016). Изотопные характеристики гранитоидов сильно варьируют, но в среднем отличаются от баргузинских более радиогенным составом Nd и близким к мантийным значениям изотопным составом кислорода в ранних минералах. Все это позволяет рассматривать постбаргузинские гранитоиды в качестве корово-мантийных образований с сильно варьирующим в разных массивах соотношением корового и мантийного компонентов. Вместе с тем, интерпретация изотопных данных во многих случаях неоднозначна, поскольку значения єNd в гранитоидах и ассоциирующих базитах полностью перекрываются (Цыганков, 2014; Litvinovsky et al., 2011). Кроме того, изотопные данные имеются лишь по нескольким районам центральной части магматической провинции, что явно недостаточно для их экстраполяции на все Западное Забайкалье.

В 2017 году нами получены новые U-Pb изотопно-геохронологические и Sm-Nd изотопные данные по северо-западной и северной краевым частям Ангаро-Витимского батолита, а также первые данные по изотопному составу Hf в цирконах из гранитоидов этих районов. В совокупности с уже опубликованными данными (Цыганков, 2014; Цыганков и др., 2010; 2017; Litvinovsky et al., 2011) это позволяет вновь вернуться к проблеме источников салических магм одного из крупнейших в мире гранитоидных батолитов.

Относительно более ранними в составе АВБ являются авто- и аллохтонные биотитовые граниты баргузинского комплекса (325 – 290 млн. лет). Для них характерны разновеликие останцы метаморфического субстрата, особенно в автохтонной фации и изотопные характеристики, указывающие на образование магм за счет плавления древних коровых протолитов:  $\epsilon Nd_{(T)}$  от -12.8 до – 5.7,  $T_{DM2} = 1.6 - 2.15$  лет (рис. 1a). Следует подчеркнуть, что эти характеристики достаточно сильно варьируют даже в гранитоидах одного комплекса. Так, например, граниты хр. Улан-Бургасы (центральная часть батолита, баргузинский комплекс) ( $\epsilon Nd_{(T)} - 7.7 \div - 5.7, T_{DM2} = 1.52 - 1.7$  млрд. лет) заметно отличаются от таковых его северо-западной периферии ( $\epsilon Nd_{(T)} - 12.4 \div - 8.5$ ,  $T_{DM2} = 1.78 - 2.1$  млрд. лет), что указывает на вещественно-временную гетерогенность палео-мезопротерозойского корового протолита. Более того, в одной из проб, отобранной на северо-восточном побережье оз. Байкал, установлено положительное значение  $\epsilon Nd_{(T)} = 0.18$  и заметно более молодой модельный возраст – 1.06 млрд. лет. Изотопный состав Hf в цирконах из этой пробы (рис. 1б) имеет еще более высокое положительное значение (2.58) при близком модельном возрасте (0.98 млрд. лет). Судя по этим данным источником гранитных магм в данном случае была более молодая (начало неопротерозоя) существенно ювенильная кора, точнее относительно небольшой домен (например, крупная базитовая интрузия) в структуре доминирующей древней коры. В целом, первые данные по изотопному составу Hf в цирконах указывают на значительно более сложную структуру коры, чем это представлялось ранее (Ярмолюк и др., 1999). Так в одних пробах отмечается очень хорошая корреляция Nd и Hf изотопных характеристик, в других эта корреляция практически отсутствует, например, отрицательные значения єНf<sub>(T)</sub> зафиксированы на уровне -1, при єNd<sub>(T)</sub> - 10.5 ÷ - 8.5. Можно предположить, что подобное сочетание «валового» изотопного состава пород и изотопного состава цирконов отражает гетерогенность корового источника гранитных магм.

Типоморфными породами чивыркуйского комплекса (305 - 285 млн. лет) являются кварцевые сиениты, часто сопровождающиеся комбинированными дайками и мафическими включениями (MME), являющимися прямым геологическим свидетельством смешения магм. В чивыркуйских кварцевых сиенитах, также, как и в баргузинских гранитах, четко проявлена пространственная изотопная гетерогеность: если для хр. Улан-Бургасы (центральная часть ABE) характерные значения єNd<sub>(T)</sub> (рис. 1а) варьируют в диапазоне -7.2  $\div$  -3,  $T_{DM2} = 1.3 - 1.6$  млрд. лет, то в северо-западной части батолита єNd<sub>(T)</sub> составляет -12.7  $\div$  -11.3, при более древнем модельном возрасте: 2.01 – 2.1 млрд. лет. Изотопный состав Hf<sub>Zrn</sub> определен только в нескольких пробах северо-западной части батолита (северо-восточное

побережье оз. Байкал) и в целом коррелирует с данными по неодимовой изотопии пород (рис. 16).



**Рисунок 1.** Зависимость величины  $\varepsilon Nd(T)$  от возраста для позднепалеозойских (Ангаро-Витимский батолит) и раннемезозойских гранитоидов Западного Забайкалья **(a)** и диаграмма корреляции  $\varepsilon Nd_{(T)}$  и  $\varepsilon Hf_{(T)}$  в гранитоидах баргузинского, чивыркуйского и зазинского комплексов ABБ **(б)**. Использованы данные из (Цыганков и др., 2010; 2014; 2017; Litvinovsky et al., 2011).

Зазинский интрузивный комплекс (305 – 285 млн. лет) представлен в основном субщелочными лейкогранитами и кварцевыми сиенитами, для которых также характерны ММЕ, комбинированные дайки и синплутонические базитовые интрузии. Масс-балансовые расчеты показывают, что лейкограниты зазинского комплекса могли образоваться в результате дифференциации гибридного (кварцевосиенитового) расплава, являющегося продуктом смешения коровых магм баргузинского типа с базитами, представляющими ранние фазы синхронного чивыркуйского комплекса. Очевидно, что пропорции смешения могут быть разными в различных плутонах, что на наш взгляд и отражается в изотопном составе пород. Так для Улекчинского массива, расположенном в Юго-Западном Забайкалье,  $\epsilon Nd_{(T)}$  варьирует от 0.6 до 1.6,  $T_{DM2} = 1.02 - 0.95$  млрд лет. Изотопный состав ММЕ находится в этих же пределах, тогда как сходный по облику ксенолит монцонитов имеет U-Pb изотопный возраст 800 млн. лет,  $\epsilon Nd_{(T)} = 8.4$ ,  $T_{DM2} = 788$  млрд. лет. Примечательно, что двухстадийный модельный возраст ксенолита достаточно близок в модельному возрасту протолита гранитоидов Улекчинского Можно массива. предположить, что монцониты, представленные «древним» ксенолитом, были одним из источников магм (ювенильный компонент), сформировавших Улекчинский массив. Изотопный состав Nd зазинских гранитов хр. Улан-Бургасы практически перекрывается с породами чивыркуйского комплекса этого района, однако в некоторых пробах

фиксируются более низкие отрицательные значения (-9.4 ÷ -13.6) при соответственно более древнем модельном возрасте. В целом, имеющиеся данные указывают на то, что среди лейкогранитов зазинского комплекса есть как дифференциаты гибридных магм, так и вероятно дифференциаты коровых расплавов баргузинского типа.

Щелочно-гранитоидная ассоциация Западного Забайкалья традиционно подразделяется на два этапа: позднепермский (раннекуналейский комплекс, 280 - 273 млн. лет) и позднетриасовый (позднекуналейский комплекс, 230 - 210 млн. лет). Однотипные породы этих комплексов различаются лишь изотопными характеристиками: средние значения  $\epsilon Nd_{(T)}$  и  $T_{DM2}$  для ранне- и позднекуналейского комплексов составляют 2.9, 1.3 млрд. лет и 1.3, 899 млрд. лет. Кроме того, нами получены первые данные по изотопному составу пород и цирконов Шербахтинского массива, U-Pb возраст которого составляет 250 млн. лет. Изотопный состав Nd пород этого массива почти не отличается от характерных значений раннекуналейского комплекса ( $\epsilon Nd_{(T)} = -2.4 \div -2.9$ ,  $T_{DM2} = 1.28 - 1.24$  млрд. лет), а изотопный состав Hf в цирконах ( $\epsilon Hf_{(T)} = 0.57 \div 1.12$ ,  $T_{DM2} = 1.02 - 1.05$ ) ближе к позднекуналейским гранитоидам (рис. 16).

Таким образом, на примере северо-западной и северной частей Ангаро-Витимского батолита (АВБ), с учетом ранее полученных данных установлено, что позднепалеозойский гранитоидный магматизм в Западном Забайкалье развивался на гетерогенной по своей геологической и изотопной структуре палеопротерозойской континентальной коре, содержащей блоки (домены) более молодого неопротерозойского ювенильного материала. 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.

Закономерное (во времени) изменение изотопного состава гранитоидов в сторону увеличения доли ювенильного компонента в их составе, с одной стороны указывает на вовлечение в процесс плавления «молодых» ювенильных доменов, с другой – отражает процессы смешения коровых и мантийных магм, что имеет и свое геологическое выражение. В параметрах изотопного состава Nd геохимический эффект смешения маскируется особенностями изотопного состава базитов, с характерными отрицательными значениями єNd<sub>(T)</sub>.

2. Гусиноозерская (щелочно-мафитовая) лампрофировая дайка простирается параллельно борту юрско-меловой рифтогенной Гусиннозерской впадины в центральной части Западного Забайкалья и фиксирует меловую стадию тектонического растяжения. В формировании дайки выделено две основные фазы становления. В первую фазу внедрились

серые полевошпатовые (шошонитовые) лампрофиры с мелко- и среднезернистой основной массой, занимающие центральную и северо-восточную части дайки. Вторая фаза внедрения представлена чёрными тонкозернистыми лампрофирами, они прорывают первую фазу в виде жил мощностью до 70 см и полностью слагают юго-западное окончание Гусиноозерской дайки. Породы приконтактовой зоны первой фазы в юго-западной половине со стороны висячего крыла дайки содержат гранитные ксенолиты, испытавшие частичное плавление. Среди ксенолитов выявлено два субстрата, претерпевших плавление: 1) плагиоклаз и кварц и 2) щелочной полевой шпат и кварц. Продукты плавления представляют собой микрофельзитовые и микрогранофировые оторочки мощностью в первые миллиметры вокруг гранитных ксенолитов. Во внутренних частях ксенолитов на границе кварца и полевых шпатов наблюдается ультракислое стекло. Отличительной особенностью новообразованных расплавов, независимо от состава протолитового субстрата, является их повышенная калиевость с отношением K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O≥2. На основе сопоставления составов производных контактового плавления с экспериментальными данными (рис. 2) показано, что плавление происходило в присутствии щелочно-хлоридного и/или щелочно-углекислого флюида, выделявшегося из кристаллизующейся вмещающей щелочно-мафической магмы. О флюидонасыщенности магматической системы говорит наличие фенокристаллов биотита и амфибола, а также отсутствие плагиоклаза среди вкрапленников вмещающих лампрофиров, что указывает на обобщенность мафической магмы водой (не менее 4-6 мас.%). О заметной роли галогенов и углекислоты среди летучих компонентов свидетельствуют содержания фтора и хлора в составе апатита и интерстиционный карбонат в лампрофирах, а также карбонат среди продуктов плавления ксенолитов. Следует добавить, что поскольку мафическая магма была щелочной, то отделившиеся растворы, скорее всего, также были обогащены щелочами.

Полученные результаты дают основания полагать, что наиболее благоприятные условия возникновения ультракалиевых магм, формирующих малые интрузии, – это плавление гранитоидных пород под влиянием свободного щелочно-хлоридного и/или щелочно-углекислого флюида в надапикальных частях промежуточных камер с флюидообогощенными щелочно-мафическими магмами. В геотектоническом аспекте такие камеры возможны во внутриконтинентальных обстановках растяжения и на средневерхнекоровых уровнях глубины, где наиболее вероятно декомпрессионное флюидоотделение.

8



**Рисунок 2.** Фотография зоны плавления гранитного ксенолита Гусиноозерской дайки (A) и положение фигуративных точек производных плавления гранитных ксенолитов на диаграмме Ab-Qu-Ort (Б).

А) цифровое изображение получено с помощью растрового электронного микроскопа в режиме обратно-рассеянных электронов (BSE). AFSp — щелочной полевой шпат, Qu — кварц, Gl – стекло.

Б) использованы CIPW-нормированные составы продуктов плавления (стекол и микрофельзитов).

1, 2 – поля составов онгонитов (1) и эльванов (2) по [Antipin et al., 2002; Vladimirov et al., 2007]; 3–5 – вариации составов полевых шпатов гранитных ксенолитов на оси Ab–Ort: плагиоклазов из плагиогранитов (3), калий-натровых полевых шпатов из щелочнополевошпатовых гранитов (4), новообразованных полевых шпатов (5); 6 – состав гаплогранита по [Tuttle, Bowen, 1958]; 7–10 – составы производных плавления гранитных ксенолитов: стекла из плагиогранита (7), микрофельзита из плагиогранита (8), стекла из щелочно-полевошпатового гранита (9) и микрофельзита из щелочно-полевошпатового гранита (10). Положения средних составов полевых шпатов указаны точками пересечения пунктирных линий, исходящих из вершины Qu: Pl – средний состав плагиоклаза из плагиогранита; AFSp – средний состав калий-натрового полевого шпата из щелочнополевошпатового гранита; NFSp – средний состав новообразованного щелочного полевого шпата. Стрелками и римскими иифрами указаны тренды вариаций составов расплавовминимумов по экспериментальным данным: I и II – по [Johannes, Holtz, 1996] при участии H2O (I), H2O-CO2 (II) и различном давлении; III и IV – по [Aranovich et al., 2013] при H2O-NaCl-KCl при 10 кбар (III) и 6 кбар (IV); V – расчетный по [Sokolova, Smirnov, 2014] при H2O-KCl; VI – тренд суммированных данных из [Bai, Koster van Groos, 1999] при H2O-KCl, H2O-NaCl-KCl, H2O-Na2CO3 и H2O-Na2CO3-K2CO3 и давлении от 1 до 4 кбар.

3. В центральной части Западного Забайкалья имеют распространение многочисленные дайки. Они образуют бимодальный дайковый пояс, который простирается более чем на 200 км от устья р. Хилок до верховьев р. Она, при общей ширине около 40 км. Дайки на разных участках пояса представлены скоплениями субпараллельных тел с северовосточным (50-70°) генеральным простиранием, нередко пакетированных, т.е. настолько

близко расположенных друг к другу, что вмещающие породы слагают лишь узкие промежутки между ними и по своей ширине сопоставимы с мощностью даек (от первых метров до 15-10 метров). В среднем плотность распространения дайковых тел составляет 10-20% от объема всех пород, до сотни тел на километр, но может достигать 70-80%; нередко наблюдаются комплексы «дайка в дайке». Соотношение мафических и салических даек варьирует на разных участках, но в целом преобладают салические разности. Подобное геологическое строение дайкового пояса свидетельствует об условиях растяжения земной коры на момент его формирования.

В пределах пояса повсеместно, но редко распространены комбинированные (сложные) дайки. Среди них выделено два типа. Первый тип – это дайки с салической краевой частью и мафической центральной, представляющей собой пиллоу-подобные или неправильной формы базальтовые обособления (глобулы). Их образование обусловлено механическим смешением разнотемпературных и разновязких магм; 2) дайки с мафическими (базальтовыми) краевыми зонами и салической, преобладающей по объему, центральной частью. Между этими зонами наблюдается постепенный переход с породами промежуточного состава, что предполагает интенсивное взаимодействие (химическое смешение) контрастных магм (рис. 3).



**Рисунок 3.** Схематическая зарисовка строения комбинированной дайки с признаками химического смешения контрастных магм, Билютинский карьер.

1 — трахибазальтовая краевая зона; 2—5 — переходная (гибридная) зона: 2 — трахиандезибазальт, 3 — трахиандезит, 4 — трахидацит, 5 — трахириодацит; 6 — трахириолитовая центральная зона дайки; 7 — разрыв разреза. Пунктирными линиями показан постепенный переход между породами различного состава. Кружочками и

подписями обозначены места отбора, номера проб и результаты их U-Pb датирования. Внизу – фотографии переходных зон.

С помощью U-Pb LA-ICP-MS датирования цирконов показан близкий возраст мафических составляющих комбинированных салических И тел в составе позднепалезойского дайкового Западного Забайкалья, пояса что подтверждает геологические признаки сосуществования и взаимодействия контрастных (мантийных и коровых) расплавов с образованием промежуточных (гибридных) магм. Кроме того, полученные возраста (290-280 млн лет) становления дайкового пояса в совокупности с данными о возрасте ассоциирующих гранитоидов повышенной щелочности указывают на развитие рифтогенеза на заключительном этапе позднепалеозойского гранитоидного магматизма Западного Забайкалья.

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. Punn Г.С.]

1. Соотношение магматических пород, образовавшихся из различных источников и установление связи с ними рудной минерализации проводилось на фтор-бериллиевых (Ермаковское, Ауник, Амандак), апатит-магнетитовом (Северный Гурвунур), титаномагнетитовом (Арснтьевское) и молибденовом (Жарчихинское) месторождениях.

На молибденовом месторождении Жарчиха установлено телескопирование минерализации различных формационных типов (Савченко и др., в печати). Здесь вместе с молибденовым оруденением присутствует флюорит-бериллиевая и алюмо-фторидная ассоциации. Первая минерализация (бертрандит, фенакит, КПШ, кварц) по ряду признаков идентична с распространенной в регионе флюорит-фенакит-бертрандитовым оруденением, имеющим возраст по (Лыхин и др., 2003) 224-226 млн. лет, связанной с субщелочным куналейским комплексом. Присутствие алюмо-фторидной минерализации (прозопит, ральстонит, геарксутит, жарчихит,) так же, как и фтор-бериллиевой не характерной для месторождений молибденовой формации, скорее всего, было обусловлено проявлением здесь щелочного магматизма. Установлено, что дайки щелочных сиенитов и алюмофторидная минерализация сформировались после молибденитовых И кварцмолибденитовых прожилков. Дайки сиенитов содержат 14-15% суммы щелочей, в них присутствует анортоклаз, биотит, титанит и щелочные амфиболы. Последние характеризуются повышенными содержаниями (2-4 мас. %) фтора, а апатит также и элементами. В некоторых прожилках гидротермалитов, редкоземельными распространенных на месторождении присутствует арфведсонит, а с алюмофторидной связана алюмофосфатная минерализация ассоциацией тесно (гояцит-флоренситгорсейксит) обогащенная редкоземельными элементами. Вместе с дистанцированностью изотопных составов кислорода это свидетельствует (рис. 4) о различных источниках молибденовой и алюмофторидной минерализации.

	Vnony		
Гранит	кварц		
	КПШ	н	
Рудная	Кварц		H <b>BH</b> -++++
стадия			
Пострудная стадия	Ральстонит	Н	
	Прозопит	Н	
	Каолинит	Н	
		-8 -6 -4 -2 0 2 4 δ <sup>18</sup> Ο ye	6 8 10 12

Рисунок 4. Распределение изотопного состава кислорода в минералах Жарчихинского месторождения.

Геохронологическими исследованиями на Арсентьевском титано-магнетитовом месторождении установлен временной разрыв формирования базитов (279.5 млн. лет) и сиенитов (биотитовых и щелочно-полевошпатовых – 226-229 млн. лет), что одновременно с резко различными между ними геохимическими характеристиками, не позволяет объединить их в выделенную ранее (Богатиков, 1966) в единую габбро-сиенитовую формацию (Ласточкин и др., в печати). На графиках нормированных содержаний РЗЭ в сиенитах (рис. 5) в отличие от анортозитов, фиксируется отчетливая отрицательная европиевая аномалия. Отношения Eu/Eu<sup>\*</sup> в анортозитах составила 1,84-5, в сиенитах 0,68-0,70.



**Рисунок. 5.** Распределение редкоземельных элементов в породах Арсентьевского месторождения.

На основании детальных исследований впервые для Сибири доказана принадлежность апатитмагнетитовых руд месторождения

<sup>0.1</sup> La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu Северный Гурвунур (Западное Забайкалье) к типу Кируна (месторождения железорудной провинции Кируна в северной Швеции для которых обосновывается магматический генезис) (Рипп и др., 2017). U-Pb возраст (LA-ICP-MS, Университет Тасмании, Австралия), определенный по апатиту –

422±20 млн. лет (рис. 6), указывает существование ранее неизвестного этапа рудообразования в Забайкалье и существенно повышает перспективы региона на обнаружение апатит-магнетитовых руд. Ранее в исследуемом регионе отмечались андезиодацитовые породы с возрастом 470–466 млн. лет (Руженцев и др., 2012).

В результате наложенного метаморфизма (293.3±2.5 млн. лет, <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar, флогопит) фиксируется перекристаллизация руд, рафинирование апатита от редкоземельных элементов с выделением монацита (рис. 6) и ксенотима. Этот процесс близок к периоду формирования позднепалеозойских гранитов распространенных вокруг Озернинского останца осадочно-вулканогенных пород.



**Рисунок 6.** Характер выделений апатита (Ap) и монацита (Mnz) в рудах Северо-Гурвунурского месторождения. Верхняя часть - порфировые выделения апатита в магнетитовой руде (фото керна). Нижняя часть - монацит (Mnz) за пределами рафинированного апатита (Ap), Mag - магнетит (фото в обратно-рассеянных электронах) и диаграмма Тера-Вассербурга с конкордией для фенокристов апатита.

Изотопный состав кислорода в магнетитах Северного Гурвунура близок к магнетитам месторождений Кируна, Мейшан, Эль Лако, Грангесберг, Эсфорд для которых обосновывается глубинный источник вещества. На изученном месторождении изотопные составы кислорода апатита и магнетита и их гомогенность в разрезе всей рудной залежи подобны магматическим телам и также близки к мантийной метке (рис. 7). Вычисленная температура апатит-магнетитового равновесия (Valley, 2003) 620–800 °C в совокупности со

структурно-текстурными особенности руд также свидетельствует о магматическом происхождении руд.

Рисунок 7. Изотопный кислорода состав в магнетитах месторождений типа Кируны. Затенено поле магматических магнетитов no (Heimann et al., 2008: 1967. Taylor, 1997: Weis. 2013).



Вещественный состав и генетические взаимоотношения рудно-магматических систем, условия переноса рудного вещества гидротермальными растворами, факторы концентрированного рудоотложения. [Отв. исп. к.г.-м.н. Дамдинова Л.Б.]

Продолжено изучение условий формирования основных рудных зон Ермаковского F-Be месторождения с целью уточнения P, T-параметров. Согласно проведенным термобарогеохимическим исследованиям, определены интервалы температур частичной гомогенизации флюидных включений (ФВ) (рис. 8а).



**Рисунок 8.** а) - интервалы температур частичной гомогенизации флюидных включений из флюорита четырех рудных зон Ермаковского месторождения; б) – КР-спектр дочерней фазы кальцита во флюидном включении из флюорита.

Все первичные ФВ содержат дочерний кристалл кальцита, идентифицированный методом КР-спектроскопии (рис 8б), не растворяющийся в момент растворения газовой фазы (рис. 9).



Рисунок 9. Частичная гомогенизация (растворение газового пузыря) первичного ФВ во флюорите из руд Ермаковского месторождения.

Истинные температуры захвата включений, в таком случае, должны быть выше измеренных на неизвестную величину. Кальцит (CaCO<sub>3</sub>) является труднорастворимой солью второго типа и, согласно экспериментальным данным, в низкобарических условиях, растворимость кальцита при повышении температуры водно-солевого раствора, уменьшается.

Только при давлении в 3 кбар (рис. 10)
 наблюдается незначительное
 повышение растворимости CaCO<sub>3</sub> в
 воде с увеличением температуры.
 Заметное повышение растворимости
 установлено в условиях более 6 кбар.

**Рисунок 10.** Зависимость логарифма растворимости кальцита (т<sub>са</sub>соз) от температуры и давления по экспериментальным данным (Caciagli, Manning, 2003).



Отсюда можно сделать вывод о том, что давление в момент захвата ФВ, содержащих дочерний кальцит составляло  $\geq 3$  кбар, что говорит о высокобарических и, соответственно, высокотемпературных условиях (T $\geq$ 450 °C) кристаллизации раннего флюорита. Увеличение растворимости CaCO<sub>3</sub> происходит при температурах выше ~450-500°C. Следовательно, отложение флюорита связано с воздействием постмагматических флюидов на относительно высокотемпературной и высокобарической флюидно-магматической стадии развития рудообразующей системы.

Полученные Р-Т условия формирования Ве руд месторождения свидетельствуют о широком диапазоне условий рудоотложения, где ранние флюорит-фенакитовые ассоциации отлагались в высокотемпературных (480 - 650°С) и высокобарических условиях (>3 кбар).

### Заключение

В результате исследований, проводившихся в 2017 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. Посредством Sm-Nd (породы) и Lu-Hf (цирконы) изотопных исследований гранитоидов северо-западной и северной части Ангаро-Витимского батолита (ABБ), 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 одновозрастных 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.

2. 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-полевошпатгранитный и плагиогранитный состав. Независимо от их состава продукты плавления представляют собой ультракислое стекло с высокой калиевой щелочностью отношение K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O в котором ≥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. 3. 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» (Wiebe, Ulrich, 1997) позднепалезойского 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.

4. 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) месторожденя, определенный определенный по апатиту, составляет 422±20 млн. лет, что указывает на существование ранее неизвестного этапа рудообразования в Забайкалье. Вычисленная температура апатит-магнетитового равновесия (Valley, 2003) - 620-800 °C свидетельствует о магматическом происхождении руд. Метаморфизм, имевшего место 293 млн. лет назад (<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar, флогопит), привел к перекристаллизации руд, рафинированию апатита от примесей с выделением монацита и ксенотима.

5. 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 ≥3 кбар, что говорит о высокобарических и, соответственно, высокотемпературных условиях (T≥450°C) кристаллизации раннего флюорита.

### Список использованной литературы

3. Богатиков О.А. Петрология и металлогения габбро-сиенитовых комплексов Алтае-Саянской области. 1966. М.: Наука. 365 С.

4. Бурмакина Г.Н., Цыганков А.А. Мафические включения в позднепалеозойских гранитоидах Западного Забайкалья, Бургасский кварц-сиенитовый массив: состав, петрогенезис // Петрология. 2013. Т.21. № 3. С. 309-334.

5. Владимиров А.Г., Анникова И.Ю., Антипин В.С. Онгонит-эльвановый магматизм Южной Сибири // Литосфера. 2007. № 4. С. 21-40.

17

6. Лыхин Д.А., Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Рипп Г.С. Возраст рудоформирующего магматизма месторождения Ауник, Западно-Забайкальская бериллиевая провинция // Доклады академии наук. 2003. Т. 392. № 7. С. 990-995.

7. Рипп Г.С., Ходырева Е.В., Избродин И.А., Рампилов М.О., Ласточкин Е.И., Посохов В.Ф. Генетическая природа апатит-магнетитовых руд Северо-Гурвунурского месторождения (Западное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. Т. 59. № 5. 2017. С. 419-433.

8. Руженцев С.В., Минина О.Р., Некрасов Г.Е., Аристов В.А., Голионко Б.Г., Доронина Н.А., Лыхин Д.А. Байкало-Витимская складчатая система: строение и геодинамическая эволюция // Геотектоника. 2012. № 2. С. 3-28.

9. 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.
 № 4. С. 395-418.

11. 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.

12. 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.

13. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П., Будников С.В., Козаков И.К., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. Nd-изотопная систематика коровых магматических протолитов Западного Забайкалья и проблема рифейского корообразования в Центральной Азии // Геотектоника. 1999. № 4. С. 3-20.

14. Antipin V.S., Halls C., Mitichkin M.A., Scott P., Kuznetsov A.N. Elvans of Cornwall (England) and Southern Siberia as subvolcanic counterparts of subalkalic rare metal granites // Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics). 2002. V.43. № 9. P. 847-857.

15. Aranovich L.Y., Newton R.C., Manning C.E., 2013. Brine-assisted anatexis: Experimental melting in the system haplogranite–H<sub>2</sub>O–NaCl–KCl at deep-crustal conditions // Earth and Planetary Science Letters. 2013. V. 374. P. 111-120.

16. Bai T.B., Koster Van Groos A.F. The distribution of Na, K, Rb, Sr, Al, Ge, Cu, W, Mo, La, and Ce between granitic melts and coexisting aqueous fluids // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1999. V. 63 (7–8). P. 1117-1131.

17. Caciagli N.C., Manning C.E. The solubility of calcite in water at 6-16 kbar and 500-800 °C // Contribution to mineralogy and petrology 2003. № 146. 275-285

18. Heimann A., Beard B.L., Johnson C.M. The role of volatile exsolution and subsolidus fluid/rock interactions in producing high 56Fe/54Fe ratios in siliceous igneous rocks // Geochimica et cosmochimica acta. 2008. V. 72. P. 4379-4396.

19. Johannes W., Holtz F. Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks. Springer, Heidelberg. 1996. 335 P.

20. Jonsson E., Troll V.R., Hogdahl K., Harris A. Magmatic origin of giant "Kiruna-type" apatite iron-oxide ores in Central Sweden // Scientific reports. 2013. V. 3. P. 1644-1645.

21. Litvinovsky B.A., Tsygankov A.A., Jahn B.M., Katzir Y., Be'eri-Shlevin Y. Origin and evolution of overlapping calc-alkaline and alksline magmas: The Late Paleozoic post-collisionaligneos province Transbaikalia // Lithos. 2011. V. 125. P. 845-874.

22. Nystrom J.O., Billstrom K., Henriquez F. Oxygen isotope composition of magnetite in iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden, GFF. 2008. V. 130. №. 4. P. 177-188.

23. Taylor H.P. Oxygen isotope studies of hydrothermal mineral deposits. 1967. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. Barnes, H.L., Ed., New York: Holt, Rinehart and Winstone. P. 109–142.

24. Taylor H.P. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits, in Barnes, H.L., ed. 1997. Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3rd edition: New York. John Wiley & Sons. P. 229–302.

25. Sokolova E.N., Smirnov S.Z., Astrelina E.I., Annikova I.Yu., Vladimirov A.G., Kotler P.D. Ongonite–elvan magmas of the Kalguty ore-magmatic system (Gorny Altai): composition, fluid regime, and genesis // Russian Geology and Geophysics. 2011. V. 52. № 11. P. 1378-1400.

26. Tuttle O.F., Bowen N.L. Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>–KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O // Geological Society of America Memoirs. 1958. V. 74. 153 P.

27. Valley J.W. Oxygen isotopes in zircon, Hanchar J.M. and Hoskin P.W.O., Eds., Zircon. Reviews in mineralogy and geochemistry. 2003. V. 53. P. 343-385.

28. Weis F. Oxygen and Iron Isotope Systematic of the Yragesberg Mining District (GMD), Sentral Sweden, M.S. Thesis. 2013. Uppsala: Sweden. Uppsala University.

29. Yu, J., Che, L., Wang, T. Alteration, oxygen isotope and fluid inclusion study of the Meishan iron oxide-apatite deposit, SE, China // Mineralium deposita. 2015. V. 50. P. 847-869.

**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 2017 год:

 Doroshkevich A.G., Veksler I.V., Klemd R., Khromova E.A., Izbrodin I.A. Traceelement composition of minerals and rocks in the Belaya Zima carbonatite complex (Russia): Implications for the mechanisms of magma evolution and carbonatite formation // Lithos. 2017.
 V. 284. p. 91-108 DOI: 10.1016/j.lithos.2017.04.003

2. Litvinovsky, B.A., Zanvilevich, A.N., Wickham, S.M., Jahn, B.M., Vapnik, Y. **Kanakin, S.V.** Karmanov N.S. Composite dikes in four successive granitoid suites from Transbaikalia, Russia: The effect of silicic and mafic magma interaction on the chemical features of granitoids // Journal of Asian earth sciences. 2017. V. 136. p. 16-39. DOI: 10.1016/j.jseaes.2016.12.037

3. Sharygin V.V., **Doroshkevich A.G.** Mineralogy of Secondary Olivine-hosted Inclusions in Calcite Carbonatites of the Belaya Zima Alkaline Complex, Eastern Sayan, Russia: Evidence for Late-magmatic Na-Ca-rich Carbonate Composition // Journal of the Geological Society of India. 2017. V.90(11). P.524-530. DOI: 10.1007/s12594-017-0748-y

4. Буянтуев М.Д., Хубанов В.Б., Врублевская Т.Т. U-Pb LA-ICP-MS датирование цирконов из субвулканитов бимодальной дайковой серии Западного Забайкалья: методика, свидетельства позднепалеозойского растяжения земной коры // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 369-384. DOI: 10.5800/GT-2017-8-2-0246

5. Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Яковлев В.А., Травин А.В., Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н. Термохронология минглинг-даек Западного Сангилена (ЮВ Тува): свидетельства развала коллизионной системы на Северо-Западной окраине Тувино-Монгольского массива // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Том 8. № 2. С. 283-310. DOI: 10.5800/GT-2017-8-2-0242

6. 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. DOI:10.1016/j.rgg.2017.07.002

7. Рампилов М. О., Рипп Г. С., Избродин И. А., Ласточкин Е. И., Посохов В. Ф. Проблема источников флюидов Оротского бериллиевого месторождения (Западное Забайкалье) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых.. 2017. №1. С. 42-51. http://journals.istu.edu/izvestia\_geology/journals/2017/01/articles/03

8. Рампилов М.О., Рипп Г.С., Ласточкин Е.И., Избродин И.А. Мафические включения в аплитах Ошурковского массива (Западное Забайкалье) // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Том 8. № 2. С. 269-281. DOI: 10.5800/GT-2017-8-2-0241

9. Рипп Г.С, Ходырева Е.В., Избродин И.А., Рампилов М.О., Ласточкин Е.И., Посохов В.Ф. Генетическая природа апатит-магнетитовых руд Северо-Гурвунурского месторождения (Западное Забайкалье) // Геология Рудных месторождений Т.59. №5. С. 72-86. DOI: 10.1134/S1075701517050051

10. Хубанов В.Б., Врублевская Т.Т., Цыганков А.А., Владимиров А.Г., Буянтуев М.Д., Соколова Е.Н., Посохов В.Ф., Хромова Е.А. Условия плавления гранитоидных ксенолитов в контакте со щелочно-базитовой магмой (Гусиноозёрская дайка, Западное Забайкалье): к проблеме происхождения ультракалиевых кислых расплавов // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 347-368. DOI: 10.5800/GT-2017-8-2-0245

 Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д. Геодинамика позднепалеозойского батолитообразования в Западном Забайкалье // Петрология. 2017. №4.
 С. 395-418. DOI:10.1134/S0869591117030043

Руководитель проекта,

директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института СО РАН \_\_\_\_\_\_\_\_ д.г.-м.н. А.А. Цыганков