

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. № 1

УТВЕРЖДЕНО
РЕШЕНИЕМ УЧЕНОГО СОВЕТА
Протокол № 8 от «19» декабря 2019 г.
Председатель Ученого совета,
директор института, д.г.-м.н.
А.А. Цыганков



ОТЧЕТ за 2019 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 ИС управления НИР
0340-2019-0001

Приоритетное направление IX.129. Закономерности формирования минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов

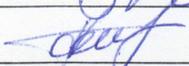
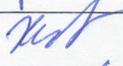
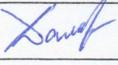
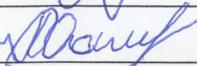
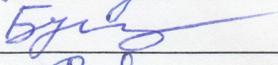
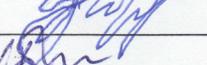
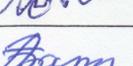
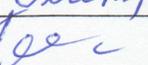
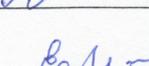
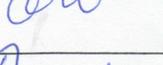
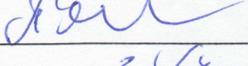
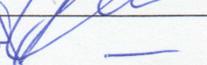
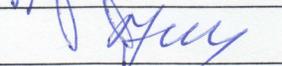
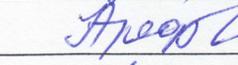
Программа IX.129.1. Процессы мантийно-корового взаимодействия и изотопно-геохимические индикаторы рециклирования элементов

Научный руководитель
д.г.-м.н.,

А.А. Цыганков

Улан-Удэ, 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы д.г.-м.н., дир.		А.А. Цыганков
Исполнители темы:		
д.г.-м.н., в.н.с (0,2)		Дорошкевич А.Г.
к.г.-м.н., зав. лаб. (0,5), в.н.с. (0,5)		Канакин С.В.
к.г.-м.н., в.н.с. (0,5)		Рипп Г.С.
к.г.-м.н., уч. сек.		Анциферова Т.Н.
к.г.-м.н., с.н.с. (0,6)		Врублевская Т.Т.
к.г.-м.н., зав. лаб. (0,5), в.н.с. (0,5)		Избродин И.А.
к.г.-м.н., с.н.с.		Хубанов В.Б.
к.г.-м.н., с.н.с.		Дамдинова Л.Б.
к.г.-м.н., н.с.		Ласточкин Е.И.
к.г.-м.н., н.с.		Рампилов М.О.
к.г.-м.н., н.с.		Бурмакина Г.Н.
к.г.-м.н., м.н.с.		Рампилова М.В.
к.г.-м.н., м.н.с.		Аюржанаева Д.Ц.
м.н.с.		Буянтуев М.Д.
инж. 2 категории (0,5)		Батуева А.А.
с.н.с.		Посохов В.Ф.
инж. 1 катюегории (0,2)		Егорова Н.Н.
вед. инж.		Посохова В.Л.
инж. 1 категории		Ходырева Е.В.
м.н.с.		Хубанова А.М.
вед. инж. (0,5)		Тюгашев В.А.
м.н.с.		Хромова Е.А.
вед. инж.		Утина Е.Д.
инж. 2 категории		Арефьева Н.А.
м.н.с.		Савченко А.А.

Содержание

	Стр.
Реферат	1
Нормативные ссылки	3
Определения, обозначения и сокращения	3
Введение	4
Основные результаты. Петрологический блок	
<i>[Отв. исп. д.г.-м.н. Цыганков А.А.]</i>	6
Рудный блок <i>[Отв. исп. к.г.-м.н. Рипп Г.С.]</i>	15
Заключение	26
Список использованной литературы	28
Приложение А	30

Реферат

Отчет 30 с., 17 рис., 1 прил.

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

В 2019 году исследования проводились по двум взаимосвязанным направлениям: установление изотопного возраста и расшифровка условий и механизмов взаимодействия контрастных магм в различных геодинамических обстановках; определение источников вещества и условий концентрирования рудных компонентов редкометалльных и флюоритовых месторождений Забайкалья, определение изотопного возраста процессов рудообразования.

В результате проведенных исследований установлен U-Pb изотопный возраст минглинг-даек Западного Сангилена (Юго-Восточная Тува) - индикаторов смены тектонического режима сжатия, постколлизийным растяжением. Формирование минглинг-даек происходило в период 485-490 млн лет. Вмещающие граниты Матутского массива имеют изотопный возраст 509 млн лет, а в цирконах из гнейсогранитов эрзинского метаморфического комплекса зафиксированы термальные события рифейского (679 - 934 млн лет) и раннепалеозойского (484 млн лет) возраста. Полученные данные согласуются с установленной ранее последовательностью тектоно-метаморфических событий Западного Сангилена. Базиты изученных минглинг-даек образованы за счет разноглубинных мантийных источников. Протолитом салической части даек были породы близкие по составу к автохтонным и параавтохтонным гнейсогранитам Эрзинского метаморфического комплекса.

Установлен U-Pb (LA-ICP-MS) изотопный возраст цирконов основных разновидностей пород многофазного Амбартагольского гранитоидного плутона (Юго-Восточная часть Восточного Саяна). Для цирконов из габбро получена дата 829 ± 5 млн. лет; для кварцевого диорита - 824 ± 4 млн. лет; для плагиогранита - 822 ± 4 млн. лет; для фельзита - 821 ± 6 млн. лет. Полученные оценки возраста для разных пород Амбартагольского сложного плутона в пределах ошибки анализа сопоставимы между собой и указывают на его становление 830 - 820 млн. лет назад.

Установлена природа меланократовых включений в гранитоидах Улекчинского плутона (300 млн. лет) (Юго-Западное Забайкалье). Магматические включения представлены тремя типами: а) ксенолиты древних (790 млн. лет) магматических пород основного состава; б) исходно «базальтоидные» включения (310 млн. лет), представляющие собой про-

дукт смешения магм; в) диорит-тоналитовые включения неясного происхождения. Полученные данные фиксируют пространственно-временную сопряженность базитового и калий-кальциевого магматизма, что является важным аргументом в понимании природы позднепалеозойских гранитоидов Забайкалья.

Посредством изотопно-геохимического (S, O, Nd, Sr) и термобарогеохимического изучения молибден-вольфрамовых (Джидинское, Булуктаевское), вольфрамитовых (Бом-Горхон, Букука, Шерловая гора, Антонова гора, Байба), шеелитовых (Скалистое, Казачья поляна, Ангокит) и шеелитсодержащих золоторудных (Ирокинда) месторождений Забайкалья установлено соотношение коровых и мантийных компонентов в составе рудоносных флюидов ответственных за формирование месторождений, установлены закономерности эволюции их изотопного состава, определены температуры разных стадий рудообразующего процесса. Участие коровых и мантийных источников зафиксировано в карбонатитах и фтор-бериллиевой минерализации, ассоциирующей с Жарчихинским месторождением Мо. Метеорные воды (до 80 % от общего объема рудообразующего флюида) участвовали и в формировании эпитермальных месторождений флюорита Забайкалья.

Термобарогеохимическими исследованиями первичных флюидных включений (ФВ) в кварце штокверкового Первомайского месторождения (Мо) установлено, что кварц-молибденитовые прожилки месторождения формировались в интервале температур $\geq 314-186^{\circ}\text{C}$ при участии гомогенных флюидов с периодами гетерогенизации раствора, с общей концентрацией солей 6.3–12.7 мас. % экв. NaCl. Главные солевые компоненты рудообразующих растворов – CaCl, NaCl, KCl и FeCl₂. Установлено, что богатые прожилки были сформированы околонейтральными растворами с большим содержанием Мо, S и F, тогда как из растворов повышенной щелочности отлагаются относительно бедные прожилки, что позволяет считать pH растворов одним из факторов рудоносности. Комплексом изотопных методов (U-Pb, Ar-Ar, Re-Os) установлен возраст молибденитовой минерализации (118 – 122 млн. лет) и времени формирования рудоносного Первомайского штока (123 млн. лет).

Получены дополнительные данные, свидетельствующие о магматическом происхождении Улан-Удэнского бастнезитсодержащего рудопроявления.

УДК 552.2 550

Ключевые слова: научный отчет, гранитоидный магматизм, комбинированные дайки, мафические включения, изотопная геохимия, источники магм и флюидов, редкометалльные и флюоритовые месторождения, изотопно-геохронологические, термобарогеохимические исследования, флюидные включения, рудообразование, Западное Забайкалье.

Нормативные ссылки

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

Определения, обозначения и сокращения

Конкордия - кривая согласованных значений радиометрического возраста

Кр-спектроскопия – спектроскопия комбинационного рассеяния

ФВ – флюидные включения

Ar/Ar – аргон-аргоновый метод изотопного датирования

D - дейтерий

Kfs – калиевый полевой шпат

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

MME (mafic microgranular enclaves) – мафические микрогранулярные включения

MSWD (СКВО) - средний квадрат отклонений

Pl - плагиоклаз

REE (РЗЭ)– редкоземельные элементы

LREE – легкие редкоземельные элементы

HREE – тяжелые редкоземельные элементы

PDB – стандарт для углерода

PIС – область мантийных составов

Re-Os – рений – осмиевый метод изотопного датирования

SHRIMP-RG ионный мультиколлекторный микрозонд

VCDT – метеоритный стандарт

VSMOW – стандартная среднеокеаническая вода

U-Pb – уран-свинцовый метод изотопного датирования

Введение

Исследования последних лет в значительной мере были направлены на определение изотопного возраста разнотипных гранитоидов Забайкалья, пространственно ассоциирующих проявлений базитового и щелочного магматизма. Рудное направление проекта развивалось в основном в направлении изучения изотопного состава рудных минералов редкометальных месторождений Забайкалья с целью выяснения источников рудообразующих флюидов. Кроме того, проводились термобарогеохимические исследования ряда месторождений, в результате которых удалось установить *PТХ* параметры рудообразующих процессов.

В 2019 году исследования по обоим направлениям были продолжены. По петрологическому блоку основное внимание было уделено расшифровке условий взаимодействия основных и кислых магм на примере минглинг-даек Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) и мафических включений в гранитоидах Улекчинского массива (Юго-Западное Забайкалье). На Западном Сангилене минглинг-дайки рассматриваются в качестве индикаторов смены тектонического режима сжатия, постколлизийным растяжением. В результате впервые установлен их возраст, источники магм и место в истории геологического развития этого региона. В позднепалеозойском Улекчинском гранитоидном плутоне удалось установить, что мафические включения, близкие минералого-петрографически и петро-геохимически, принципиально различаются своим происхождением: часть из них является ксенолитами древних (неопротерозойских) магматических пород, тогда как другие, образовались за счет базитового расплава, синхронного гранитоидному, т.е. являются результатом смешения магм.

Геологические и изотопно-геохронологические свидетельства сосуществования базитовых и салических магм установлены и в неопротерозойском Амбартагольском многофазном гранитоидном плутоне (Восточный Саян), где были датированы все разновидности пород, от габброидов до плагиогранитов.

По рудному направлению проекта было продолжено изучение изотопного состава (S, O, Nd, Sr) минералов молибден-вольфрамовых (Джидинское, Булуктаевское), вольфрамитовых (Бом-Горхон, Букука, Шерловая гора, Антонова гора, Байба), шеелитовых (Скалистое, Казачья поляна, Ангокит) и шеелитсодержащих золоторудных (Ирокинда) месторождений Забайкалья. Наиболее важный результат этих исследований заключается в том, что на многих примерах подтверждено участие мантийных и коровых флюидов в формировании рудной минерализации. При этом установлено, что изотопный состав флюидов может

существенно эволюционировать от предрудной стадии, через продуктивную, до пострудной. Значительная роль коровых (метеорных) вод установлена и в формировании многочисленных эпитермальных месторождений флюорита в Забайкалье.

Комплексом современных методов изотопного датирования – U-Pb (по циркону), Ar/Ar (по мусковиту) и Re-Os (по молибдениту), получены новые данные о возрасте Первомайского молибденового месторождения, свидетельствующие о сопряженности процессов гранитообразования и рудоотложения на рубеже 119-128 млн. лет назад. Термобарогеохимическими исследованиями первичных флюидных включений установлено, что кварц-молибденитовые прожилки месторождения формировались в интервале температур $\geq 314-186^{\circ}\text{C}$ при участии гомогенных флюидов с периодами гетерогенизации раствора, с общей концентрацией солей 6.3–12.7 мас. % экв. NaCl. Главные солевые компоненты рудообразующих растворов – CaCl, NaCl, KCl и FeCl₂. В составе газовой фазы флюидных включений установлены CO₂, CH₄ и N₂. Установлено, что содержание Mo в палеогидротермах в богатых кварц-молибденитовых прожилках составляет сотни ppm, тогда как в более бедных не более первых десятков ppm. Установлено, что богатые прожилки были сформированы околонейтральными растворами с большим содержанием Mo, S и F, тогда как из растворов повышенной щелочности отлагаются относительно бедные прожилки, что позволяет считать pH растворов одним из факторов рудоносности.

Таким образом, в результате исследований 2019 года получены новые данные по процессам взаимодействия базитовых и салических магм, изотопному возрасту магматических и рудных образований, а также по источникам и составу рудообразующих флюидов разнотипных магматогенных гидротермальных редкометалльных и редкоземельных месторождений и рудопроявлений, что полностью отвечает целям и задачам настоящего проекта.

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. Смешение контрастных магм, как петрологический процесс, ответственный за образование определенных типов горных пород, известен уже более 100 лет (см. обзор в (Didier & Barbarin, 1991)). Вместе с тем, его геологическое значение, механизмы реализации, масштабы и индикаторная роль, стали выясняться лишь в последние десятилетия. Комбинированные габбро-гранитные интрузии (минглинг-дайки), как одна из форм проявления процессов смешения магм, являются прямым и наиболее очевидным геологическим свидетельством сосуществования очагов базитовых (мантийных) и салических (коровых) магм и их активного взаимодействия. Наличие таких свидетельств является весомым аргументом в обосновании важной, а в ряде случаев – ключевой, роли процессов мантийного магматизма в формировании крупных гранитоидных батолитов и целых гранитоидных провинций (Didier & Barbarin, 1991; Kemp & Hawkesworth, 2003; Bonin, 2004; Литвиновский и др., 1993). Кроме того, минглинг-дайки являются индикаторами смены обстановки коллизионного сжатия постколлизионным растяжением, что делает их важным «репером» в реконструкции истории развития складчатых областей.

В результате проведенных исследований установлен U-Pb изотопный возраст комбинированных даек Западного Сангилен (рис. 1) и вмещающих дайки метаморфических и магматических образований. Становление комбинированных даек происходило в период 490 – 485 млн лет назад (рис. 2). Граниты Матутского массива имеют изотопный возраст 509 млн лет. В цирконах из гнейсогранитов эрзинского метаморфического комплекса зафиксированы термальные события рифейского (934 -679 - млн лет назад) и раннепалеозойского (484 млн лет назад) возраста.

Согласно существующим представлениям о тектонической эволюции структур региона именно в это время произошла смена геодинамических обстановок – коллизионное сжатие сменилось синсдвиговым растяжением (Владимиров и др., 2005, 2017). Внедрение комбинированных даек, в которых четко зафиксирована сдвиговая кинематика тектонических движений, является индикатором начала постколлизионного растяжения, приведшем в

итоге к развалу горно-складчатого сооружения Западного Сангилен (Владимиров и др., 2017).

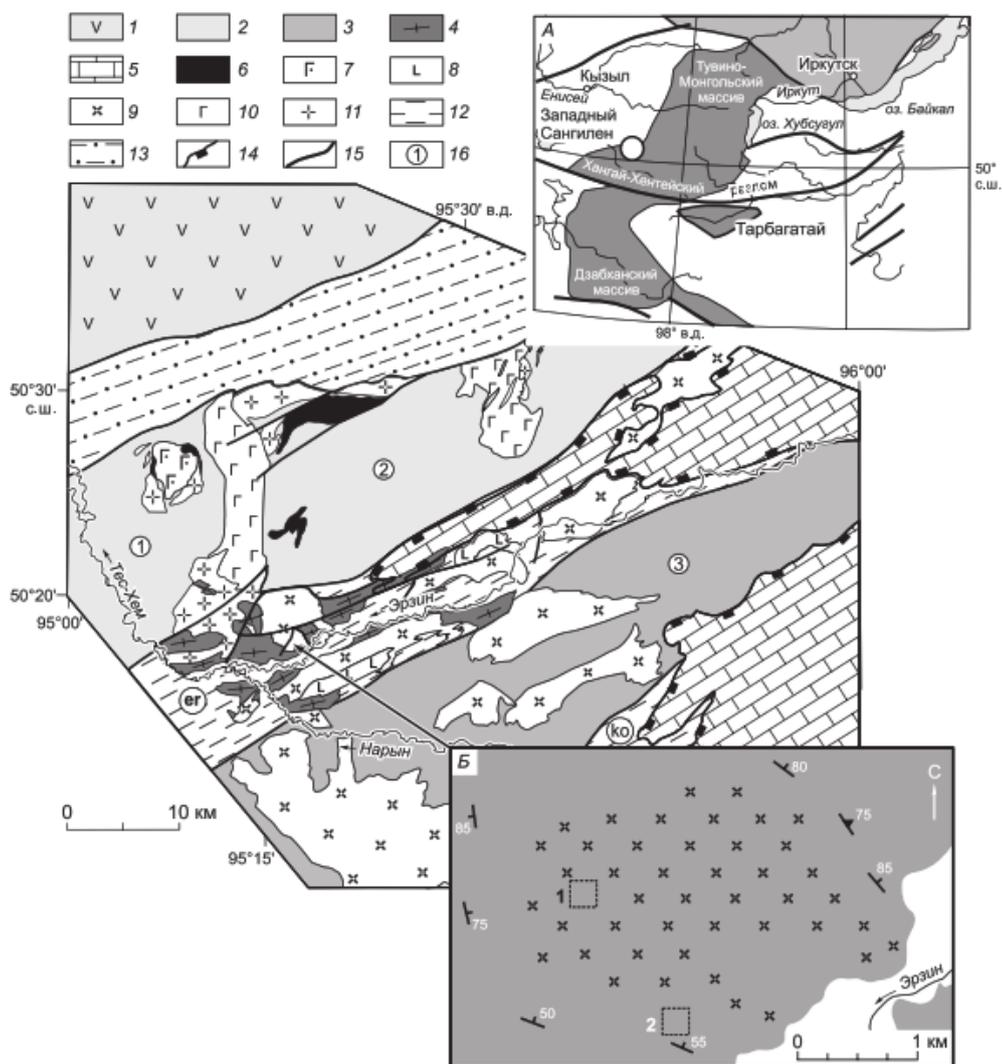


Рисунок 1. Геологическая схема Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) (Кармышева и др. 2017).

1 – образования Таннуольской островной дуги; **метаморфические комплексы (2-4):** 2) моренский, 3) нижнеэрзинский, 4) эрзинский мигматит-гранитный; 5 – карбонатно-терригенный чехол (сангиленская серия); **магматические комплексы и серии (6-9):** 6) актовраковский дунит-гарцбургитовый комплекс, 7) правотарлашкинский анортозит-габброноритовый комплекс, 8) баянкольский габбро-монцодиорит-граносиенит (гранодиорит)-гранит-лейкогранитный комплекс, 9) башкымугурский габбро-монцодиорит-гранит-лейкогранитный комплекс; 10 – **тектонические зоны:** (er) Эрзинская, (ко) Кокмолгаргинская; 11 - Агардагский сутурный шов; 12 – границы тектонических покровов; 13 – разломы; 14 – **тектонические блоки (1-3):** 1) Тарлашкинский, 2) Мугуро-Чинчилигский, 3) Эрзин-Нарынский.

Врезки: А - положение Западного Сангилен в структурах южного обрамления Сибирской платформы по [Кузьмичев, 2004]; Б – геологическая позиция комбинированных даек (1 – участок «Тавыт-Даг», 2 – участок «Сайзырал»).

Базиты изученных минглинг-даек кардинально различаются содержаниями индикаторных элементов (Rb, Nb, Ta, Zr, Hf) и величиной отношений Nb/Y, Zr/Y, Th/Ta, Zr/Nb, Nb/Th, что указывает на разные, вероятно разноглубинные, мантийные источники.

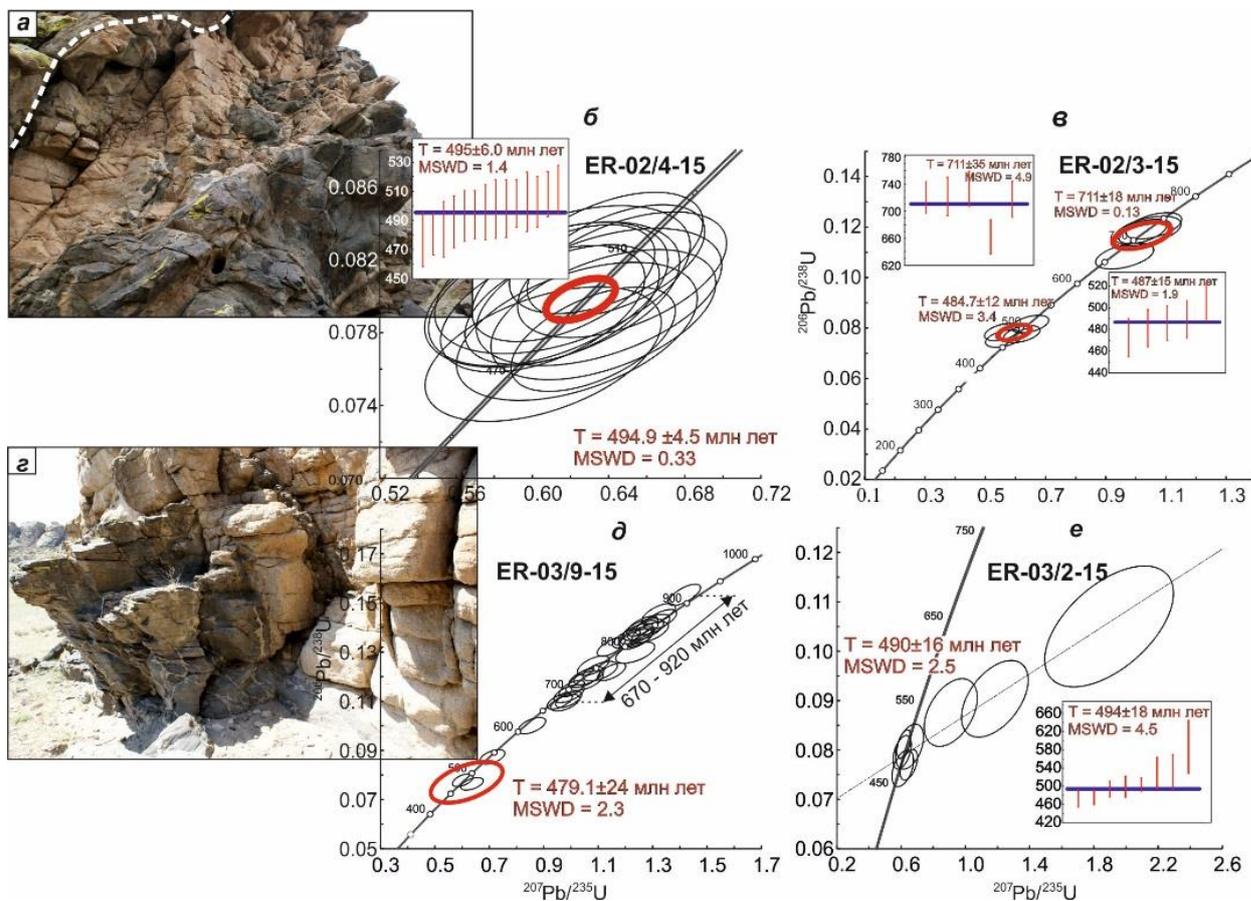


Рисунок 2. Структура и $U-Pb$ изотопный возраст минглинг-даек в гнейсогранитах эрзинского метаморфического комплекса, участок Сайзырал (а, б, в) и в гранитоидах Матутского массива, участок Тавыт-Даг (г, д, е), Западный Сангилен (Юго-Восточная Тува). Темное — базитовая, светлое — салическая составляющие минглинг-даек.

Протолитом салической части комбинированных даек, по-видимому, были породы близкие по составу к автохтонным и параавтохтонным гнейсогранитам эрзинского метаморфического комплекса. Заметные минералого-петрографические и геохимические различия салических частей рассматриваемых даек могут быть связаны с гетерогенностью метаморфической толщи, с разной степенью плавления гнейсогранитного протолита и разной степенью сегрегации расплава.

2. В Восточном Саяне с гранитоидами сумсунарского комплекса ассоциирует ряд месторождений и проявлений золота. Породы этого комплекса широко распространены в виде крупных сложных батолитовых тел, площадью до первых сотен квадратных километров. Кроме того, рядом исследователей к этому комплексу относятся небольшие тела габброи-

дов и дайки, имеющие подчиненное, но повсеместное, распространение. К настоящему времени имеется всего одна достоверная датировка пород этого комплекса (Кузьмичев, 2004). Имеющиеся дефицит геохронологических данных не позволяет в полной мере анализировать геологические, геохимические и петрологические данные в рамках решения проблем геодинамики магматизма, характера взаимосвязи контрастных магм между собой и процессов золотого рудообразования.

В составе сумсунурского комплекса выделяют три относительно крупных плутона – Амбартагольский, Гарганский и Урикский. С помощью U-Pb изотопного LA-ICP-MS метода нами было проведено датирование цирконов, выделенных из пород многофазного Амбартагольского плутона, площадью около 300 км² (рис. 3). Породы, слагающие его, представляют собой полный дифференцированный ряд от кварцевых диоритов, через тоналиты к плагиогранитам.



Рисунок 3. Схема геологического строения Амбартагольского плутона (Сумсунурский комплекс). Буквенные обозначения в прямоугольниках, Аи-месторождения: Б-Х – Барун-Холба, З-Х – Зун-Холба, Пн – Пионерское, Вл – Владимирское. Цифры в кружках, места отбора проб для U-Pb датирования: 1 – габбро, 2 – диорит, 3 – плагиогранит, 4 – фельзит.

Кроме того, в состав плутона включают тела габброидов, выступающих как ранняя фаза комплекса. На площади также распространены дайковые тела, сложенные фельзитами, кварц-полевошпатовыми фельзит-порфирами и диабазами (базитами), которые рядом исследователей выделялись в самостоятельный холбинский комплекс малых интрузий (обзор в Адонцев, 1967; Кузьмичев, 2004). Согласно нашим наблюдениям взаимосекущих отношений между дайками разного состава и их вещественной близости к интрузивным породам сумсунурского комплекса выделение субвулканитов в отдельный комплекс представляется нецелесообразным.

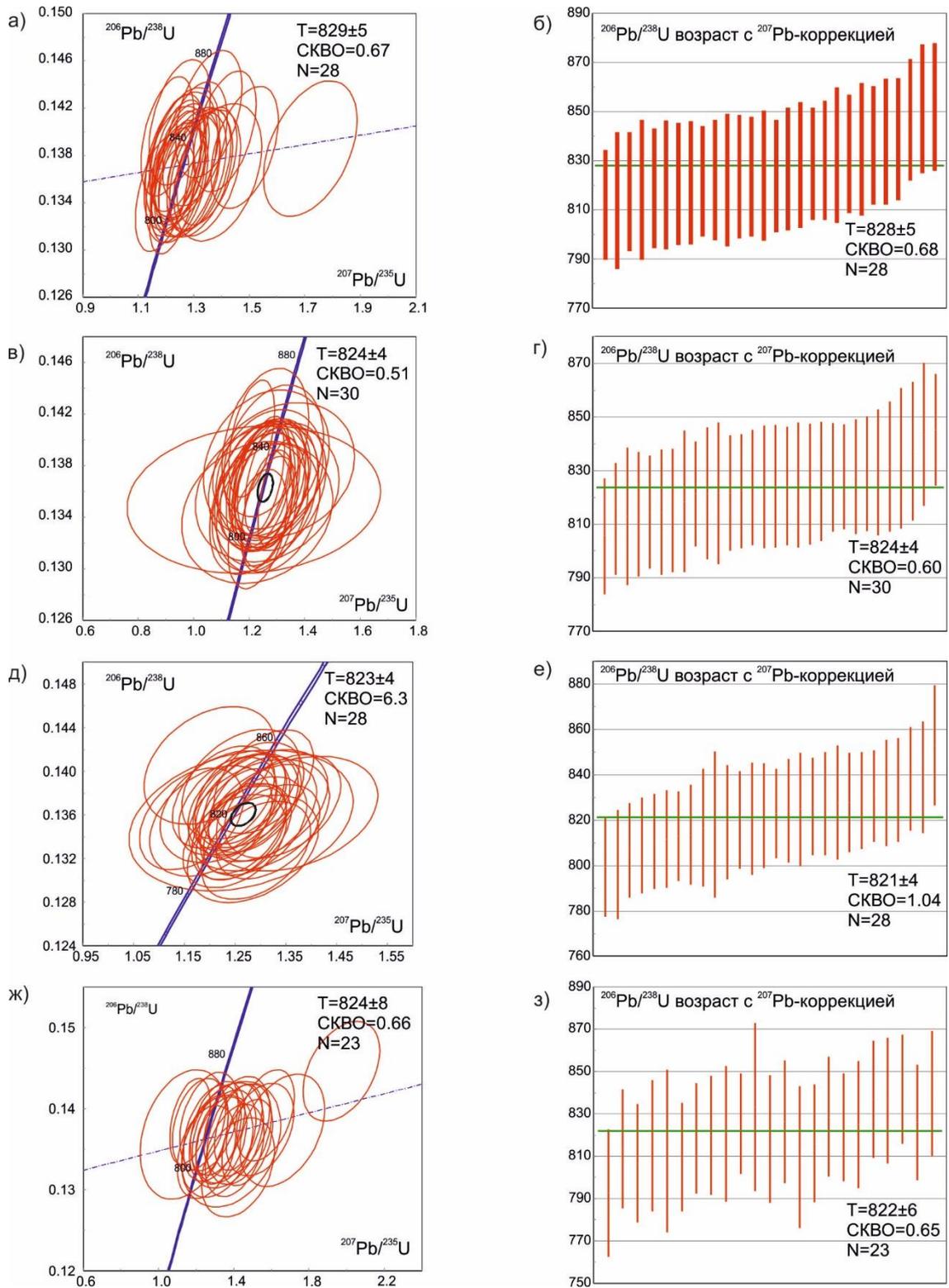


Рисунок 4. U-Pb изотопный конкордантный возраст и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст с ^{207}Pb -коррекцией для цирконов из габбро (а, б), кварцевого диорита (в, г), плагиогранита (д, е) и фельзита (ж, з).

Результаты U-Pb изотопного LA-ICP-MS датирования цирконов представлены на (рис. 4). Для цирконов из габбро получена дата 828 ± 5 млн. лет; для кварцевого диорита - 824 ± 4 млн. лет; для плагиогранита - 821 ± 4 млн. лет; для фельзита - 822 ± 6 млн. лет.

Полученные оценки возраста для разных пород Амбартагольского сложного плутона в пределах ошибки анализа сопоставимы между собой и указывают на его становление 830-820 млн. лет назад. Близкий возраст габброидов и гранитоидов указывает на сосуществование контрастных мафических (мантийных) и салических (коровых) магм при становлении плутона. Следует отметить, что об этом также свидетельствуют наблюдаемые минглинг структуры (Долгобородова, 2019). Учитывая, что возраст гранитоидов Гарганского плутона составляет 790 млн. лет (Кузьмичев, 2004) можно полагать, что общая продолжительность становления сумунурского комплекса была не менее 30-40 млн. лет.

3. В Западном Забайкалье гранитоиды часто содержат меланократовые включения (mafic microgranular enclaves, ММЕ (Barbarin & Didir, 1991). Как правило, такие включения интенсивно гибридизированы, в результате чего их морфологические и минералого-геохимические признаки, указывающие на условия образования, практически стертые. Вместе с тем, расшифровка природы меланократовых включений имеет важные следствия, поскольку, в зависимости от происхождения, включения несут совершенно разную информацию, проливающую свет на различные аспекты формирования гранитоидов.

В отчетном году продолжено изучение меланократовых включений в Улекчинском гранитоидном плутоне – типичном представителе гранитоидов зазинского комплекса в Юго-Западном Забайкалье. Массив, расположенный в левобережье р. Джида (южный склон хр. Малый Хамар-Дабан), занимает площадь не менее 13 тыс. км² (Дистанова, 1979), имеет изометричную в плане форму и представлен двумя интрузивными фазами. Первая фаза сложена порфировидными кварцевыми сиенитами с подчиненными кварцевыми монцонитами и амфиболовыми сиенитами. Эти породы имеют сходный минералогический состав и отличаются в основном количественными соотношениями породообразующих минералов. Наибольшим распространением пользуются кварцевые сиениты, представляющие собой серые среднезернистые, часто порфировидные (Kfs) породы. Ко второй фазе относят граносиениты и резко диминирующие среднезернистые лейкократовые иногда порфировидные (Kfs) граниты.

U-Pb изотопный возраст цирконов из лейкогранитов второй интрузивной фазы составляет 300.3 ± 3.8 млн. лет, MSWD = 3.19 (Цыганков и др., 2012), изотопный возраст цирконов из кварцевых сиенитов первой фазы, определенный LA-ICP-MS методом в Геологическом институте СО РАН (Улан-Удэ), составил 298 ± 3.5 млн. лет.

Улекчинский массив (рис. 5 а), характеризуется большим количеством меланократовых включений, чаще всего встречающихся в кварцевых сиенитах первой фазы. Обычно, включения сконцентрированы на сравнительно небольших участках, размером в первые сотни метров в поперечнике, где на фоне более или менее равномерно распределенных

включений встречаются скопления - «рой», в которых на долю включений приходится от 10 – 15 до более чем 50 % от общего объема породы. Поперечные размеры таких скоплений достигают 3 – 4 м. Еще одной особенностью Улекчинского массива является присутствие включений явно разного генезиса, когда наряду с магматическими образованиями присутствуют ксенолиты метаморфических пород, в которых сохраняются исходные текстурно-структурные особенности. Аналогичного состава метаморфитами сложены крупные «останцы» среди гранитоидов, размером во многие десятки метров. Подобного типа породы развиты и в обрамлении массива, где они выделяются в качестве астайской свиты протерозойского возраста.

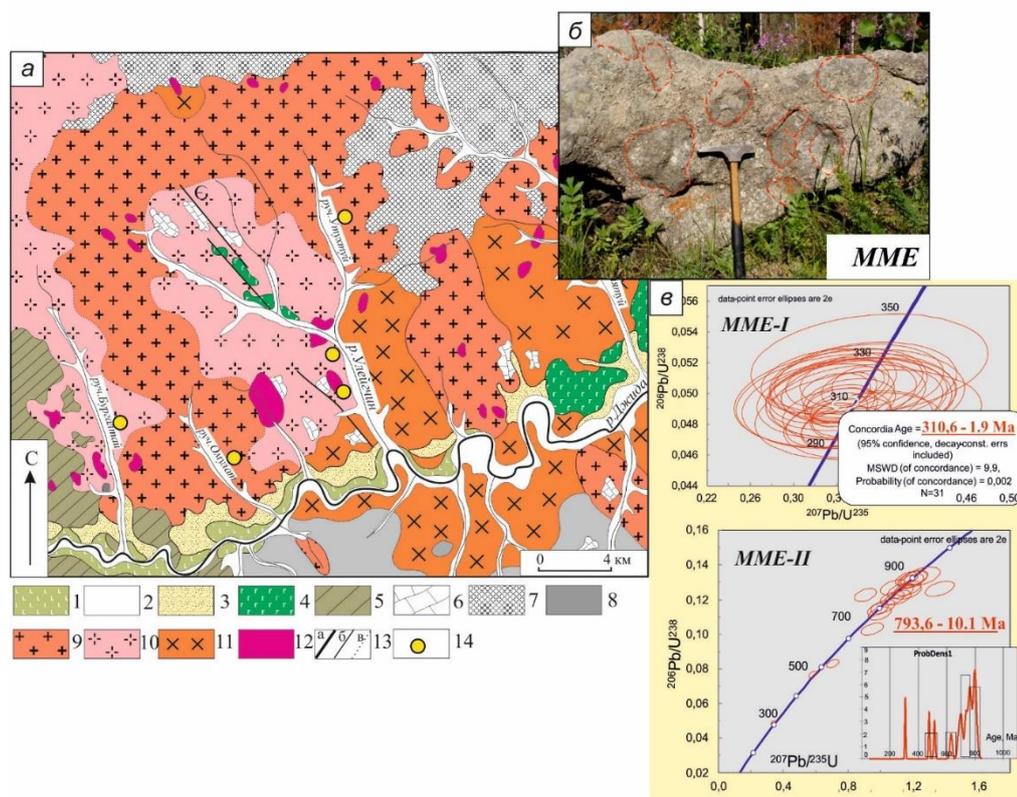


Рисунок 5. Схематическая геологическая карта Улекчинского кварцево-сиенит-гранитного массива (а), по (Цыганков и др., 2012).

1 – долинные потоки четвертичных базальтов; 2, 3 – верхнечетвертичные и современные аллювиальные (2) и делювиальнопролювиальные (3) отложения; 4 – базальтовые лавы ичетуйской свиты (J2); 5 – песчаники, сланцы, известняки джидинской свиты; 6 – известняки хохюртовской свиты; 7 – слюдистые сланцы, гнейсы астайской свиты; 8 – лейкограниты и гранит-порфиры гуджирского комплекса; 9 – 11 – гранитоиды зазинского комплекса: среднезернистые (9) и порфировидные (10) лейкограниты, кварцевые сиениты (11); 12 – диориты, габбро-диориты джидинского комплекса; 13 – контакты тектонические (а), интрузивные (б), фациальные (в); 14 – изученные участки массового скопления включений; (б) морфология мафических включений; (в) диаграммы с конкордией для включений первого и второго типов.

Степень преобразования включений различна – от сохранения всех признаков исходной магматической структуры и минерального состава, до практически полной «гомогенизации», когда включения опознаются лишь по более меланократовым мелкозернистым участкам с расплывчатыми контурами. Размер включений в среднем составляет 10-12 см в поперечнике, форма чаще всего округлая (сферическая) или линзовидная (рис. 5 б). Никаких изменений состава и текстурно-структурных особенностей в краевых частях включений, по сравнению с центром, или во вмещающих породах не наблюдается. Контакты с вмещающими гранитоидами резкие, за исключением т.н. «теней».

Магматические включения из Улекчинского массива можно разделить на три группы: 1) мелко-тонкозернистые, редко-порфировидные (P1) породы с долеритоподобной микроструктурой; 2) средне-мелкозернистые полнокристаллические амфибол-биотит-полевошпатовые породы с гипидиоморфнозернистой, местами гранобластовой микроструктурой, часто порфировидные (P1); 3) тонкозернистые лейкократовые (по сравнению с двумя предшествующими разновидностями) диоритоподобные породы с характерным игольчатым амфиболом.

Минералогические данные, полученные по включениям показывают, что для ММЕ первой группы характерны реликтовые минералы: это плагиоклаз, представленный резорбированными трещиноватыми ядрами зональных кристаллов, имеющих лабрадор-битовниковый состава, и реликты клинопироксена в зернах амфибола. Во включениях второй группы реликтовые минералы, в том числе пироксен, отсутствуют. Для них более характерны гнездообразные амфибол-биотитовые скопления. Включения третьей группы резко отличаются от первых двух лейкократовым обликом и наличием характерного игольчатого амфибола.

Как отмечалось выше, Улекчинский массив сложен в основном кварцевыми сиенитами и лейкогранитами, диапазон кремнекислотности которых варьирует от 64 до 76.8 мас. %. Меланократовые включения первого и второго типов имеют близкий химический состав и перекрывают значительную часть этого диапазона (54 – 62 мас. % SiO_2), что отражает разную степень их гибридизации. Третья группа включений отличается резко пониженной щелочностью (сумма $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ от 1.3 до 3.6 мас. %) и по составу отвечает кварцевым диоритам и тоналитам.

Микро-элементный состав меланократовых включений обнаруживает существенные отличия от вмещающих кварцевых сиенитов. На диаграммах соотношения индикаторных элементов-примесей (Rb, Ba, Nb, Sr) с кремнеземом они образуют не перекрывающиеся ареалы. Диоритоподобные включения третьей группы отличаются как от меланократовых включений, так и вмещающих пород.

Распределения REE в породах Улекчинского массива и в ММЕ в целом сходно и различается лишь в деталях. Характерны относительно высокие суммарные содержания REE (> 200 г/т \sum REE), дефицит HREE относительно LREE ($La/Yb_{(n)}=13-21$), наличие отрицательной Eu аномалии. Включения отличаются несколько более высоким содержанием HREE, в частности Yb и Lu по сравнению с вмещающими кварцевыми сиенитами, и соответственно, пониженной величиной $La/Yb_{(n)}$. Между включениями первого и второго типов резких отличий не установлено.

Для выявления природы включений важное значение имеет изотопный возраст. Нами, с использованием локальных методов, были датированы цирконы из включений первого и второго типов. Включения имели сходную морфологию и сопоставимые размеры. Вмещающие кварцевые сиениты были сильно разрушены, поэтому включения удалось извлечь целиком. Это округлые образования 30 – 40 см в поперечнике. Для выделения цирконов использовалась наиболее «свежая» внутренняя часть включений. Цирконы из включения первого типа датированы LA-ICP-MS методом (масс-спектрометр Element-XR) в ГИН СО РАН (Улан-Удэ). По 43 точкам (зернам) получено конкордантное значение изотопного возраста 310.6 ± 1.9 млн. лет, MSWD = 0.67 (рис. 5 в).

Датирование цирконов из включения второго типа проводилось в Центре SUMAC Стэнфордского университета и Геологической службы США на ионном мультиколлекторном микрозонде SHRIMP-RG. Разброс полученных значений изотопного возраста по 9-и определениям составил от 504 до 802 млн. лет. Из этой совокупности четко выделяется кластер (4 точки) с конкордантным возрастом 793.7 ± 10.1 млн. лет (рис. 5 в), который и принят за время образования цирконов.

Включение первого типа демонстрирует изотопный возраст цирконов близкий ко времени становления Улекчинского плутона (≈ 300 млн. лет). Учитывая характер распределения, морфологию, петрографические и минералого-геохимические особенности включений данного типа, мы считаем, что они являются результатом смешения магм (mingling), т.е. были захвачены в жидком или полужидком состоянии. Вместе с тем, разница в 10 млн. лет требует объяснения. На наш взгляд, она может объясняться двумя причинами: недостаточной точностью определения, либо тем, что включения были захвачены после того, как в них образовались цирконы – т.е. в не до конца раскристаллизованном состоянии. Учитывая более высокую температуру кристаллизации включений, что следует как из их валового состава, так и мелкозернистой структуры, это предположение представляется вполне вероятным. Важно подчеркнуть, что полученный возраст включения первого типа так или иначе фиксирует временную близость базитового и гранитоидного магматизма, что является важным аргументом в понимании природы позднепалеозойского гранитоидного магматизма

Забайкалья. «Древние» включения, с возрастом около 800 млн. лет, несомненно представляют собой ксенолиты магматических пород.

Таким образом, из приведенных выше данных можно сделать следующий вывод: в гранитоидах Улекчинского массива присутствуют три типа магматических включений: а) ксенолиты древних магматических пород основного состава; б) исходно «базальтоидные» включения, представляющие собой продукт смешения магм; в) диорит-тоналитовые включения неясного происхождения.

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.]

В отчетный период было проведено изучение геохимических особенностей вольфрамовых и молибденовых месторождений, позднемезозойских карбонатитов Западно-Забайкальской карбонатитовой провинции. Среди вольфрамовых месторождений и рудопроявлений изучены молибден-вольфрамовые (Джидинское, Булуктаевское), вольфрамитовые (Бом-Горхон, Букука, Шерловая гора, Антонова гора, Байба), шеелитовые (Скалистое, Казачья поляна, Ангокит) и шеелитсодержащее золоторудное (Ирокинда). Проведено изотопное изучение минеральных парагенезисов начальных, продуктивных и завершающих стадий образования. Выполнено свыше 140 определений изотопного состава кислорода. Наибольшее внимание было уделено изотопному составу этого элемента в кварце, вольфрамитах, шеелитах и слюдах, представляющих в основном ранний наиболее высокотемпературный этап формирования месторождений.

По изотопному составу сульфидной серы среди вольфрамовых месторождений выделяется две группы. В одной из них сера ложится в границы мантийного источника, нередко имеет отрицательные значения $\delta^{34}\text{S}$ (от -1 до +3 ‰). В некоторых месторождениях (Бом-Горхон, Байба) сера изотопно несколько тяжелее (в среднем + 2,5 ‰). В группе кварц-шеелитовых месторождений сера изотопно утяжелена (от +3 до +8 ‰) и близка к значениям в породах континентальной коры.

На каждом из изученных месторождений наиболее низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ установлены в вольфрамите/шеелите, тогда как кварц является самым изотопно тяжелым минералом (рис. 6). В этих границах (от вольфрамита/шеелита до кварца) по степени обогащения тяжелым изотопом расположены апатит, берилл, калиевый полевой шпат, слюды, триплит, гельвин, карбонаты, хлорит. Кварц и вольфрамовые минералы по составу кислорода концентрируются в четыре группы.

Рисунок 6. Изотопные составы кислорода в главных минералах рудных стадий вольфрамовых месторождений. Заштриховано поле магматических значений.

Сопоставление составов кислорода в минералах молибденового и вольфрамового этапов показало отчетливое обогащение тяжелым изотопом кислорода минералов вольфрамового этапа (рис. 7).

Значения температур, полученные по изотопно-кислородному геотермометру (Zheng, 1992) в паре вольфрамит-кварц в большинстве своем совпали (277-380°C) с результатами термобарогеохимического изучения газожидких включений (Онтоев, 1974; Иванова и др. 1991; Повилайтис, 1960). При этом температуры, рассчитанные по паре кварц-калиевый полевой шпат (Zheng, 1993) из грейзенового парагенезиса Холтосонского месторождения, несколько выше (297-391°C) и подтверждают их более раннее образование.

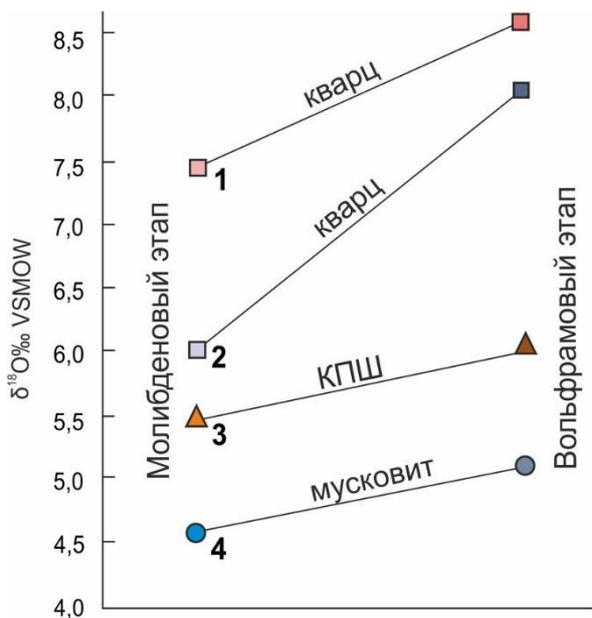
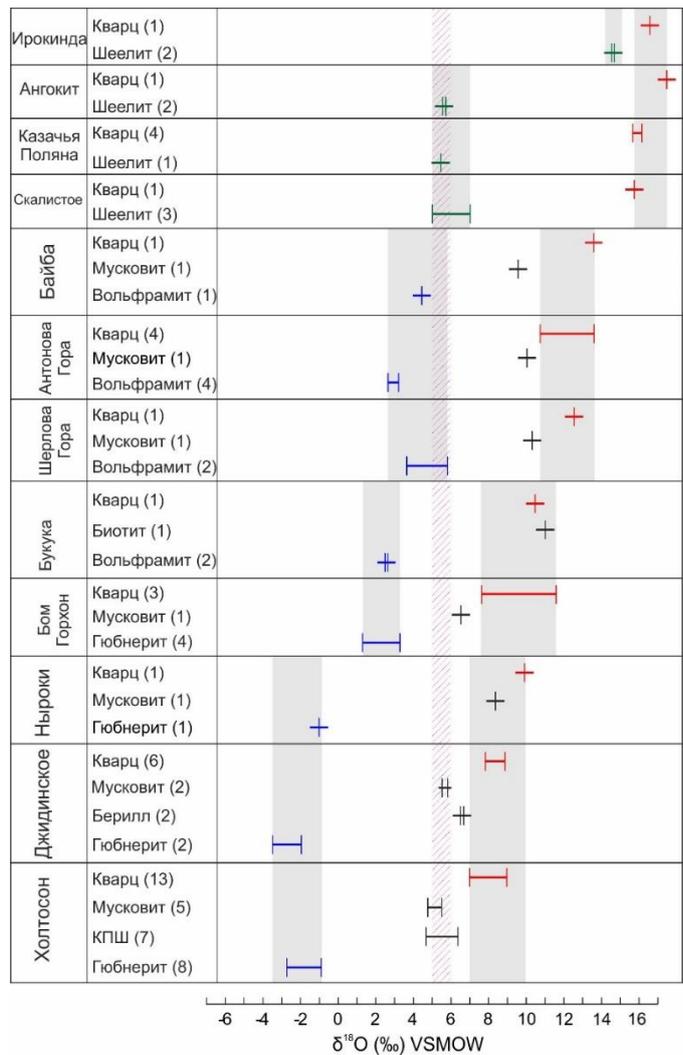
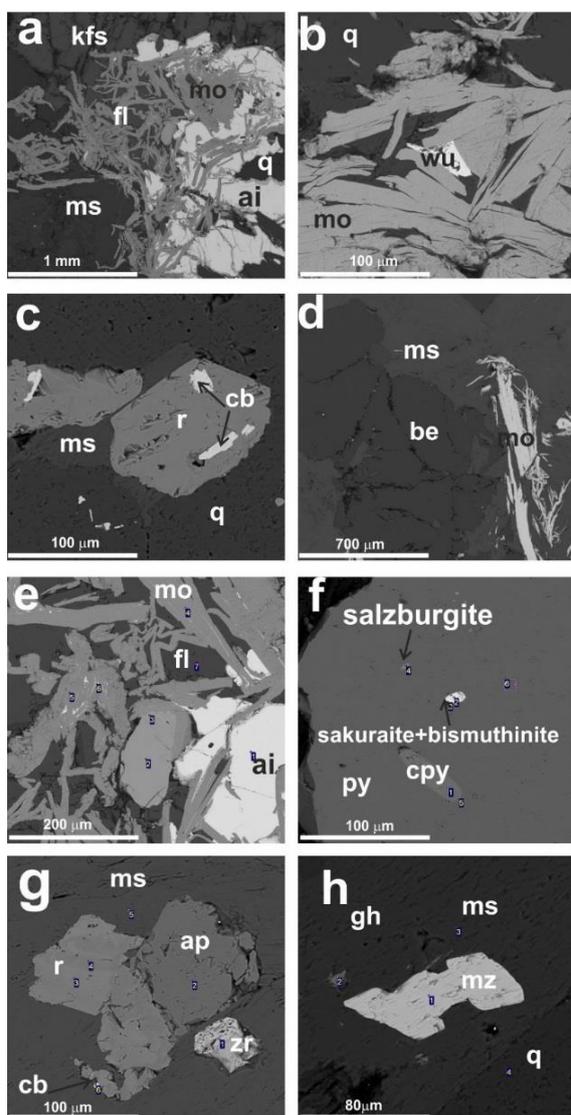


Рисунок 7. Эволюция изотопного состава кислорода в минералах от раннего (молибденовый) к позднему (вольфрамовый) этапам. 1 – Булуктаевское, 2-4 – Джидинское месторождения.

Изотопное изучение карбонатов (родохрозит, анкерит, кальцит) проведено на трех месторождениях. Составы кислорода и углерода этих минералов на Джидинском (Холтосонском) и Булуктаевском месторождениях ложатся в поле PIC, типоморфное для мантийной углекислоты.

Изотопный состав водорода на большинстве изученных месторождений (Шерлова Гора, Спокойнинское, Булуктаевское, Бом Горхон) характеризуется деплетированностью дейтерием (-139...-144‰ δD), свидетельствующей об участии в процессах минералообразования воды метеорного источника. И только кристаллизационная вода в слюдах из грейзенов Холтосонского, Первомайского и Нырокского месторождений, фиксирующих начальную стадию рудообразования, лежит в границах мантийного источника. (-78,8 ... -105,6 ‰ δD).

Изотопные данные, полученные для постмагматических образований вольфрамовых месторождений указывают на участие в разных соотношениях мантийного и корового компонентов. На мантийное происхождение рудоформирующих флюидов указывают низкие первичные изотопные стронциевые отношения (0.7047-0.7055) и положительные значения ϵNd породах (-1.1...+0.9) (Чернышов и др., 1998) и минералах (флюорит от +0.1 до +3.3, вольфрамит, микроклин и кальцит соответственно +1.6, +0.4, и +3.9), величины $\delta^{18}O$ и $\delta^{13}C$ в карбонатных минералах (Джидинское рудное поле). Полученные данные предполагают возможное поступление из мантийного резервуара калия, фтора и углекислоты (Ripp et al., 2018). Значения $\delta^{34}S$ близкие к метеоритному стандарту, установленные на наиболее крупных месторождениях (Булуктаевское, Мало-Ойногорское, Орехитканское, Бом-Горхонское, Джидинское), в совокупности с изотопным составом кислорода (4.2-6.5 ‰ $\delta^{18}O$) и водорода (-78.8...-84‰) из грейзенов и слюдяных метасоматитов Джидинского месторождения также свидетельствуют о мантийном источнике рудообразующих флюидов. В то же время изотопные составы кислорода флюидов равновесных с другими минералами рудных стадий (вольфрамит, шеелит, биотит, кварц) вместе с данными по изотопному составу водорода (мусковит, биотит, эпидот) свидетельствуют об участии в рудообразовании воды метеорного источника. На это указывают расчетные значения $\delta^{18}O$ (нередко с отрицательными значениями $\delta^{18}O$) во флюиде равновесном с минералами (гюбнерит, кварц) гидротермальных парагенезисов. Наименьшее количество расчетной метеорной воды на Джидинском месторождении зафиксировано на начальном этапе (7-9 %) при формировании грейзенов и зон околосоматитовых слюдяных метасоматитов. Оно существенно возросло (до 35-40 %) к завершающим стадиям минералообразования.



1. На Первомайском месторождении, расположенном в пределах Джидинского рудного поля (Юго-Западное Забайкалье) были проведены детальные минералогические (рис.8), термобарометрические и геохронологические исследования.

Рисунок 8. Морфология минералов в кварц-молибденитовых прожилках Первомайского месторождения (фотографии в обратно-рассеянных электронах). *a* – агрегат молибденита в тесном срастании с айкинитом; *b* – зерно вольфенита в пластинчатом агрегате молибденита; *c* – включения колумбита в рутиле; *d* – зерна берилла на контакте с мусковитом и молибденитом; *e* – молибденит с флюоритом и айкинитом; *f* – микровключения редких сульфосолей и халькопирита в пирите; *g* – зерна рутила, апатита, циркона и микровключение кубанита на контакте с мусковитом; *h* – зерна монацита и гетита; Сокращения: *mo* – молибденит; *q* – кварц; *kfs* – калиевый полевоы шпат; *ms* – мусковит; *fl* – флюорит; *ai* – айкинит; *be* – берилл; *py* – пирит; *cpy* – халькопирит; *ap* – апатит; *cb* – кубанит; *zr* – циркон; *mz* – монацит; *gh* – гетит.

Главным рудным минералом штокверкового Первомайского месторождения является молибденит. В качестве второстепенных и редких идентифицированы следующие минеральные виды (рис. 8): сульфиды (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, висмутин), сульфосоли (айкинит, зальцбургит, сакураит), сложные оксиды – молибдаты, ниобаты (вольфенит, колумбит), а также берилл и акцессорные минералы (рутил, монацит, апатит, циркон).

Термобарогеохимическими исследованиями первичных флюидных включений (ФВ) в кварце (рис. 9) установлено, что кварц-молибденитовые прожилки месторождения формировались в интервале температур ≥ 314 – 186°C при участии гомогенных флюидов с периодами гетерогенизации раствора, с общей концентрацией солей 6.3–12.7 мас. % экв. NaCl. Главные солевые компоненты рудообразующих растворов – CaCl, NaCl, KCl и FeCl₂.

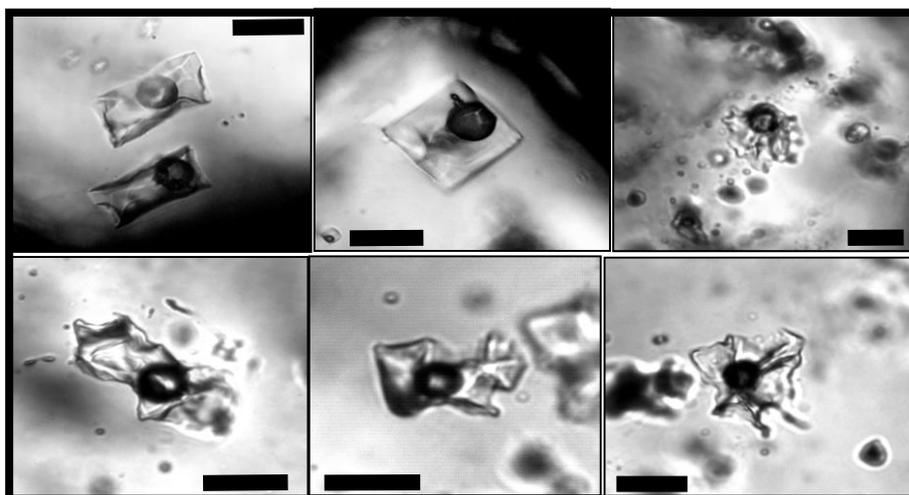


Рисунок 9. Первичные флюидные включения гомогенного захвата в кварце из кварц-молибденитовых прожилков Первомайского месторождения. Длина линейки – 10 мкм.

В составе газовой фазы флюидных включений установлены CO_2 , CH_4 и N_2 (рис. 10).

Методом LA-ICP-MS в индивидуальных ФВ определены концентрации следующих элементов: Li, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, La, Ce, Ta, W, Au, Pb, Th, U, Be, B, Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, в палеорастворах.

Содержание Mo достигает 559 ppm (ср. знач. 182) в богатых кварц-молибденитовых прожилках, в более бедных – до 212 ppm (ср. знач. 13). На основе проведенных исследований установлено, что богатые прожилки были сформированы околонейтральными растворами с большим содержанием Mo, S и F, тогда как из растворов повышенной щелочности отлагаются относительно бедные прожилки, что позволяет считать pH растворов одним из факторов рудоносности.

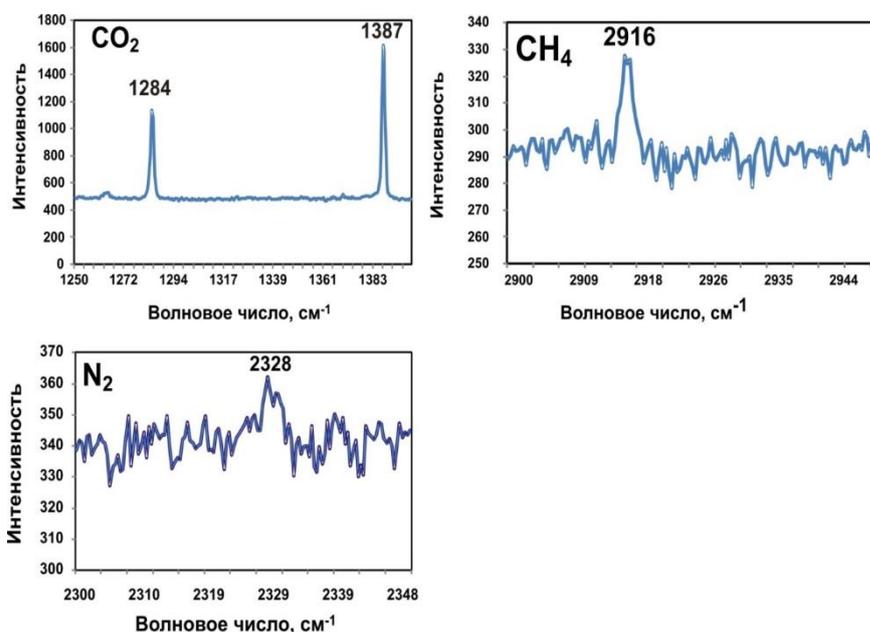


Рисунок 10. Результаты раман-спектроскопии газовой фазы индивидуальных флюидных включений.

Комплексом современных методов изотопного датирования – U-Pb (по циркону), Ar/Ar (по мусковиту) и Re-Os (по молибдениту), получены новые данные о возрасте Первомайского молибденового месторождения, свидетельствующие о сопряженности процессов гранитообразования и рудоотложения на рубеже 119-128 млн. лет назад.

Установлен изотопный возраст порфировидных гранитов (LA-ICP-MS метод, циркон) Первомайского молибденового месторождения. Было проанализировано 20 цирконов в 24 точках, для них методом пересечения рассчитан возраст 124 ± 2 млн. лет при СКВО 0.99 (рис. 11). Значение средневзвешенного возраста по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, скорректированного на обыкновенный свинец ^{207}Pb -методом, составляет 123.4 ± 1.4 млн. лет (рис. 11).

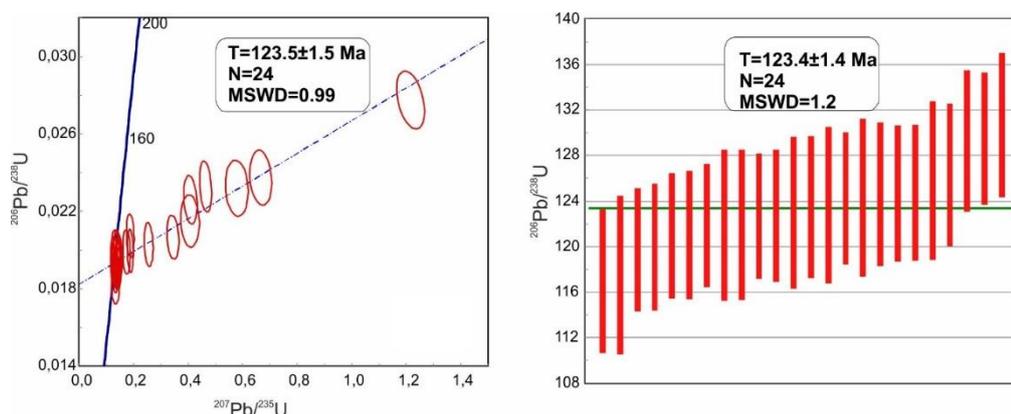


Рисунок 11. Диаграмма с конкордией и диаграмма средневзвешенных $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возрастов, скорректированных на обыкновенный свинец ^{207}Pb -методом для цирконов из гранитов Первомайского массива.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование по мусковиту кварц-молибденитовых прожилков из вмещающих порфировидных гранитов Первомайского месторождения показало значение изотопного возраста 127.6 ± 1.5 млн лет (рис. 12).

На Первомайском месторождении датирован молибденит из проб Pm-18-1 и Pm-18-2, которые отобраны из кварц-молибденитовых прожилков штокверковой зоны в порфировидных гранитах. Молибденит образует скопления чешуек, иногда радиально-лучистые агрегаты, количество его в среднем $\sim 5\text{--}10\%$. Распределение молибденита, как правило, неравномерное, в одних случаях он приурочен к центральной части, в других к зальбандам прожилков или рассеян во всем объеме жильного кварца. Изученные пробы характеризуются содержаниями рения 15951-17237 нг/г. Re-Os датирование, проведенное в Институте геохимии Китайской Академии наук (г. Гуйянь), дало 2 значения модельного изотопного возраста 118.5 ± 1.6 и 122.4 ± 1 млн. лет. Полученный возраст в пределах ошибки совпадает с U-Pb возрастом гранитоидов (рис.11).

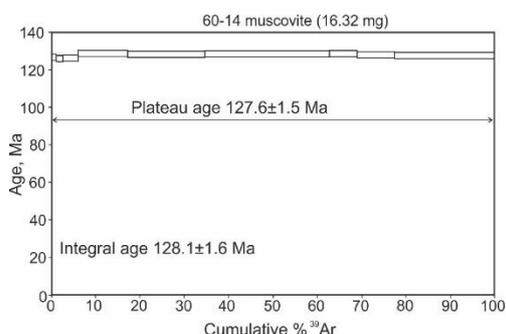


Рисунок 12. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопное датирование по мусковиту из молибденовых руд Первомайского месторождения.

2. Исследованиями 2019 года установлено, что на многоэтапных месторождениях, помимо генетически связанных стадий минералобразования может быть проявлено телескопирование разновозрастных парагенезисов. Комплекс методических приемов позволяет установить специфику месторождений и возможность прогнозирования других типов оруденения. Наличие такой минерализации может свидетельствовать о перспективности подобных месторождений. В рамках бюджетной темы на Жарчихинском молибденовом месторождении установлен возраст (Ar-Ar методом) фтор-бериллиевой минерализации и возраст карбонатитов. Получены дополнительные анализы изотопного состава кислорода в анатазе из кварц-арфведсонитовой стадии алюмофторидного этапа и изотопные составы Rb-Sr и Sm-Nd для карбонатитов, фтор-бериллиевого и алюмофторидного этапов.

Наиболее важной особенностью минералов алюмофторидного этапа является отчетливо выраженная деплетированность кислорода тяжелым изотопом (табл. 1). На кварц-арфведсонитовой стадии кислород больше обогащен ^{18}O относительно алюмофторидной стадии.

Таблица 1. Изотопный состав кислорода, водорода, углерода в минералах и равновесного с ними флюида алюмофторидного этапа.

Стадия	Минерал	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$, ‰	$\delta\text{D}_{\text{VSMOW}}$, ‰	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$, ‰	T, °C
Кварц-арфведсонит-анатазовая	Кварц	5,6			-1,4	300
	Кварц*	9,4			2,4	
	Кварц*	9,6			2,6	
	Кварц*	9,8			2,8	
	Кварц	8,9			1,9	
	Анатаз	-2,9			2,5	
Алюмофторидная	Кварц	12,5			-3	150
	Кварц	9,0			-6,5	
	Кварц	9,7			-5,8	
	Ральстонит	-7,8	-107,3			
	Прозопит	-5,16				
	Каолинит	0,3	-163,2		-13,1	120
	Накрит	4,8			-8,6	
	Сидерит	5,2		-1,5	-12,2	
Сидерит	-3,7		-2	-21,1		

Примечание. * – по [Покалов, 1985]; $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$, ‰ вычислены по (Zheng, 1993a, 1993b, 1999). Объем метеорной воды, рассчитанной по [Taylor et. al., 1982], достигает 65,5%.

Проведенное Ar-Ar датирование калиевого полевого шпата из карбонатитов и фтор-бериллиевой ассоциации (206.2 и 209.6 млн. лет, соответственно, рис. 13) показало временную разобщенность карбонатитов и фтор-бериллиевой минерализации, и молибденитового этапа минералообразования.

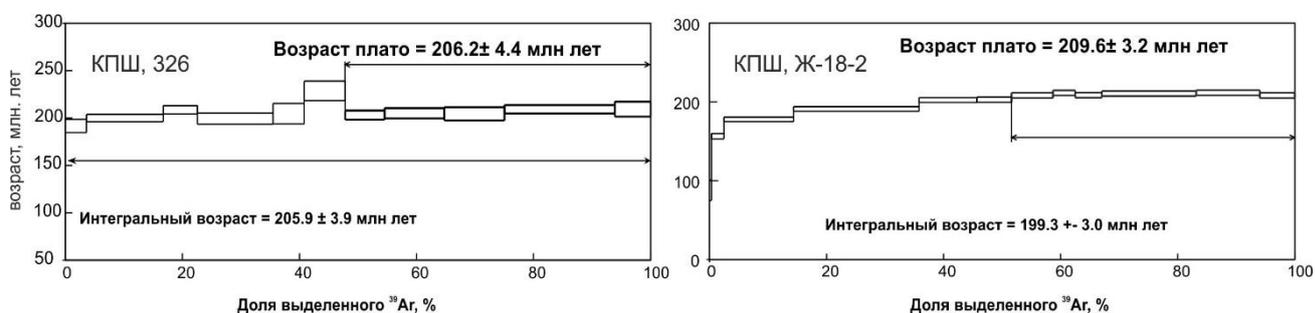


Рисунок 13. Результаты Ar-Ar датирования калиевого полевого шпата из карбонатитов (326) и фтор-бериллиевой ассоциации (Ж-18-2).

Величина $\epsilon Nd(T)$ с отрицательным значением (-3.63) и первичное отношение изотопов Sr (0.707) фиксируют коровую природу бериллиевой минерализации и близость к значениям руд Ермаковского фтор-бериллиевого месторождения (Рипп и др., 2016). В карбонатитах установлены низкие значения первичных стронциевых отношений (0.706) и положительные величины $\epsilon Nd(T)$ (+2.4), указывающие на их мантийный источник. Высокие стронциевые отношения (0.708) и отрицательные величины $\epsilon Nd(T)$ (-3.33) в образованиях алюмофторидного этапа свидетельствуют о коровой природе этой минерализации.

На Хамбинском месторождении рений - осмиевым методом (институт геохимии Китайской Академии наук, г. Гуйянь) определен позднепалеозойский возраст молибденового оруденения (пробы Р-13-78-1 и Р-13-78-2, соответственно 273 и 276 млн. лет). Изученный молибденит характеризуется низким содержанием рения 2.8 - 2.9 ppm. Таким образом, это новое для региона геохронологическое подтверждение позднепалеозойского молибденового оруденения. Все предшествующие значения базируются на оценке возраста гранитных массивов с которыми пространственно ассоциируют проявления молибдена.

3. В пределах Центрально-Азиатского флюоритоносного пояса, протягивающегося от Алдана до центральных районов Монголии, включающего Западное и Восточное Забайкалье, известно несколько сотен эпitherмальных флюоритовых месторождений. Они сформировались в позднем мезозое, синхронизированы во времени с рифтогенным внутриплитным базальтоидным вулканизмом. В отчетный период было продолжено изучение флюоритовых месторождений Забайкалья и Монголии (Куранжинское, Березовское, Хурайское, Наранское, Убукунское, Эгита, Абагайтуйское, Аро-Таширское, Усуглинское, Бэрх и др.).

Все они отнесены к эпитермальным образованиям, сформировавшихся на небольших глубинах. Руды в большинстве своем сложены кварцем и флюоритом, содержат нередко барит, в редких случаях - кальцит. Прimitивный минеральный состав руд (кварц и флюорит), и распространенность в основном среди некарбонатных пород предполагает привнос кальция в составе флюидов. Более всего такому варианту соответствует соединение $[CaSiF_6]$, которое определило, в том числе, появление кальцитсодержащих тел в пределах месторождений. В предрудную стадию на месторождениях проявилась пиритизация. Она распространена обычно за пределами рудных тел. Непосредственно в рудах присутствует барит. Состав сульфидной серы идентичен мантийному источнику несколько обогащенного легким изотопом (рис. 14). Дифференциация изотопного состава произошла в процессе перемещения флюидной фазы. Обогащение легким изотопом достигало $-5 \dots -7.7 \text{‰ } \delta^{34}S$. Сера в баритах, представляющая остаточную часть серы, изотопно утяжелена до $+10 \div +13 \text{‰ } \delta^{34}S$.

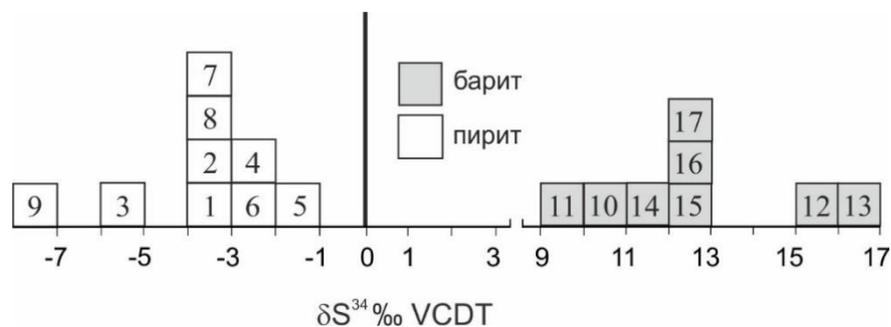
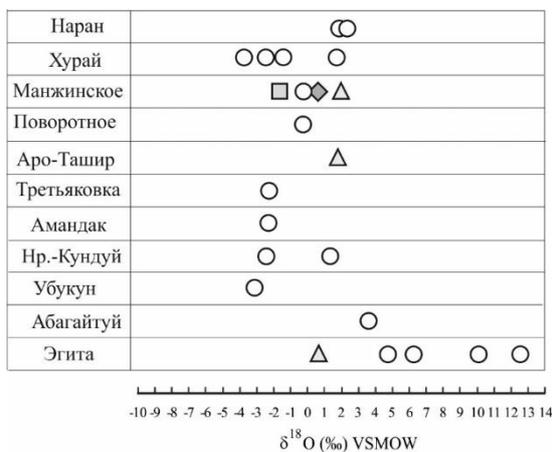


Рисунок 14. Изотопный состав серы (средние значения) в пирите (марказите) и барите из эпитермальных флюоритовых месторождений Забайкалья и Монголии. Пирит: 1-Наранское; 2-Новоапавловское II; 3-Хурайское; 4-Хамнейское; 5-Третьяковское; 6-Тосо-I; 7-Бэрх; 8-Эгита; 9-Калангуйское. Барит: 10-Аро-Таширское; 11-Новоапавловское II; 12-Перевальное; 13-Баян-Ундурское; 14-Абагайтуйское; 15-Усуглинское; 16-Галшарьинское; 17-Нижне-Кижингинское.



Изотопный состав кислорода кварца из рудных тел неоднороден и резко обогащен легким изотопом (рис. 15). Расчеты составов равновесных с ними флюидов свидетельствует о присутствии в них метеорной воды. Количество последней на отдельных проявлениях достигало 80%.

Рисунок 15. Изотопный состав кислорода в минералах эпитермальных флюоритовых месторождениях. Широкие вариации состава кислорода на Эгитинском месторождении обусловлены метасоматическими процессами.

Первичные стронциевые отношения во флюоритах, варьирующие от 0.706-0.709 до 0.715 свидетельствуют о взаимодействии флюидов с вмещающими породами. С этим согласуются и широкие вариации составов РЗЭ (рис. 16), отражающие извлечение их из пород различного состава. Величины ϵNd во флюоритах (от -1.4 до -5.98) также подтверждают участие корового вещества в формировании месторождений.

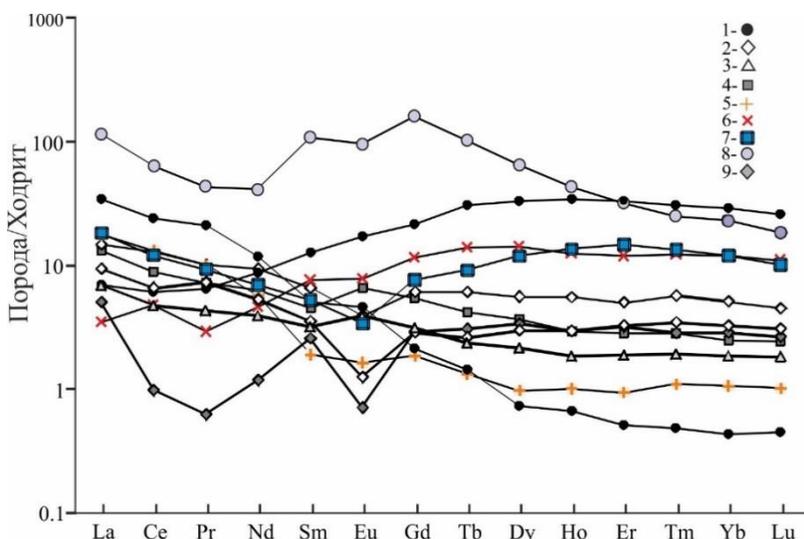


Рисунок 16. Графики нормированных к хондриту [Sun and McDonough, 1989] содержаний РЗЭ в флюоритах эпитермальных месторождений Забайкалья. 1 – Хурай; 2 – Эгита; 3 – Убукун; 4 – Калангуй; 5 – Абагайтуй; 6 – Бороундур; 7 – Хэлтегейское; 8 – Аро-Ташир; 9 – Убур-Ташир.

4. С целью обоснования принадлежности Улан-Удэнского бастнезитсодержащего проявления к карбонатитам проведены дополнительные исследования. Известные редкоземельные проявления, ассоциирующие с карбонатитами в различных регионах во всех случаях отнесены к гидротермальным образованиям. Согласно существующим рекомендациям (Петрографический кодекс, 2009), принадлежность к карбонатитам определяется содержанием не менее 50% карбонатных минералов и магматическим их происхождением. Количество бастнезита на Улан – Удэнском проявлении нередко достигает пятидесяти процентов. Для флюорита и бастнезита, являющихся главными минералами пород не характерны первичные газово-жидкие включения. Наиболее типичным минералом гидротермальной стадии является плюмбоярозит. Этот минерал слагает тонкие прожилки, интенсивно замещает флогопит, в меньшей степени - бастнезит. Кроме того, он также, как и глауберит встречается как включение идиоморфной формы зерен в бастнезите, позволяя предполагать их присутствие в виде солевых расплавов.

Результаты термобарометрических исследований включений в бастнезите (рис. 17 а) и флюорите, минералогические и изотопно-геохимические особенности (рис. 17 б) Улан-Удэнского бастнезитового проявления, свидетельствуют о их магматическом происхождении.

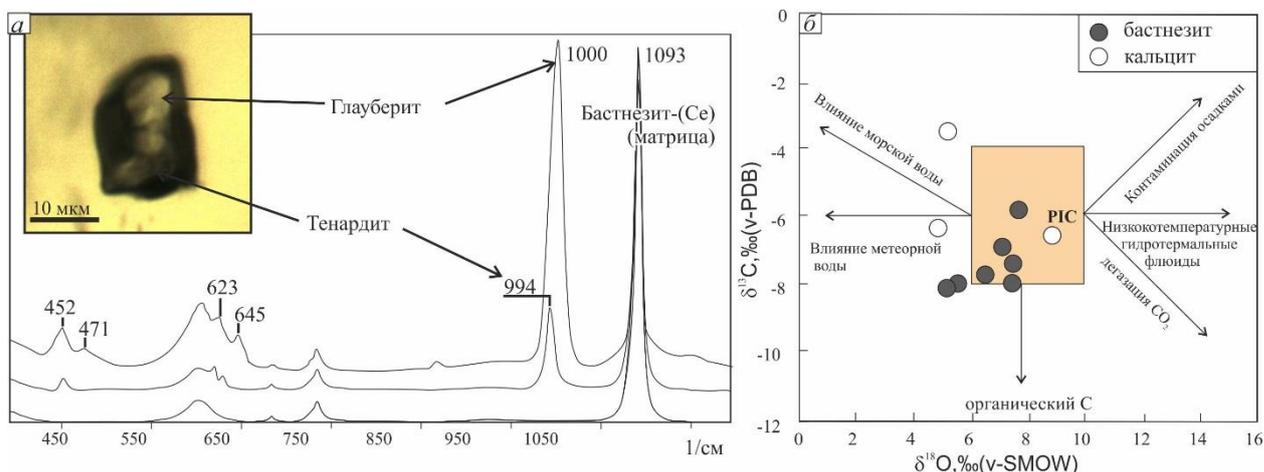


Рисунок 17. (а) КР-спектры дочерних кристаллических фаз глауберита и тенардита рассол-расплавного включения в бастнезите (фото); (б) Диаграмма изотопных составов кислорода и углерода в бастнезитах и кальцитах Улан-Удэнского проявления. Область PIC и тренды изменения изотопных составов O и C - по (Demény et al., 2004).

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

Заключение

В результате исследований, проводившихся в 2019 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. Установлен U-Pb изотопный возраст минглинг-даек Западного Сангилена (Юго-Восточная Тува) - индикаторов смены тектонического режима сжатия, постколлизийным растяжением. Формирование минглинг-даек происходило в период 485-490 млн лет. Вмещающие граниты Матутского массива имеют изотопный возраст 509 млн лет, а в цирконах из гнейсогранитов эрзинского метаморфического комплекса зафиксированы термальные события рифейского (679 - 934 млн лет) и раннепалеозойского (484 млн лет) возраста. Базиты изученных минглинг-даек образованы за счет разноглубинных мантийных источников. Протолитом калийной части даек были породы близкие по составу к автохтонным и параавтохтонным гнейсогранитам Эрзинского метаморфического комплекса.

2. Определен U-Pb (LA-ICP-MS) изотопный возраст цирконов основных разновидностей пород многофазного Амбартагольского гранитоидного плутона (Юго-Восточная часть Восточного Саяна). Для цирконов из габбро получена дата 829 ± 5 млн. лет; для кварцевого диорита - 824 ± 4 млн. лет; для плагиогранита – 822 ± 4 млн. лет; для фельзита - 821 ± 6 млн. лет. Полученные оценки возраста для разных пород Амбартагольского сложного плутона в пределах ошибки анализа сопоставимы между собой и указывают на его становление 830 - 820 млн. лет назад.

3. Установлена природа меланократовых включений в гранитоидах Улекчинского плутона (300 млн. лет) (Юго-Западное Забайкалье). Магматические включения представлены тремя типами: а) ксенолиты древних (790 млн. лет) магматических пород основного состава; б) исходно «базальтоидные» включения (310 млн. лет), представляющие собой продукт смешения магм; в) диорит-тоналитовые включения неясного происхождения. Полученные данные фиксируют пространственно-временную сопряженность базитового и калийного магматизма, что является важным аргументом в понимании природы позднепалеозойских гранитоидов Забайкалья.

4. На основании изотопных данных определено соотношение коровых и мантийных компонентов в составе рудоносных флюидов ответственных за формирование молибден-вольфрамовых, вольфрамитовых, шеелитовых и шеелитсодержащих золоторудных месторождений Забайкалья. Установлены закономерности эволюции их изотопного состава, определены температуры разных стадий рудообразующего процесса. Участие коровых и

мантийных источников зафиксировано в карбонатитах и фтор-бериллиевой минерализации, ассоциирующей с Жарчихинским месторождением Мо. Метеорные воды (до 80 % от общего объема рудообразующего флюида) участвовали и в формировании эпитеpmальных месторождений флюорита Забайкалья.

5. Термобарогеохимическими исследованиями первичных флюидных включений (ФВ) в кварце штокверкового Первомайского месторождения (Мо) установлены температуры образования кварц-молибденитовых прожилков, соленость, микроэлементный состав палеогидротерм. Зафиксировано важное значение рН растворов, как одного из факторов рудоносности. Установлен изотопный возраст молибденитовой минерализации.

6. Участие коровых и мантийных источников флюидов зафиксировано в карбонатитах и фтор-бериллиевой минерализации, ассоциирующей с Жарчихинским месторождением Мо. Показано, что метеорные воды (до 80 % от общего объема рудообразующего флюида) участвовали и в формировании эпитеpmальных месторождений флюорита Забайкалья.

7. Получены дополнительные данные, свидетельствующие о магматическом происхождении Улан-Удэнского бастнезитсодержащего рудопроявления.

Список использованной литературы

- Адонцев Н.А. Гранитоиды Гарганской глыбы. Ленинград: Наука. 1967. 99 с.
- Владимиров В.Г., Владимиров А.Г., Гибшер А.С., Травин А.В., Руднев С.Н., Шемелина И.В., Барабаш Н.В., Савиных Я.В. Модель тектоно-метаморфической эволюции Сангилен (Юго-Восточная Тува, Центральная Азия) как отражение раннекаледонского аккреционно-коллизийного тектогенеза // ДАН. 2005. Т. 405. № 1. С. 82-88.
- Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Яковлев В.А., Травин А.В., Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н. Термохронология минглинг-даек Западного Сангилен (ЮВ Тува): свидетельства развала коллизийной системы на Северо-Западной окраине Тувино-Монгольского массива // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 283-310.
- Долгобородова К.Д. Характер взаимосвязи между габброидами и гранитоидами сумсунурского комплекса (Восточный Саян): геохимический аспект // Металлогения древних и современных океанов. Четверть века достижений в изучении субмаринных месторождений. 2019. С. 77-79.
- Иванова Г.Ф., Смирнова О.К., Игнатенко К.И. Особенности химического состава вольфрамитовой минерализации Джидинского рудного поля. ЗРМО. 1991. №4. 77-88.
- Кармышева И.В., Владимиров В.Г., Владимиров А.Г. Синкинематический гранитоидный магматизм Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) // Петрология. 2017. Т. 25. № 1. С. 92-118.
- Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М.: ПРОБЕЛ-2000. 2004. 194 с.
- Литвиновский Б.А., Занвилевич А.Н., Алакшин А.М. и др. Ангаро-Витимский батолит – крупнейший гранитоидный плутон. Новосибирск, Изд. ОИГГМ СО РАН. 1993. 141с.
- Онтоев Д.О. Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья. 1974 М.: Наука, 244 с.
- Петрографический кодекс России. ФГБУ «ВСЕГЕИ». Санкт-Петербург. 2009. 160 С.
- Повилайтис М.М. Основные черты минералогии Джидинского Мо-W месторождения. Труды ИМГРЭ. 1960. М.: изд-во АН СССР. Вып. 24. 167 с.
- Покалов В. Т., Болохонцева С. В., Васин В. В. Жарчихинское проявление молибдена в брекчиевой трубке в каледонидах Западного Забайкалья // Известия серия геологическая. 1985. №7. с. 99-107.
- Ришп Г.С. и др. Карбонаты и источники флюидов руд и метасоматитов Ермаковского флюорит-бертрандин-фенакитового месторождения (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2016, Т. 57. № 9. 1641-1652.

Цыганков А.А., Удортатина О.В., Бурмакина Г.Н., Гроув М. Новые данные U-Pb датирования цирконов и проблема длительности формирования Ангаро-Аитимского гранитоидного батолита // ДАН. 2102. Т. 447. № 2. С. 204-209.

Чернышев И.В., Гольцман Ю.В., Баирова Э.В., Иванова Г.Ф. Rb-Sr геохронология процессов последовательного формирования гранитов, грейзенизации и гидротермальной минерализации: Джидинское W-Mo месторождение, Западное Забайкалье. Доклады академии наук. 1998. №360. Т.4. 537-740.

Bonin B. Do coeval mafic and felsic magmas in post-collisional to within-plate regimes necessarily imply two contrasting, mantle and crustal, sources? A review // *Lithos*. 2004. V. 78. P. 1 - 24.

Didier J., Barbarin B. *Enclaves and Granite Petrology*. 1991. *Developments in Petrology*, 13, Elsevier, Amsterdam. 1991. 625 p.

Kemp A.I.S., Hawkesworth C.J. *Granitic Perspectives on the Generation and Secular Evolution of the Continental Crust* // *Treatise on Geochemistry*. Elsevier Ltd, Oxford. 2003. V. 3. P. 350-400.

Demény A., Sitnikova M.A., Karchevsky P.I. Stable C and O isotope compositions of carbonatite complexes of the Kola Alkaline Province: phoscorite-carbonatite relationships and source compositions // *Phoscorites and carbonatites 288 from mantle to mine: the key example of the Kola alkaline province*. Mineral. Society Series. 2004. v. 10. 407-431.

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, V. 8. 546.

Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Magmatism in the ocean basins* / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry, Geol. Soc. London Spec. Publ. 1989. V. 42. 313-345.

Zheng Y.-F. Calculation of oxygen isotope fractionation in anhydrous silicate minerals. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1993a. №57. 1079-1091.

Zheng Y.-F. Calculation of oxygen isotope fractionation in hydroxyl-bearing silicates. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1993b. №120. 247-263.

Zheng Y.-F. Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals // *Geochemical Journal*. 1999. V. 33. 109-126.

Приложение А. *Количество научных публикаций в журналах, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования ("Сеть науки" (Web of Science), Scopus, MathSciNet, Российский индекс научного цитирования, Google Scholar, European Reference Index for the Humanities и др.) по проекту за 2019 год:*

1. **Damdinova L. B., Damdinov B. B., Huang X.-W., Bryansky N. V., Khubanov V. B., Yudin D.S.** Age, conditions of formation, and fluid composition of the Pervomaiskoe molybdenum deposit (Dzhidinskoe ore field, South-Western Transbaikalia, Russia) // Minerals. 2019. 9. 572. **DOI:** 10.3390/min9100572

2. **Doroshkevich A.G.,** Chebotarev D.A., Sharygin V.V., Prokopyev I.R., Nikolenko A.M. Petrology of the alkaline silicate rocks and carbonatites of the Chuktukon massif, Chadobets upland, Russia: Sources, evolution of the magmas and their relation to the Triassic Siberian LIP // Lithos. 2019. 332–333. 245–260. **DOI:** 10.1016/j.lithos.2019.03.006

3. **Дамдинова Л.Б., Дамдинов Б.Б., Рампилов М.О., Канакин С.В.** Условия формирования руд Ауникского F-Ве месторождения (Западное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. № 1. С. 18-38. **DOI:** 10.1134/S1075701519010021

4. **Рампилов М.О., Рипп Г.С.** Редкометальная минерализация альбитовых гранитов Западного Забайкалья // Литосфера. 2019. Т.19. № 4. С. 598–614. **DOI:**10.24930/1681-9004-2019-19-4-598-614

5. **Рипп Г.С., Прокопьев И.Р., Избродин И.А., Ласточкин Е.И., Рампилов М.О., Дорошкевич А.Г.,** Редина А.А., **Посохов В.Ф., Савченко А.А., Хромова Е.А.** Бастнезит-флюоритовые породы Улан-Удэнского проявления (минеральный состав, геохимические особенности, проблемы генезиса) // Геология и геофизика. 2019. **WOS:**000503994500005

6. **Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н., Яковлев В.А., Хубанов В.Б., Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Буянтуев М.Д.** Состав и U-Pb (LA-ICP-MS) изотопный возраст цирконов комбинированных даек Западного Сангилен (Тувинно-Монгольский массив) // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 1. С. 55 - 78. **DOI:**10.15372/GiG2019004

7. **Цыганков А.А., Хубанов В.Б., Бурмакина Г.Н., Елбаев А.Л., Бурдуковский В.В.** Соотношение мантийного и разновозрастного корового вещества в составе гранитоидов Забайкалья А-типа: петрологические и геодинамические следствия // Геодинамика и тектонофизика. 2019. т. 3 (10), С. 779–799. **DOI:** 10.5800/GT-2019-10-3-0441

Руководитель проекта,

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

Тел: (3012)433955