

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИГХ СО РАН)

УДК 550.4+552.3+552.4
Рег. № 121102500039-6

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН,

доктор геолого-минералогических наук

А.Б. Перепелов

«26» декабря 2025 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РОЛЬ МАГМАТИЧЕСКИХ, МЕТАМОРФИЧЕСКИХ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В РЕЦИКЛИНГЕ ВЕЩЕСТВА И В ФОРМИРОВАНИИ ИЗОТОПНО-
ГЕОХИМИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРЫ В
СКЛАДЧАТОМ ОБРАМЛЕНИИ СИБИРСКОГО КРАТОНА

(заключительный)

Шифр проекта № 0284-2021-0007

Направление и разделы фундаментальных и поисковых научных исследований:

1.5.4. Геохимия и космохимия

1.5.4.1. Изучение химического состава Земли и ее оболочек

1.5.4.2. Изотопная геохимия и геохронология

Протокол Ученого совета ИГХ СО РАН №10 от 26 декабря 2025 г.

Руководитель проекта,

доктор геолого-минералогических наук

А.Б. Перепелов

Иркутск 2025

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель проекта, доктор
геолого-минералогических наук

26.12.2025

А.Б. Перепелов

Ответственные исполнители:

Главный научный сотрудник, доктор
геолого-минералогических наук

В.А. Антипин 26.12.2025

В.С. Антипин,

(раздел 1)

Главный научный сотрудник, доктор
геолого-минералогических наук

В.А. Макрыгина 26.12.2025

В.А. Макрыгина

(раздел 1)

Ведущий научный сотрудник, доктор
геолого-минералогических наук

В.И. Левицкий 26.12.2025

В.И. Левицкий

(раздел 2)

Ведущий научный сотрудник, доктор
геолого-минералогических наук

И.С. Перетяжко 26.12.2025

И.С. Перетяжко

(разделы 7-8)

Старший научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических
наук

Л.Г. Кузнецова 26.12.2025

Л.Г. Кузнецова

(раздел 3)

Старший научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических
наук

С.И. Дриль 26.12.2025

С.И. Дриль

(раздел 4)

Старший научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических
наук

Е.А. Савина 26.12.2025

Е.А. Савина

(раздел 7)

Старший научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических
наук

С.Ю. Скузоватов 26.12.2025

С.Ю. Скузоватов

(раздел 5)

Главный научный сотрудник, доктор
геолого-минералогических наук

А.Б. Перепелов 26.12.2025

А.Б. Перепелов

(раздел 9)

Научный сотрудник, кандидат
геолого-минералогических наук

Ю.Д. Щербаков 26.12.2025

Ю.Д. Щербаков

(разделы 9)

Научный сотрудник, кандидат
геолого-минералогических наук

Т.А. Радомская 26.12.2025

Т.А. Радомская

(раздел 6)

Исполнители:

Научный сотрудник, кандидат
геолого-минералогических наук

Л.В. Кущ 26.12.2025

Л.В. Кущ

(раздел 1)

Научный сотрудник, кандидат
геолого-минералогических наук

Н.В. Шептякова 26.12.2025

Н.В. Шептякова

(раздел 1)

Научный сотрудник, кандидат
геолого-минералогических наук

Левицкий 26.12.2025
подпись, дата

И.В. Левицкий
(раздел 2)

Младший научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических
наук

Дмитриева 26.12.2025
подпись, дата

А.С. Дмитриева
(раздел 7)

Младший научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических
наук

Глушкова 26.12.2025
подпись, дата

В.Е. Глушкова
(раздел 7)

Главный научный сотрудник,
академик РАН

Шацкий 26.12.2025
подпись, дата

В.С. Шацкий
(раздел 5)

Научный сотрудник, кандидат
геолого-минералогических наук

Цыпукова 26.12.2025
подпись, дата

С.С. Цыпукова
(раздел 9)

Младший научный сотрудник

Жиглев 26.12.2025
подпись, дата

А.П. Жиглев
(раздел 9)

Нормоконтролер

Гармышева 26.12.2025
подпись, дата

Т.Ю. Гармышева

РЕФЕРАТ

Стр. 86, рис. 16, таб. 1, лит. 90, прилож. 3.

ГРАНИТНЫЙ МАГМАТИЗМ, МЕТАСОМАТОЗ, МЕТАМОРФИЗМ,
ВУЛКАНИЗМ, ПИРОМЕТАМОРФИЗМ, ГЕОДИНАМИКА, ОРУДЕНЕНИЕ

В 2025 году проведены исследования эволюции континентальной литосферы складчатого обрамления юга Сибирского кратона, включая процессы образования и эволюции мантийных магм в субдукционных и внутриплитных обстановках, внутрикоровой дифференциации и фракционирования, формированием редкометалльной специализации гранитоидов, высокоградного преобразования коровых магматических и осадочных комплексов в субдукционно-аккреционных и коллизионных процессах и супракrustальных условиях, их следствиях для геохимической и изотопной неоднородности литосферы орогенов. На примере редкометалльных Li-F гранитов Монголии показан характерный рост концентраций F, Li, Rb, Cs, Sn, W, Be, Ta, Nb при процессах флюидно-магматической дифференциации. Ассоциации акцессорных минералов-концентраторов P, Nb, Ta, возраст редкометалльных пегматитов Южно-Сангиленского и Восточно-Саянского поясов указывают на их связь с гранитами S-, A2-типов и гибридных гранитов. Выявлены реликты надсубдукционных базитовых комплексов в восточной части Байкало-Муйского пояса и южного обрамления Монголо-Охотского орогена, сформированных при значительной роли метасоматизированных мантийных источников и рециклиинга терригенного субстрата. Построена модель эволюции магматической системы Тэсийнгольского вулканического ареала Монголии, предполагающая уменьшение глубин магмообразования во времени от границы астеносферной и литосферной мантии до границы Мохо. Для метаосадочных пород комплексов Фенноскандинавского и Сибирского кратонов и их обрамления обоснованы закономерности литогенеза и формирования из питающих ТТГА-провинций. На основе минерально-фазовых особенностей в пирометаморфических комплексах Монголии охарактеризованы процессы частичного плавления при высокой активности CO₂.

Приведены общие результаты исследований за период 2021–2025 гг., посвященных процессам формирования и перераспределения вещества в масштабе от отдельных минеральных фаз до региональных и глобальных процессов, связанных с формированием контрастных по составу мантийных источников магм, эволюцией расплавов от мантийных до верхнекоровых уровней, метаморфизмом и плавлением в конвергентных и

внутриплитных обстановках и возможных геохимических и изотопных эффектах указанных процессов для неоднородности фанерозойской литосферы.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	8
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЕТА	
Раздел 1 Генетическая и геодинамическая природа гранитоидных и связанных с ними пегматитовых серий пород с выделением потенциально редкометалльных типов (на примере ранне- и позднемезозойских гранитоидных комплексов Монголии).....	11
Раздел 2 Вещественные характеристики метаосадочных пород в архейско-палеопротерозойских интракратонных массивах тоналит-трондьемит-гранитоидных ассоциаций, зеленокаменных и гранулитовых поясов в фанерозойских метаморфических складчатых поясах обрамления Сибирского и Фенно-Скандинавского кратонов, юго-западного и восточного Памира. Закономерности петrogenезиса и формирования месторождений полезных ископаемых.....	15
Раздел 3 Геохимия, минералогия акцессорных фаз-концентраторов редких элементов и возрастные характеристики редкометалльных пегматитов Южно-Сангиленского и Восточно-Саянского пегматитовых поясов.....	19
Раздел 4 Источники вещества, сформировавшего континентальную кору Монголо-Охотского орогенного пояса в позднем палеозое – раннем мезозое по данным Sr-Nd изотопной систематики пород вулканогенно-осадочных и метаморфических образований орогена.....	21
Раздел 5 Роль и обстановки нижнекорового базитового магматизма и высокобарического-высокотемпературного метаморфизма в формировании изотопно-геохимической неоднородности аккреционно-коллизионной структуры Южно-Муйского блока.....	27
Раздел 6 Источники магматизма и состав родоначальных расплавов щелочно-карбонатитовых комплексов Зиминской группы интрузий (Восточный Саян).....	33
Раздел 7 Минералогия богатых Mn паралав из пирометаморфических комплексов Монголии. Активность и роль CO ₂ в процессах частичного плавления.	37
Раздел 8 Геохимия и возраст кобальтоносных Fe-Mn корок (КМК) гайотов Магеллановых Гор.....	41

Раздел 9 Модель строения и эволюции литосферной мантии Северной Монголии на основе изотопно-геохимических и минералогических исследований состава и условий кристаллизации мегакристаллов, включений перидотитов и пироксенитов из пород Тэсийнгольского позднекайнозойского вулканического ареала.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ИТОГАМ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА.....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ А. СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ В РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ ИЗДАНИЯХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА ЗА 2021–2025 ГГ.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ НА РОССИЙСКИХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ СОВЕЩАНИЯХ В 2025 Г.....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2021–2025 ГГ.....	85

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

DM – деплестирированная мантия

EMI, EMII – типы обогащенной мантии

HFSE – высокозарядные элементы

IAB – базальты островных дуг

LC, UC – нижняя (LC) и верхняя (UC) кора

LOI – потери при прокаливании

Mg# - коэффициент магнезиальности

MORB – базальты океанических хребтов

MZ1 – ранний мезозой

MZ2 – поздний мезозой

OIB – базальты океанических островов

ORG – граниты океанических хребтов

P – давление

Post-COLG – постколлизионные граниты

REE, LREE, HREE – редкоземельные элементы

Syn-COLG – синколлизионные граниты

T - температура

TDM2 – модельный изотопный возраст

TTГ – трондьемит-тоналит-гранитная ассоциация

UR – однородный изотопный резервуар

VAG – граниты вулканических дуг

WPG – внутриплитные граниты

ВВЕДЕНИЕ

Целью проекта государственного задания «Роль магматических, метаморфических и геодинамических процессов в рециклинге вещества и в формировании изотопно-геохимически неоднородной континентальной литосферы в складчатом обрамлении Сибирского кратона» является определение роли геодинамических, метаморфических и магмогенерирующих процессов в формировании изотопно и геохимически неоднородной континентальной литосферы и специализированных источников магматического и рудного вещества в докембрийско-фанерозойской истории развития Центрально-Азиатского орогенного пояса и перикратонных областей Сибирского кратона. Исследования по проекту направлены на получение новейших данных о причинах, процессах и масштабах формирования изотопно-геохимически неоднородной континентальной литосферы в Центрально-Азиатском орогенном поясе и иных перикратонных структурах, сформированных в обстановках субдукции, коллизии, аккреции и результате внутриплитной активизации. Процессы частичного плавления астеносферной и литосферной мантии, взаимодействие мантийных магм с коровым субстратом, процессы внутриструевовой дифференциации и фракционирования расплавов, высокоградного и низкобарического метаморфизма магматических и осадочных комплексов, формируют специализированные источники вещества, в том числе определяют образование рудоносных гранитоидных, щелочных салических и щелочно-базальтовых магм, родоначальных для месторождений редких металлов, ряда халько- и сидерофильных элементов.

Настоящий отчет является пятым и заключительным за период 2021-2025 гг. Его основная часть содержит главные результаты исследований, проведенных в 2025 г., в заключении же обобщены результаты исследований по отдельным блокам исследований в рамках проекта, показателям результативности и возможному применению полученных результатов в науке и практике. По результатам исследований предыдущих лет ранее подготовлены и приняты следующие отчеты:

- этап 2021 (с 01.01.2021 по 31.12.2021), 0284-2021-0007 (рег. № 222022100005-4), отчет о научно-исследовательской работе (промежуточный)
- этап 2022 (с 01.01.2022 по 31.12.2022), 0284-2021-0007 (рег. № 223020701004-5), отчет о научно-исследовательской работе (промежуточный)
- этап 2023 (с 01.01.2023 по 31.12.2023), 0284-2021-0007 (рег. № 224021300391-7), отчет о научно-исследовательской работе (промежуточный)

- этап 2024 (с 01.01.2024 по 31.12.2024), 0284-2021-0007 (рег. № 225021310032-5), отчет о научно-исследовательской работе (промежуточный)

В 2025 г. проводились исследования в соответствии со следующими поставленными в проекте задачами:

- охарактеризовать роль и обстановки нижнекорового базитового магматизма и высокобарического-высокотемпературного метаморфизма в формировании изотопно-геохимической неоднородности аккреционно-коллизионной структуры Южно-Муйского блока;

- установить источники вещества, сформировавшего континентальную кору Монголо-Охотского орогенного пояса в позднем палеозое – раннем мезозое по данным Sr-Nd изотопной систематики пород вулканогенно-осадочных и метаморфических образований орогена;

- установить на основе геологических, минералого-геохимических и изотопных характеристик генетическую и геодинамическую природу гранитно-пегматитовых разновозрастных серий пород южного обрамления Сибирского кратона и Монголии и оценить их потенциальную рудоносность (на примере ранне- и позднемезозойских гранитоидных комплексов Монголии);

- установить зависимость потенциальной рудоносности гранит-пегматитовых серий Прибайкалья от геодинамической обстановки их зарождения, степени изменения и особенностей состава протолита;

- установить типы и провести петрологическую реконструкцию процессов дифференциации гранитных расплавов в обстановке ранне- и позднеколлизионных стадий развития орогенов на примере раннепалеозойских гранитов Южно-Сангиленского пояса;

- систематизировать данные по вещественным характеристикам пород архейско-палеопротерозойских интракратонных массивов, тоналит-трондьемит-гранитоидных ассоциаций, зеленокаменных и гранулитовых поясов (Сибирский и Фенно-Скандинавский кратоны, Памир);

- создать модель строения и эволюции метасоматизированной литосферной мантии на основе изотопно-геохимических и минералогических исследований мантийных ксенолитов и ксенокристов в вулканических породах гайотов Магеллановых Гор и мантийных мегакристов Тэсийнгольского позднекайнозойского вулканического ареала Северной Монголии;

- провести сравнительный анализ условий образования паралав и клинкеров пирометаморфических комплексов Монголии (Нилгинского и Хамарин-Хурал-Хид),

изучить свойства редких и потенциально новых минералов в пирогенных породах этих комплексов;

- определить источники магматизма и состав родоначальных расплавов щелочно-карбонатитовых комплексов Зиминской группы интрузий (Восточный Саян).

В исследованиях участвовали научные коллективы лаборатории геохимии изотопов и лаборатории геохимии гранитоидного магматизма и метаморфизма Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. В их составе 17 научных сотрудников, включая 1 академика РАН, 4 докторов наук, 11 кандидатов наук, 1 молодого научного сотрудника без степени, инженерно-технический персонал в количестве 13 человек, включая, главным образом, химиков-аналитиков и инженерно-технический персонал по обслуживанию научного оборудования.

Государственное задание по проекту в 2025 году выполнено в полном объеме. В 2025 году по теме проекта опубликовано 21 статья в журналах из международных баз данных WOS и Scopus, из них 3 статьи квартилей Q1 и Q2 по WOS, представлено 20 докладов на всероссийских научных конференциях в очном и онлайн форматах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЕТА

Раздел 1 Генетическая и геодинамическая природа гранитоидных и связанных с ними пегматитовых серий пород с выделением потенциально редкометалльных типов (на примере ранне- и позднемезозойских гранитоидных комплексов Монголии).

В Центрально-Азиатском складчатом поясе (ЦАСП) геологическое развитие в фанерозое Монголии и Байкальского региона характеризовалось формированием разновозрастных ареалов гранитоидного магматизма, сопровождаемого часто в мезозойские эпохи рудной и редкометалльной продуктивностью. Гранитоиды позднемезозойского ареала (MZ_2) на территории Монголии проявлены и исследованы в меньшей степени, особенно в отношении геологического возраста, минералого-геохимических особенностей и состава, поэтому им было уделено главное внимание. К наименее исследованным относятся рудоносные Барун-Цогтинские интрузии редкометалльных Li-F гранитов, расположенные в Южно-Керуленском поднятии Восточной Монголии. К Барун-Цогтинским интрузиям приурочено одноименное W месторождение. Они расположены в южной части позднемезозойского ареала магматизма и приурочены к субширотной зоне глубинного разлома, по которому сочленяются области каледонской и раннегерцинской складчатости.

В районе месторождения Барун-Цогто находятся два небольших массива: Восточный (3.7×1.5 км) и Западный. Западный Барун-Цоггинский массив, расположенный вблизи W месторождения, имеет меньшие размеры (0.65×0.5 км) и более сложное строение (в соответствии с рисунком 1). В строении интрузии также наблюдается зональность. Его периферийная зона (до 100 м шириной) сложена биотитовыми гранитами, которые в центральной части массива секутся порфировидными амазонит-альбитовыми гранитами с биотитом, а также амазонит-альбитовыми гранит-порфирами с мусковитом. В эндоконтактовой зоне среди гранитов наблюдаются шлировые пегматоидные тела с крупными кристаллами амазонита и кварца. Порфировидные амазонит-альбитовые граниты пересекаются пологими телами мелкозернистых мусковитовых гранитов, которые отнесены к фазе дополнительных интрузий. Все гранитные породы Западного Барун-Цоггинского массива, включая шлировые пегматиты, грейзенизированы. В жильных телах грейзенов наблюдается отчетливо выраженная зональность.

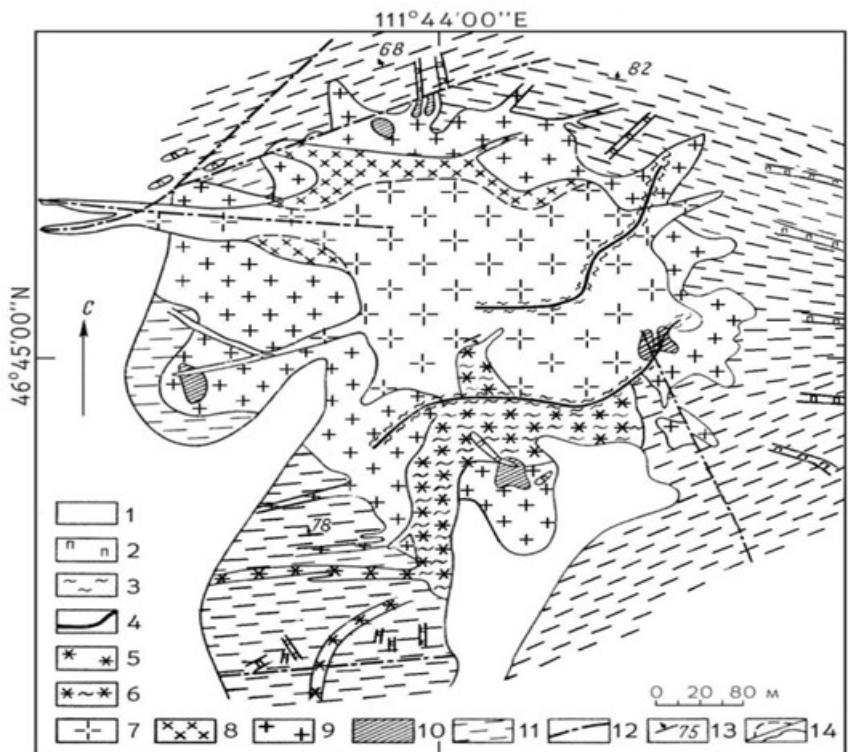


Рисунок 1 – Схема геологического строения Барун-Цогтинского Западного массива

По работе [1] с дополнениями авторов отчета. 1 – четвертичные отложения; 2 – жилы пегматитов; 3 – грейзенизированные граниты и кварц-мусковитовые грейзены; 4 – кварцевая жила; 5 – амазонит-альбитовые с мусковитом граниты; 6 – грейзенизированные граниты дополнительной фазы; 7 - амазонит-альбитовые с мусковитом гранит-порфиры; 8 – амазонит-альбитовые с биотитом граниты; 9 – неравномернозернистые биотитовые граниты; 10 – ксенолиты вмещающих пород; 11 – сланцы, песчаники, гравелиты и конгломераты пермского возраста; 12 – тектонические нарушения; 13 – элементы залегания пород; 14 – линии контактов пород.

Проведено U-Pb изотопное датирование LA-ICP-MS методом единичных зерен циркона из главных типов пород Западного и Восточного массивов Борун-Цогто. Результаты Rb-Sr и Sm-Nd изотопных исследований двух образцов амазонит-альбитовых гранитов Барун-Цогтинских массивов показали практически близкие значения возраста 126.6 и 128 млн лет.

Гипабиссальное положение отдельных многофазных интрузий, а также насыщенность их летучими компонентами, предопределяет развитие процессов флюидно-магматической дифференциации и метасоматических процессов с проявлением редкометалльной Li, Ta, Sn, W минерализации. С целью сравнительной оценки потенциальной рудоносности исследуемых разновозрастных гранитоидов проведен

анализ распределения в них главных рудных элементов (Sn и W) в различных известково-щелочных гранитоидах и Li-F гранитах MZ₁ и MZ₂ ареалов магматизма Монголии.

Важно отметить, что насыщение постмагматических растворов летучими компонентами может приводить к образованию метасоматитов различной щелочности (грейзены, альбититы) и образованию концентрированной редкометалльной минерализации (Sn, W, Li, Ta, Nb).

На примере эталонных многофазных интрузий установлено, что при их эволюции редкометалльным гранитам Li-F типа свойственно снижение величин индикаторных K/Rb, Nb/Ta, Zr/Hf отношений и характерным является закономерный рост концентраций F, Li, Rb, Cs, Sn, W, Be, Ta, Nb при процессах эволюции магм. Важную роль при формировании потенциально рудоносных в отношении редких металлов гранитов и пегматитов играют процессы флюидно-магматической дифференциации.

Учитывая установленные широкие вариации редкоэлементного и изотопного состава редкометалльных гранитов Монголии, распространенных в пределах различных зон крупных ареалов магматизма, исследователями допускается влияние мантийных источников плюмов на состав редкометалльных гранитных магм и процессов глубокой дифференциации на их потенциальную рудоносность в промежуточных камерах в континентальной коре. Проведен сравнительный анализ эволюции массивов палингенных гранитоидов известково-щелочного ряда (Бага-Хэнтэйский, MZ₁, Их-Наротин-Хидский, MZ₂) и интрузий редкометалльных литий-фтористых гранитов Центральной и Восточной Монголии, определены их петролого-геодинамические и минералого-geoхимические различия.

При изучении многокомпонентных минералов редкометалльных гранитов, пегматитов и метасоматитов, с целью получения новой информации о видовом составе, установления их принадлежности к различным минералого-geoхимическим типам и изучения процессов концентрирования редкометалльной минерализации, очень важно иметь более полную информацию не только о количественной оценке изменений фазового и химического состава данных исследуемых объектов, но и включений в них мелких микронных аксессорий редкометалльных минералов. Перспективными методами для решения подобных задач являются локальные методы исследования такие как, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и рентгеноспектральный электронно-зондовый микроанализ (РСМА).

В рамках данного проекта и в рамках сотрудничества по выполнению проекта ИГХ СО РАН №0284-2021-0005 «Развитие методов исследования химического состава и структурного состояния природных и техногенных сред в науках о Земле» на основе

сочетания методов СЭМ и РСМА проведено комплексное исследование многокомпонентных породообразующих и акцессорных редкометалльных минералов гранитов, пегматитов и метасоматитов из разных типов пород многофазного массива Бага-Газрын (Центральная Монголия). Исследования выполнены на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 LMH (TESCAN, Чехия) и рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализаторе Superprobe JXA-8200 (JEOL Ltd, Япония). Полученные результаты исследования методами СЭМ и РСМА о фазовом и элементном составе многокомпонентных породообразующих и включений редкометалльных акцессорных минералов из разных типов пород массива Бага-Газрын, позволили получить новую информацию о минералого-geoхимических особенностях различных типов гранитоидов, закономерностях распределения в них минеральных акцессорных фаз, geoхимической эволюции, а также P-T условий их образования.

ВЫВОДЫ

На примере периферийных зон разновозрастных MZ_1 и MZ_2 магматических ареалов показано, что оруденение часто ассоциирует с многофазными массивами и малыми интрузиями редкометалльных Li-F гранитов Монголии. На примере эталонных интрузий установлено, что редкометалльным гранитам свойственно снижение величин индикаторных K/Rb, Nb/Ta, Zr/Hf отношений и характерным является закономерный рост концентраций F, Li, Rb, Cs, Sn, W, Be, Ta, Nb при процессах эволюции магм Li-F типа. Важную роль при формировании потенциально рудоносных в отношении редких металлов гранитов и пегматитов играют процессы флюидно-магматической дифференциации.

Раздел 2 Вещественные характеристики метаосадочных пород в архейско-палеопротерозойских интракратонных массивах тоналит-трондьемит-гранитоидных ассоциаций, зеленокаменных и гранулитовых поясов в фанерозойских метаморфических складчатых поясах обрамления Сибирского и Фенно-Скандинавского кратонов, юго-западного и восточного Памира. Закономерности петрогенезиса и формирования месторождений полезных ископаемых.

Изучены протолиты архея-палеопротерозоя в Сибирском кратоне – Онотский, Урикско-Ийский зеленокаменные пояса (2.9–2.7 млрд лет), шарыжалгайский (AR_{1-2} , AR_3 – PR_1), китайский (2.5 млрд лет), черемшанский (3.0 млрд лет) гранулитовые [2, 3]. Фенноскандинавский кратон – кольский (3.6–3.4 млрд лет), беломорский (2.9–2.8 млрд лет), лапландский (2.0–1.9 млрд лет), свекофенский (2.1–1.8 млрд лет), ваханский комплексы [4]. Неопротерозойские и фанерозойские протолиты в комплексах обрамления подвижных поясов Сибирского кратона – хамардабанский (716–612 млн лет), ольхонский (840–535 млн лет); святоносский; в фанерозое – музкольский Восточного Памира [2, 5].

Палеореконструкции протолитов метаосадочных пород проведены по методу А.Н. Неелова [6]. Величина a – глиноземистый модуль (Al_2O_3/SiO_2) в осадочном процессе отражает роль химического и механического выветривания, b – общую меланократовость пород ($Fe_2O_3/Fe_2O_3 + Fe_2O_3+MgO+CaO$). Эти величины – основа проведения систематизации осадочных пород. В изученных комплексах Сибири и Северо-Запада России выявлено близкое соотношение в них обломочных (не зрелых) и зрелых категорий метаосадков, крайне ограниченное развитие продуктов их глубоких преобразований. На графике распределения величин a - b в комплексах докембрия Сибирского кратона (в соответствии с рисунком 2) наблюдаются близкие соотношения в них обломочных (не зрелых – метапсаммитолитов, в соответствии с рисунком 2; выб. I-1, I-2, I -3), зрелых (глинистых и пелитовых фракций; в соответствии с рисунком 2; выб. II, III-1,2), продуктов химических преобразований (в соответствии с рисунком 2; выб. IV-1,2). Наиболее широко развиты алевролиты, алевропелитовые и пелитовые аргиллиты (в соответствии с рисунком 2; II, III-1,2), в меньшей степени – полимиктовые псаммитолиты и субсиаллиты (в соответствии с рисунком 2; I-3, IV-1). Мономиктовые и олиgomиктовые псаммитолиты, сиалиты и латериты не встречаются или слабо распространены (в соответствии с рисунком 2; I-1,2, IV-2, V). Для мономиктовых и олиgomиктовых псаммитолитов характерны широкие вариации содержаний петрогенных и редких элементов. Для мономиктовых и олиgomиктовых псаммитолитов характерны широкие вариации величин b (в соответствии с рисунком 2; I-1,2). Близкие соотношения в метаосадочных породах

параметров a , b (в соответствии с рисунком 2), соответственно категории метаосадочных пород также отмечаются на диаграммах для комплексов Фенноскандинавского кратона, подвижных поясов Сибирского кратона, бадахшанского комплекса Юго-Западного Памира, что отражает их формирование также по ТТГа.

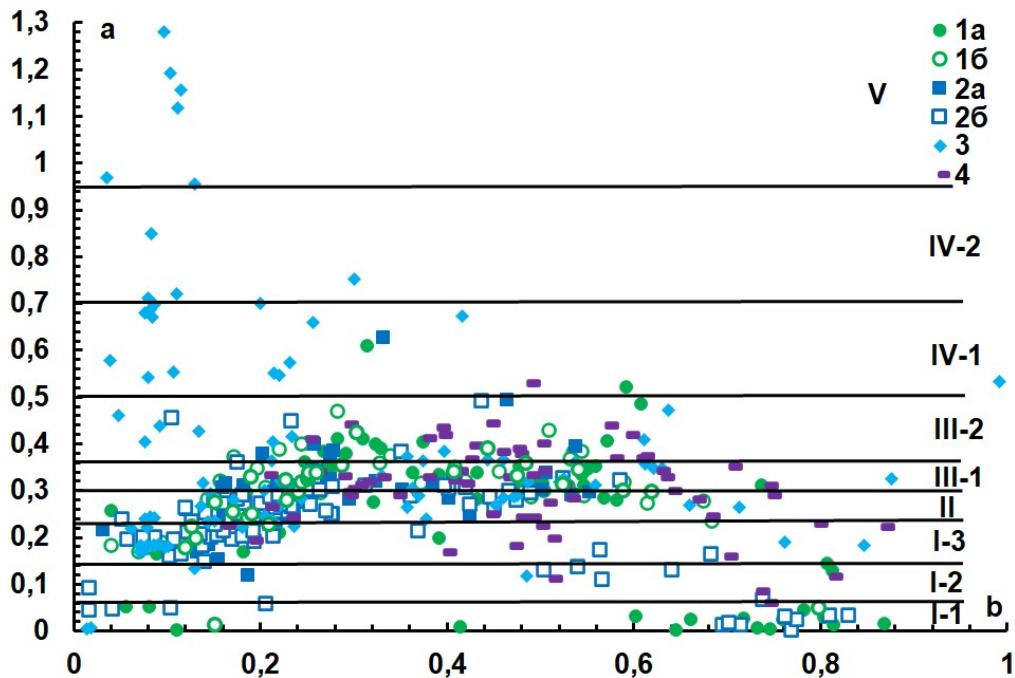


Рисунок 2 - Петрохимические характеристики а, б [6] метаосадочных пород в комплексах Сибирского кратона

Условные обозначения: 1а – породы Онотского ЗП; 1б – породы Урикско-Ийского ЗП; 2а – породы шарыжалгайского гранулитового комплекса (Ar₁₋₂) и 2б – породы шарыжалгайского гранулитового комплекса (AR₃-PR₁); 3 – породы китайского гранулитового парагнейсового комплекса; 4 – породы черемшанской свиты.

Категории: псаммитолиты мономиктовые (I-1), олигомиктовые (I-2), полимиктовые (I-3); алевролиты (II); аргиллиты алевропелитовые (III-1), пелитовые (III-2); субсиаллиты (IV-1), сиаллиты (IV-2); латериты (V).

В комплексах Сибирского и Фенноскандинавского кратонов, подвижных поясах Сибирского кратона), канского комплекса линии на графиках (в соответствии с рисунком 3, 1-4) нормирования ($n_{\text{rock}}/n_{\text{TTG}}$) содержаний петрогенных и редких элементов в метаосадках (алевропелитовых аргиллитах) к составу ТТГа [7] имеют симбатный характер. Такая симбатность линий в метаосадках для структур разных регионов отражает их формирование по породам одного состава – ТТГа. Различия в значениях отношений величины n_{rock} к n_{TTG} (в соответствии с рисунком 3, линии 1-4) отражают: пониженные (SiO_2 , Na_2O , Li , Zr) – уменьшение их содержаний относительно субстрата; повышенные

(TiO_2 , MnO , K_2O , Rb , Cs , Mo , Yb , Y , Zn , V , Cr , Ni) – фиксируют их накопление; относительно стабильные (Al_2O_3 , Be , La , Ce , Nd) – наследование (сохранение) их количеств в осадках от ТТГа; разнонаправленные (Fe_2O_3 , CaO , MgO , P_2O_5 , Ba , Sr , F , Sn , Pb , Cu , Co , Sc) – отражают участие дополнительных источников – основных, ультраосновных пород калишпатовых гранитов. Для палеопротерозойских метаосадков бадахшанского комплекса ЮЗ Памира также фиксируется симбатность линий, отражающая участие в их формировании протолитов ТТГа (в соответствии с рисунком 3, линия 5). Симбатность линий отсутствует для музкольского комплекса Восточного Памира (в соответствии с рисунком 3, линия 6). Характерным для него является обеднение CaO , Na_2O , Sr , Zn , Cu , Cr , V , Ni и обогащение K_2O , B , Y , Zr .

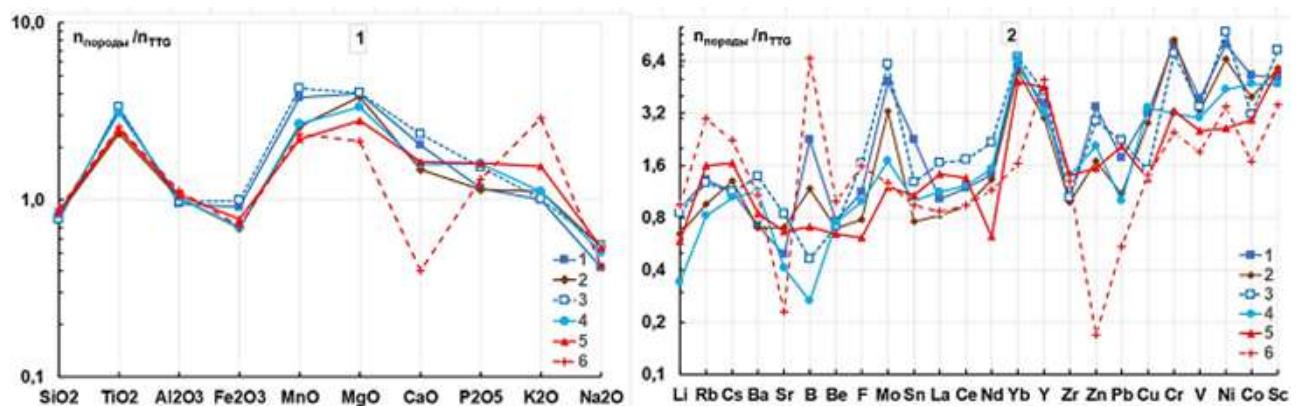


Рисунок 3 - График нормирования содержаний петрогенных (1) и редких элементов (2) в метаосадочных породах (алевропелитовых аргиллитах) к составу ТТГа [7]

Породы комплексов Сибирского (1) и Фенноскандинавского (2) кратонов; подвижных поясов в обрамлении Сибирского кратона (3); канского комплекса Енисейского кряжа (4); бадахшанского (5) – ЮЗ Памира; музкольского (6) – В. Памира.

Наиболее значимыми в изученных регионах является присутствие в нем крупных месторождений железа и глинозема в архейских, палепротерозойских и фанерозойских комплексах. В Сибири и на севере России руды железа – это мономинеральные и полиминеральные железистые кварциты и глиноземистые породы (сиаллиты, субсиаллиты, латериты) с существенным вариациями в них содержаний SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Эти элементы накапливаются сопряженно или в существенно кварцевых, глиноземистых, железистых, или в различной степени смешанных осадках. На юго-западном и восточном Памире известны многочисленные проявления железистых кварцитов и глиноземистых руд, но таких гигантских как в России нет. В китайском – известно крупное Китайское месторождение силлиманитовых руд; в черемшанской свите – колчеданное оруденение. В магнезитовых мраморах Онотского зеленкаменного пояса

находится крупнейшее эксплуатируемое в России Онотское месторождение высококачественного маложелезистого талька, в доломитовых – месторождения офиокальцита. Породы комплексов подвижных поясов Сибирского кратона – крупная провинция распространения разнообразных месторождений мраморов, цементного сырья и декоративных кальцифиров, апатита (карбонат-диопсидового типа), графита, кварца. В гранат-биотитовых гнейсах слюдянского комплекса в 50-80 г.г. было разведано Безымянское месторождение графита и ряд проявлений апатита в кварц-апатитовых породах. Нами начато изучение редкometалльных (Li, Ta, Nb) гранитоидов Восточных Саян, с целью обоснования их потенциальной рудоносности и был установлен их возраст (1810 ± 5 млн лет).

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили впервые обозначить ведущую роль массивов древнейших ТТГа (серых гнейсов) в формировании по ним осадочных пород и связанных с ними месторождений полезных ископаемых в метаморфических комплексах от архея до фанерозоя. В архейских, палео-протерозойских, неопротерозойских, фанерозойских метаморфических комплексах установлены близкие соотношения в них обломочных (не зрелых) и зрелых метаосадочных категорий пород, продуктов их глубоких химических преобразований. Разрушение массивов ТТГа в процессах выветривания сопровождалось формированием месторождений железистых и глиноземистых кварцитов в комплексах Фенноскандинавского и Сибирского кратонов. В проекте обоснована фундаментальная значимость массивов ТТГа в формировании протолитов метаосадочных пород от архея до фанерозоя в комплексах Сибирского и Фенноскандинавского кратонов, подвижных поясах обрамления Сибирского кратона. Именно ТТГа, доминировавшие от ранних стадий развития Земли, могли быть протолитами для большинства осадочных пород в архее-палеопротерозое Сибирского и Фенноскандинавского кратонов, комплексах подвижных поясов в обрамлении Сибирского кратона. Начиная с мезоархея на состав метаосадочных пород в питающих провинциях начинают оказывать влияние комплексы основных и ультраосновных пород, мезо- неоархейских и палеопротерозойских калиевых гранитоидов.

Раздел 3 Геохимия, минералогия акцессорных фаз-концентраторов редких элементов и возрастные характеристики редкометальных пегматитов Южно-Сангиленского и Восточно-Саянского пегматитовых поясов

В целях оценки условий петрогенезиса и направления эволюции редкометальных гранитных магматических систем в Южно-Сангиленском пегматитовом поясе (республика Тыва) были проведены исследования состава наиболее широко распространенных в этих породах акцессорных минералов-концентраторов летучих и редких элементов: фосфатов и тантало-ниобатов. Исследования проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа MIRA 3 LMH TESCAN и микроанализатора Superprobe JXA-8200 (Jeol Ltd, Япония) с использованием оборудования ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. Для исследования были выбраны сподуменовые пегматиты разных полей ЮОСП, в которых при повсеместно ведущей (петрогенной) роли лития выявлены существенные различия дополнительной редкометальной специализации [8]. Согласно общепринятой классификации П. Черных и Т.С. Эркит [9], их можно сопоставить с двумя разными семействами редкометальных пегматитов LCT и NYF, предположительно генетически связанными с S- и A-гранитами, соответственно [10, 11]:

(1) пегматиты в Бурчинском и Сутлугском полях, расположенных в средней части пояса ЮОСП близки к LCT-семейству (с классической для сподуменовых пегматитов Мира $\text{Li} \pm \text{Cs}$, Ta - специализацией);

(2) пегматиты Хартынского и Хусунгольского полей на западе и на востоке ЮОСП, соответственно, сочетают минералого-геохимические признаки двух различных семейств – LCT и NYF (с «гибридной» $\text{Li} \pm \text{Cs}$, Ta и $\text{Nb} \pm \text{Y}$, F специализацией).

Такое региональное разделение сподуменовых пегматитов Южно-Сангиленского пегматитового пояса указывает на различные условия их петрогенезиса, что подтвердили полученные в 2025 г. данные о разнообразии состава и смене ассоциаций акцессорных минералов-концентраторов фосфора, ниobia и тантала в этих породах. Они указывают на их вероятный гибридный источник: граниты S- и A-2-типа. Как известно, классические сподуменовые пегматиты LCT-семейства обычно обогащены фосфором, и именно эта их особенность, наряду с повышенной глиноземистостью, рассматривается как ключевой признак генетической связи с источниками S-типа [10, 11]. Информативность изучения примесей в составе акцессорных апатитов в качестве петрогенетических трассёров для гранитов различного типа (S, A, I) доказана в ряде работ [12, 13]. Исследования

индикаторных свойств акцессорных минералов редкометальных пегматитов ЮСП для оценки условий петрогенезиса и рудоносности этих пород будут продолжены.

Для уточнения генетического родства редкометальных пегматитов и гранитов, с которыми они пространственно ассоциированы, в Южно-Сангиленском и Восточно-Саянском пегматитовых поясах, включающих крупные месторождения лития (Тастыгское и Гольцове, соответственно), были отобраны пробы минералов этих пород (цирконов, колумбитов, пирохлоров) и отправлены в аналитическую лабораторию ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург) для геохронологических U-Pb (ID TIMS) исследований. В результате предварительного анализа полученных результатов установлено следующее:

1) В Хартынском поле Южно-Сангиленского пояса абсолютный возраст сподуменовых пегматитов с «гибридной» LCT-NYF специализацией составляет 492 ± 11 млн лет и совпадает с возрастом редкометальных пегматитов других полей этого пояса, установленным ранее [14, 15]. Он также близок к возрасту гранитов A2-типа, сформировавшихся на поздне-коллизионной стадии развития орогена (489 ± 4 млн лет).

2) В Гольцовом, Бельском и Александровском полях Восточно-Саянского пояса полученные оценки возраста редкометальных пегматитов (1.83–1.80 млрд лет) существенно моложе возраста считавшихся «материнскими» для них гранитоидов саянского комплекса (1.88–1.87 млрд лет), что позволяет предположить их формирование в результате самостоятельного более позднего магматического события.

Предварительный анализ результатов исследований в 2025 году и выводы, сделанные на их основании, были опубликованы в журнале Доклады РАН [16], а также доложены на научных конференциях и опубликованы в их материалах [16, 17, 18].

ВЫВОДЫ

С помощью сканирующего электронного микроскопа MIRA 3 LMH TESCAN и микроанализатора Superprobe JXA-8200 (Jeol Ltd, Япония) с волновыми спектрометрами (ВДС) проведено исследования состава акцессорных минералов-концентраторов летучих и редких элементов - фосфатов и тантало-ниобатов, наиболее широко распространенных в сподуменовых пегматитах различных полей Южно-Сангиленского пояса. Полученные данные о разнообразии состава и смене ассоциаций акцессорных минералов-концентраторов фосфора, ниobia и тантала в этих породах указывают на различия их источников: граниты S-типа в одних полях и гибрид гранитов S-типа и A-2-типа в других.

Получены результаты геохронологических U-Pb (ID TIMS) исследований минералов, отобранных нами из редкометальных пегматитов Южно-Сангиленского и Восточно-Саянского пегматитовых поясов, включающих крупные месторождения лития

(Тастыгское и Гольцове, соответственно), и проведенных в аналитической лаборатории ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург). В Хартынском поле Южно-Сангиленского пояса абсолютный возраст сподуменовых пегматитов с «гибридной» LCT-NYF специализацией составляет 492 ± 11 млн лет и совпадает с возрастом редкометальных пегматитов других полей этого пояса, установленным ранее. Он также близок к возрасту гранитов A2-типа, сформировавшихся на поздне-коллизионной стадии развития орогена (489 ± 4 млн лет). В Гольцовом, Бельском и Александровском полях Восточно-Саянского пояса полученные оценки возраста редкометальных пегматитов (1.83–1.80 млрд лет) существенно моложе возраста считавшихся «материнскими» для них гранитоидов саянского комплекса (1.88–1.87 млрд лет), что позволяет предположить их формирование в результате самостоятельного более позднего магматического события.

Раздел 4 Источники вещества, сформировавшего континентальную кору Монголо-Охотского орогенного пояса в позднем палеозое – раннем мезозое по данным Sr-Nd изотопной систематики пород вулканогенно-осадочных и метаморфических образований орогена

Изучение истории формирования коры орогенных поясов проливает свет на процессы формирования континентальной коры, включая выяснение соотношений ее ювенильной и древней рециклированной составляющих. Это позволяет проводить оценки скорости роста континентальной коры как глобального геохимического резервуара в течение геологического времени [19, 20, 21, 22]. Кроме того, ювенильная кора является источником информации о палеоокеаническом пространстве, существовавшем на месте сформировавшегося орогена. Это касается времени существования палеоокеана, геодинамических обстановках, существовавших в его пределах, и источниках вещества магматических серий пород (Furnes, Safonova, 2019). Большинство существующих ныне моделей тектонического развития Центрально-Азиатского орогенного пояса (ЦАОП) предполагает последовательное наращивание южной окраины Сибирского палеоконтинента неопротерозойскими и раннепалеозойскими террейнами активных и пассивных континентальных окраин, офиолитами [23, 24, 25], а также тектонометаморфическими террейнами, включающими тектонически совмещенную (смешанную) древнюю кору с ювенильными мантийными магматическими породами [22]. Монголо-Охотский орогенный пояс (МООП) является наиболее молодой позднепалеозойско-раннемезозойской структурой в окружении более древних орогенов ЦАСП (в соответствии с рисунком 4, А) [26]. В Забайкальской части МООП представлены наиболее

полно сохранившиеся магматические и вулканогенно-осадочные островодужные комплексы пород, а также весь спектр образований аккреционной призмы, что позволяет провести оценку соотношения ювенильного и рециклированного осадочного материала в коре этого орогена. Наиболее представительным фрагментом ювенильной коры в южном обрамлении МООП являются образования уртуйской вулканогенно-осадочной свиты [27].

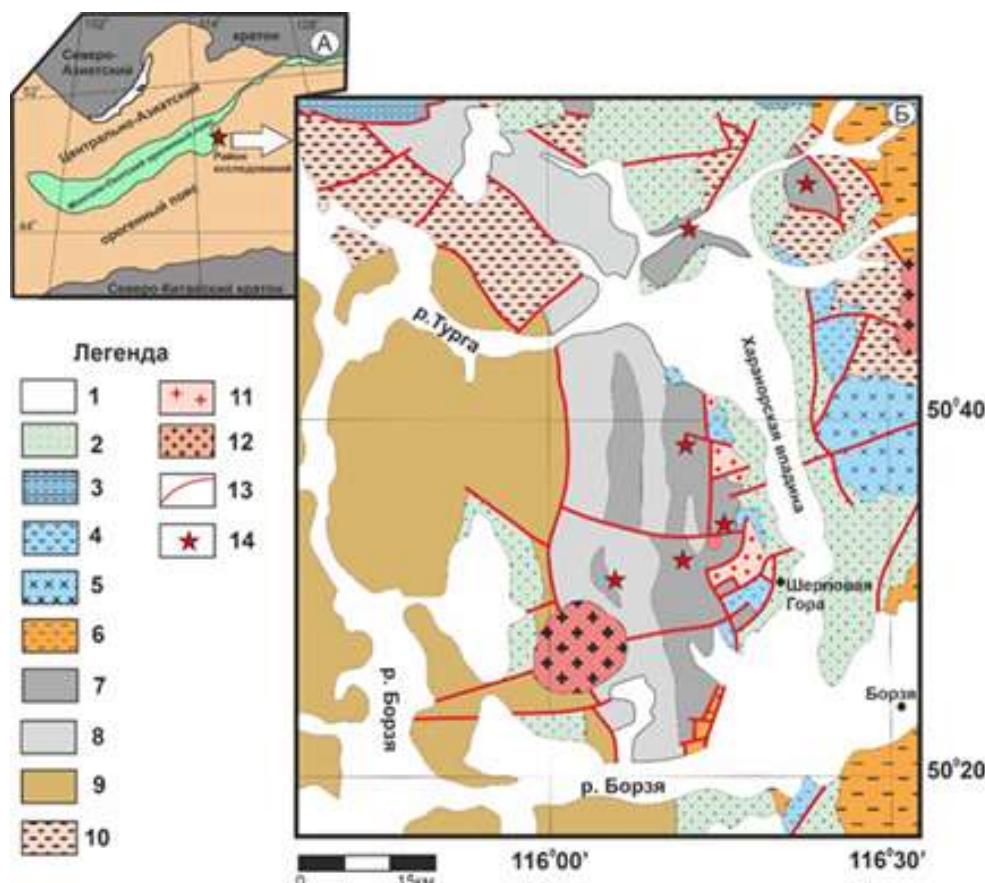


Рисунок 4 – Геологическая схема района Шерловой Горы и Харанорской впадины с упрощениями по [28]

Условные обозначения: 1 – четвертичные и неогеновые отложения; 2 – меловые отложения; 3 – юрские терригенные отложения; 4 – юрские вулканогенно-осадочные отложения; 5 – юрские субвулканические образования; 6 – пермские терригенные отложения; 7 – карбоновые вулканогенно-осадочные образования нижней толщи уртуйской свиты; 8 – карбоновые вулканогенно-осадочные образования верхней толщи уртуйской свиты; 9 – девонские вулканогенно-осадочные образования чиндантской свиты; 10 – докембрийские метаморфические породы; 11 – карбоновые граниты; 12 – меловые гранитоиды кукульбейского комплекса; 13 – разломы; 14 – места опробования.

Традиционно свита подразделяется на две толщи – нижнюю и верхнюю подсвиты (в соответствии с рисунком 4, Б) [28], причем доля вулканогенных пород уменьшается

снизу вверх по разрезу. Более поздними исследованиями было показано, что свита характеризуется сложной чешуйчато-надвиговой структурой [29].

Она представляет собой пакет тектонических пластин, погружающихся в западном направлении, сложенных терригенными, терригенно-туфогенными и терригенно-кремнистыми осадочными образованиями, с которыми ассоциируются потоки базальтов и, реже, андезибазальтов, андезитов и дацитов. Все типы вулканитов претерпели зеленокаменные изменения. Отложения уртуйской свиты прорваны дайками базальтов и риолитов, которые традиционно рассматриваются в составе свиты. В пределах вулканогенно-осадочной толщи неравномерно распределены линзы яшмоидов и органогенных известняков [29, 30].

Возраст свиты определен как раннекарбоновый на основе фаунистических остатков в линзах и блоках органогенных известняков [28, 30]. Определения возраста осадочных пород по конодонтам [29] свидетельствуют о том, что кроме раннекаменноугольных отложений (средний визе-серпухов), в низах разреза свиты могут присутствовать и позднедевонские отложения.

В стратотипической местности развития отложений нижней подсвиты к западу от Шерловой Горы (в соответствии с рисунком 4, Б) в разрезах среди вулканитов резко преобладают базальты нормальной щелочности ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} < 5\%$) при резко подчиненной доле базальтовых андезитов и андезитов. Базальтоиды повышенной щелочности ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} > 5\%$) – базаниты, трахибазальты, базальтовые трахиандезиты, развиты локально, образуя обособленные тектонические блоки.

Все типы базальтов характеризуются высоким уровнем накопления LILE. При этом в базальтах нормальной щелочности LILE резко преобладают над HFSE, что является характерным признаком пород, связанных своим происхождением с зоной субдукции. Об этом же свидетельствует и Sr максимум на спадер-кривых. Для базальтоидов повышенной щелочности дефицит HFS по сравнению с LILE отсутствует, а их мультикомпонентные кривые полностью сопоставимы с таковыми для базальтов океанических островов (OIB). Базальты нормальной щелочности характеризуются умеренно обогащенными спектрами распределения REE с $\text{La/Yb}_N = 0.98–1.83$, а в базальтах OIB типа степень дифференцированности спектра REE заметно выше ($\text{La/Yb}_N=4.62–7.04$).

Исходя из геохимических характеристик вулканитов можно сделать вывод о том, что уртуйская свита представляет собой фрагмент островной дуги и ее аккреционной призмы, что подтверждается дискриминационной диаграммой Th_N-Nb_N (в соответствии с рисунком 5, А), на которой составы базальтов нормальной щелочности располагаются в полях пород внутриоceanических дуг и преддуговых обстановок, а также дуг на

гетерогенном фундаменте. На диаграмме Nb/La-La/Sm_N (в соответствии с рисунком 5, Б) точки составов в большей мере группируются в поле базальтов задуговых бассейнов, но также частично в поле дуг на гетерогенном фундаменте. С островной дугой тектонически совмещены блоки океанических островов или поднятий [29]. Зона конвергенции подтверждается и особенностями частных осадочных разрезов отдельных тектонических пластин и блоков, в которых совмещены терригенные отложения континентального склона и кремнистые породы пелагиальной зоны палеоокеана или окраинного моря. Уртуйская островная дуга, а также офиолитовый комплекс Адацаг, сформированный в надсубдукционной обстановке и имеющий раннекарбоновый возраст [31], свидетельствуют о масштабных процессах субдукции океанической коры МООП под северную окраину Аргунского террейна и маркируют масштабный эпизод ювенильного корообразования.

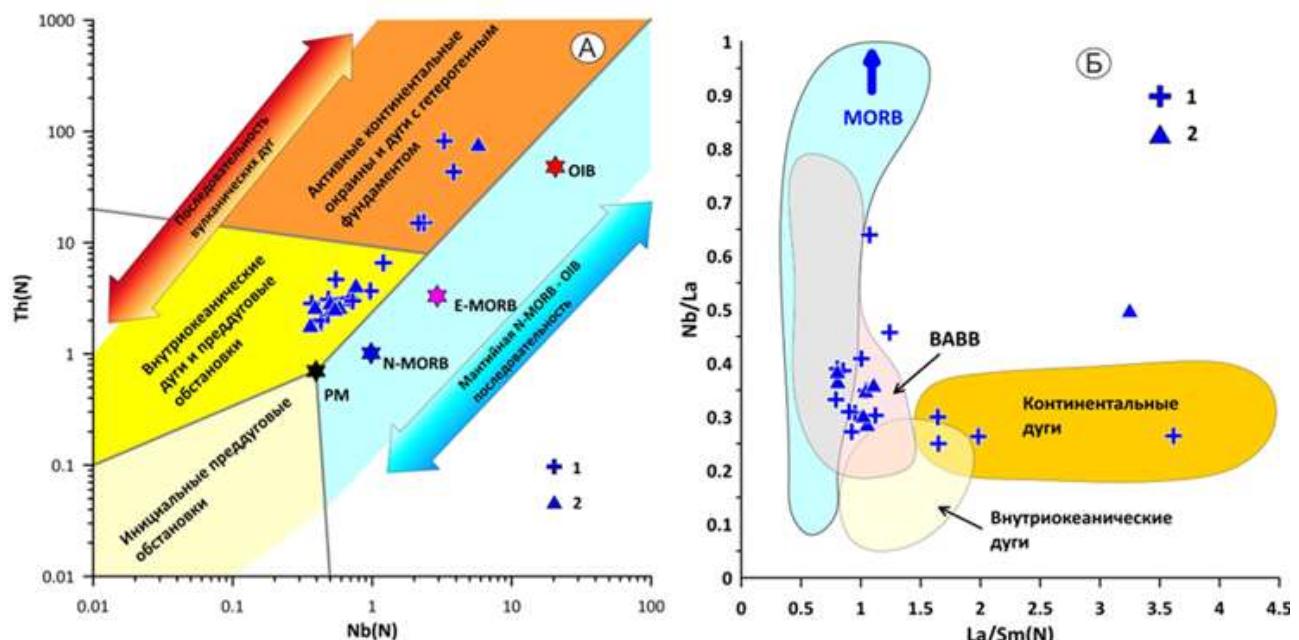


Рисунок 5 – Вариационные диаграммы для составов базитов на основе содержаний Th, Nb и РЗЭ [32]

Условные обозначения: (А) 1 – вулканиты; 2 - дайки и малые субвулканические тела, и вариационная диаграмма Nb/La —La/Sm_N; (Б) [22]: 1 – вулканиты; 2 – дайки и малые субвулканические тела.

Величины $\varepsilon_{\text{Nd}}(330\text{Ma})$ в базальтах уртуйской свиты положительны и лежат в пределах +1.7–(+6.0) (в соответствии с рисунком 6, А), указывая на непосредственную связь этих магматических образований с деплетированным изотопным мантийным источником и отвечая области изотопной эволюции Nd в ювенильной коре МООП [34].

Лишь один базальт имеет отрицательную величину $\varepsilon_{\text{Nd}}(330 \text{ Ma})$, равную -2.6 , что указывает на его контаминацию древним коровым веществом. Величины $T_{\text{Nd}}(\text{DM})$ вулканитов, лежащие в пределах $773\text{--}939$ млн лет и заметно превышающие оценки геологического возраста пород, могут служить указанием на некоторое влияние рециклированного осадочного материала, вовлекавшегося в процессы магмогенерации в процессе субдукции. Терригенные осадочные породы уртуйской свиты имеют более низкие величины $\varepsilon_{\text{Nd}}(330 \text{ Ma}) = +1.0 - (-3.4)$ по сравнению с вулканитами при существенно более древних модельных Nd изотопных возрастах $T_{\text{Nd}}(\text{DM})=1142\text{--}1408$ млн лет. Это свидетельствует о существенной доле древнего рециклированного корового вещества в источнике сноса уртуйской свиты. Таким источником могли служить позднерифейские образования Аргунского террейна, представленные гранитоидами урулюнгуевского комплекса и осадочными отложениями даурской серии.

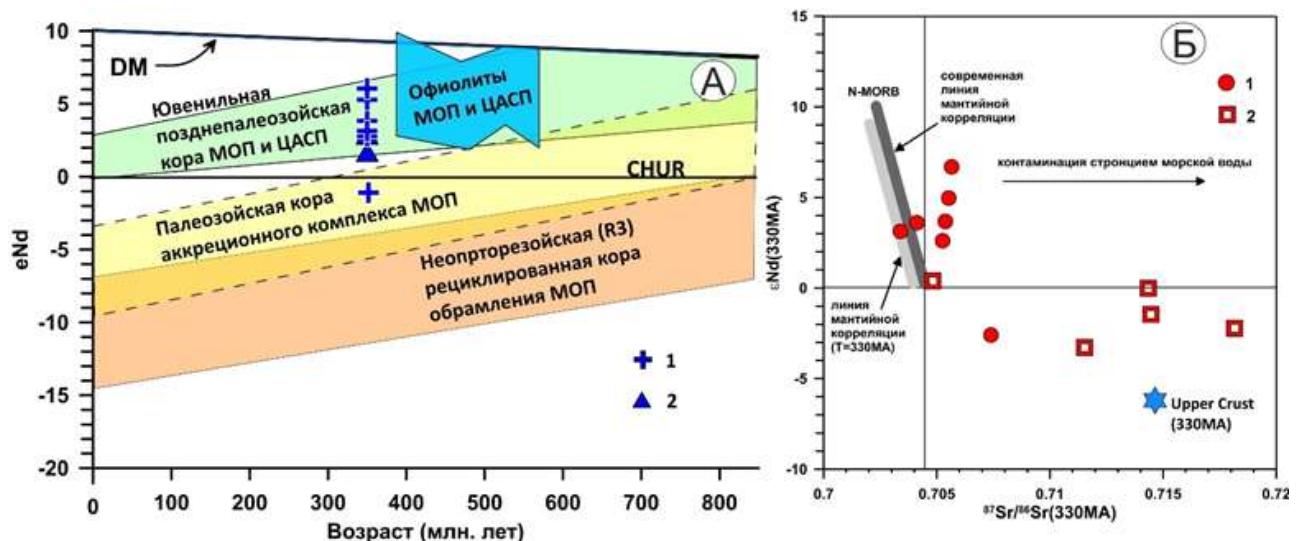


Рисунок 6 – (А) Диаграмма ε_{Nd} – абсолютный возраст (A) для базальтов уртуйской свиты (1 – вулканиты; 2 - дайки и малые субвулканические тела); (Б) диаграмма $\varepsilon_{\text{Nd}}-^{87}\text{Sr} / {^{86}\text{Sr}}$ для базальтов и вулканогенно-осадочных пород уртуйской свиты: 1 – базальты; 2 – вулканогенно-осадочные породы

Изотопная Sr-Nd систематика базальтов нормальной щелочности подтверждает их связь с деплетированным мантийным источником (в соответствии с рисунком 6, Б). Изотопный состав стронция пород сдвинут несколько вправо от линии мантийной корреляции, что обусловлено влиянием стронция морской воды при вторичных изменениях вулканитов. Базальт с отрицательной меткой ϵ_{Nd} имеет и наиболее радиогенный состав стронция – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (330 Ma) = 0.70739, что указывает на взаимодействие базальтового расплава с древним коровыми субстратом. Это может

служить указанием на то, что уртуйская островная дуга имела гетерогенный фундамент. Составы вулканогенно осадочных и терригенных пород на диаграмме образуют тренд от значений $\epsilon_{\text{Nd}}(330 \text{ Ma}) = +0.4$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(330 \text{ Ma}) = 0.70482$ в область радиогенных составов: $\epsilon_{\text{Nd}}(330 \text{ Ma}) = 0,0 - (-3.3)$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(330 \text{ Ma}) = 0.71153 - 0.71816$, что указывает на существенный привнос в бассейн осадконакопления древнего рециклированного корового вещества. Имеющиеся данные позволяют заключить, что последнее значительно преобладало над ювенильной коровой составляющей, поступавшей с островной дуги.

ВЫВОДЫ

Таким образом, наиболее представительным фрагментом ювенильной коры в южном обрамлении МООП являются образования уртуйской вулканогенно-осадочной свиты, имеющей сложную чешуйчато-надвиговую структуру и с долей условности подразделяемую на нижнюю и верхнюю подсвиты. Свита сложена терригенными, терригенно-туфогенными и терригенно-кремнистыми осадочными образованиями, с которыми ассоциируются потоки базальтов и, реже, андезибазальтов, андезитов и дацитов. Доля вулканогенных пород уменьшается снизу вверх по разрезу. Линзы яшмоидов и органогенных известняков неравномерно распределены в пределах вулканогенно-осадочной толщи. Возраст осадочных пород свиты определен фаунистически как раннекарбоновый.

Среди вулканитов резко преобладают базальты нормальной щелочности при резко подчиненной доле базальтовых андезитов и андезитов. Базальтоиды повышенной щелочности – базаниты, трахибазальты, базальтовые трахиандезиты, развиты локально, образуя обособленные тектонические блоки. Все типы базальтов характеризуются высоким уровнем накопления LILE. При этом в базальтах нормальной щелочности LILE резко преобладают над HFSE, что является характерным признаком пород, связанных своим происхождением с зоной субдукции. Для базальтоидов повышенной щелочности дефицит HFS по сравнению с LILE отсутствует, а их мультикомпонентные кривые полностью сопоставимы с таковыми для базальтов океанических островов (OIB).

Исходя из геохимических характеристик вулканитов нормальной щелочности следует вывод о том, что уртуйская свита представляет собой фрагмент островной дуги (внутриоceanической или с гетерогенным фундаментом) и ее аккреционной призмы. С островной дугой тектонически совмещены фрагменты океанических островов или поднятий, представленные блоками базальтов повышенной щелочности. Уртуйская островная дуга, а также офиолитовый комплекс Адацаг, сформированный в надсубдукционной обстановке и имеющий раннекарбоновый возраст, свидетельствуют о

масштабных процессах субдукции океанической коры МООП под северную окраину Аргунского террейна и маркируют масштабный эпизод ювенильного корообразования.

Величины $\epsilon_{\text{Nd}}(330 \text{ Ma})$ в базальтах уртуйской свиты положительны и лежат в пределах +1.7–(+6.0), указывая на непосредственную связь этих магматических образований с деплелированным изотопным мантийным источником и отвечая области изотопной эволюции Nd в ювенильной коре МООП. Величины $T_{\text{Nd}}(\text{DM})$ вулканитов, лежащие в пределах 939–773 –млн лет и заметно превышающие оценки геологического возраста пород, могут служить указанием на некоторое влияние рециклированного осадочного материала, вовлекавшегося в процессы магмогенерации в процессе субдукции. Изотопная Sr-Nd систематика базальтов нормальной щелочности подтверждает их связь с деплелированным мантийным источником. Составы вулканогенно осадочных и терригенных пород на диаграмме образуют тренд от значений $\epsilon_{\text{Nd}}(330 \text{ Ma}) = +0,4$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(330 \text{ Ma}) = 0.70482$ в область радиогенных составов: $\epsilon_{\text{Nd}}(330 \text{ Ma}) = 0.0 - (-3.3)$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} (330 \text{ Ma}) = 0.71153 - 0.71816$, что указывает на существенный привнос в бассейн осадконакопления древнего рециклированного корового вещества, преобладавшего над ювенильной составляющей.

Раздел 5 Роль и обстановки нижнекорового базитового магматизма и высокобарического-высокотемпературного метаморфизма в формировании изотопно-геохимической неоднородности аккреционно-коллизионной структуры Южно-Муйского блока

Гранатсодержащие гранулиты базитового и среднего состава, наблюдаемые в корневых частях орогенов (более 1.0–1.2 ГПа), связанных с внутриокеаническими и континентальными дугами, а также зонами коллизии друг и микроконтинентов, представляют собой важный источник информации о происхождении, состоянии и эволюции утолщенной нижней коры. Происхождение этих пород может быть обусловлено рядом процессов, включая магматическую кристаллизацию примитивных базальтовых магм [35, 36], дегидратацию водосодержащих базитов [37], частичное плавление с формированием гранатсодержащих реститов [38] и изобарическое остывание нижнекоровых габброидов и базитовых кумулатов в статических условиях в процессе созревания дуги [39].

В рамках выполнения проекта в 2025 г. проведено детальное петро-, геохимическое и изотопное (Nd-Sr) исследование безгранатовых и гранатовых гранулитов Южно-Муйского блока (северо-восточное Забайкалье), упоминаемых в литературе в качестве

эклогитов [40, 41]. Вместе с тем, до настоящего времени детальное описание, методология петрологических оценок (до 19 кбар и 900°C) и вещественная характеристика этих пород фактически не приводились. Исследованные метабазиты, экспонированные среди мигматизированных метаосадочных толщ киндинской серии, представляют собой будины мелко- до среднезернистых пород, массивных или умеренно полосчатых, преимущественно клинопироксенового состава с различным содержанием амфибала, вторичных эпидота, биотита и хлорита, акцессорных апатита, рутила, редкого циркона, пирротина и пирита. Пойкиллобласти клинопироксена в безгранатовых пород руч. Серебряковский содержат хаотично ориентированные включения-«карманы», содержащие частичные до полных псевдоморфоз альбита, мусковита и эпидота (\pm калишпат и хлорит) по основному-среднему плагиоклазу. Все гранатсодержащие породы содержат пойкиллитовый клинопироксен с червеобразными или ортогонально ориентированными вростками-ламелями кислого плагиоклаза, указывающего на распад первичного, богатого Ca-чермакитовым и жадеитовым миналом пироксена [42], а также ортопироксена. Гранатсодержащие разновидности имеют значительные вариации содержания граната (от первых процентов до 20–30%), приуроченного главным образом к интерстициям между пойкиллобластами клинопироксена, что принципиально отличает их от эклогитов *sensu stricto*.

Метабазиты участков Серебряковский и Длинный имеют перекрывающиеся диапазоны содержаний SiO_2 (41.9–51.1 и 46.7–48.1 вес. %, соответственно) (в соответствии с рисунком 7а) и $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (1.02–3.29% и 1.36–3.48%), при этом обе группы пород имеют низкотитанистую специфику (0.46–1.23 и 0.28–1.14 вес. % TiO_2) (в соответствии с рисунком 7б).

Гранулиты участка Серебряковский в целом несколько обогащены $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{tot}$ (10.7–15.3 вес. %) при схожих диапазонах содержаний MgO (7.86–14.3 вес. %) относительно пород участка Длинный (7.88–13.3 вес. % $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{tot}$ и 6.0–11.2 вес. % $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{tot}$), результатом чего являются перекрывающиеся диапазоны #Mg (мол. $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeOt})$) (0.52–0.68 и 0.50–0.74 для уч. Длинный и Серебряковский, соответственно). Две группы пород имеют схожие диапазоны по CaO (9.83–14.7% и 9.23–16.4%) (в соответствии с рисунком 7г) при систематическом обогащении гранулитов руч. Длинный Al_2O_3 (15.7–19.4% против 6.92–18.7%, но главным образом ниже 14% для гранулитов руч. Серебряковский) (в соответствии с рисунком 7в), что приводит к повышенному отношению $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ для последних (в основном в пределах 0.77–1.94 против 0.52–0.93 в гранулитах руч. Длинный). Характер взаимозависимости между отношениями FeO/MgO и содержанием SiO_2 (TiO_2) указывает на вероятно общий тренд фракционирования Fe–Ti фаз при

эволюции родоначальных низко-Ti расплавов (в соответствии с рисунком 7д-е). По соотношению главных компонентов пород двух участков близки наиболее высокоглиноземистым базитам (от лейкогаббро до троктолитов) конвергентных зон, сформированных при фракционировании оливина и клинопироксена из примитивных магм.

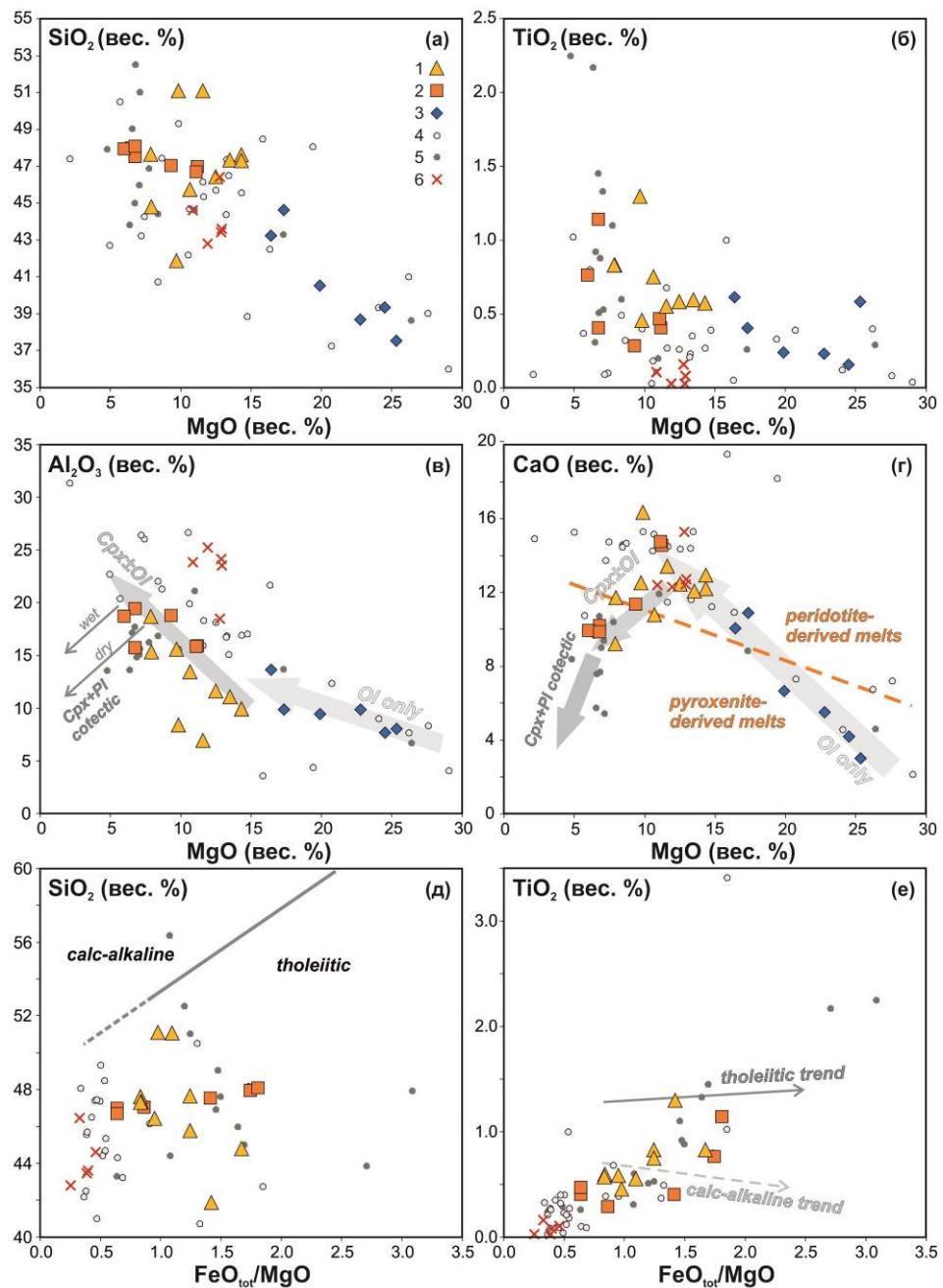


Рисунок 7 – Вариационные диаграммы для содержания главных компонентов в гранатовых гранулитах и безгранатовых клинопироксенитах Южно-Муйского блока

Условные обозначения: 1 – породы района руч. Серебряковский, 2 – породы района руч. Длинный, 3 – коронитовые ультрамафиты руч. Длинный (согласно [43] и по неопубликованным авторским данным), 4 – состав высокоглиноземистых пород базит-ультрабазитовых комплексов Центрально-Азиатского пояса [44], 5 – состав базитов неопротерозойских надсубдукционных

комплексов восточной части Байкало-Муйского пояса [45], 6 – реперные составы пород Маринкинского комплекса района п. Иракинда (Южно-Муйский хребет) [44, 45]. Схемы кристаллизационной дифференциации и фракционирования минералов на (в-г) согласно обзору [46]. Разделение мантийных источников примитивных расплавов на (г) согласно [47]. Диаграммы (д-е) с разделением магматических серий согласно [48].

Гранулиты руч. Серебряковский характеризуются отрицательный наклоном спектров распределения РЗЭ несколько выше хондритового уровня с $\Sigma\text{РЗЭ} = 33\text{--}101 \text{ г/т}$ и различным содержанием легких РЗЭ, от деплетированных (близких к N-MORB- и островодужным толеитам) до обогащенных (схожих с базитами континентальных дуг), что выражается в вариациях La/Yb_N в пределах 0.46–3.60 и La/Sm_N в пределах 0.32–2.0 (в соответствии с рисунком 8а). За исключением одного образца, в спектрах РЗЭ наблюдаются отрицательные аномалии Eu ($\text{Eu/Eu}^* = 0.65\text{--}1.33$) (в соответствии с рисунком 8а). Мультиэлементные диаграммы для этой группы поро имеют систематические отрицательные аномалии высокозарядных элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, Ti) и максимумы P, Pb, незначительные отрицательные или положительные аномалии Sr, и варьирующие содержания крупноионных литофильных элементов (в соответствии с рисунком 8б).

Гранулиты руч. Длинный имеют схожий характер распределения РЗЭ с $\Sigma\text{РЗЭ} = 13\text{--}37 \text{ г/т}$ и $\text{La/Yb}_N = 1.69\text{--}5.25$, однако с однообразными La/Sm_N (1.09–1.63), и демонстрируют систематические положительные аномалии Eu ($\text{Eu/Eu}^* = 1.25\text{--}4.91$) в соответствии с рисунком 8в). Мультиэлементные диаграммы характеризуются единообразными минимумами высокозарядных элементов и P, максимума Pb–Sr и относительно единообразным распределением Th, U и крупноионных литофильных элементов, из которых Ba, Rb и – в меньшей степени – U могут указывать на подвижное поведение элементов во флюиде в процессе метаморфизма (в соответствии с рисунком 8г). Для обеих групп пород характер распределения микроэлементов близок таковому в островодужных базальтах, уровень их содержаний значительно выше таковых в кумулатах Маринкинского массива, однако близок к составу базитов Иракиндинского массива.

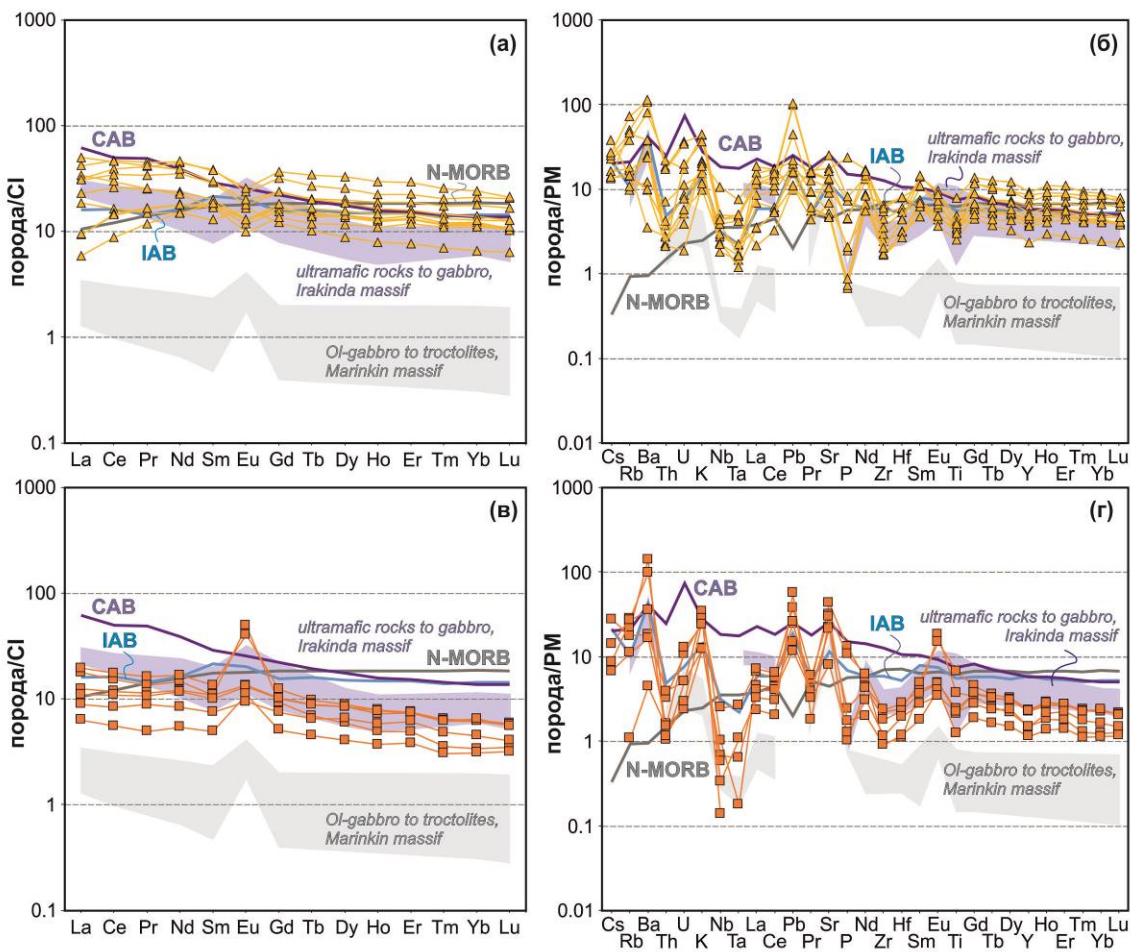


Рисунок 8 – Распределение РЗЭ и редких элементов в безгранатовых и гранатсодержащих породах руч. Серебряковский (а-б) и руч. Длинный (в-г)

Содержания нормированы на величины для CI [49] и примитивной мантии [50]. Поля составов пород реперных Иракиндинского и Маринкинского массивов согласно [44, 45]. Спектры распределения для базитов внутриокеанических и континентальных дуг усреднены из массивов данных для дуг Идзу-Бонин и Каскадес, соответственно (источник – база данных GEOROC, <https://georoc.eu/georoc/new-start.asp>).

Породы руч. Серебряковский характеризуются заметными вариациями отношений $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (0.14871–0.23418) и пересчитанными $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, которые соответствуют величинам $\varepsilon_{\text{Nd}}(835) = -8.2$ to -3.1 (в соответствии с рисунком 9а). Здесь и далее, в отсутствие прямых определений возраста протолита пород в качестве возрастного репера из геолого-тектонических соображений использована ранненеопротерозойская оценка 835 млн лет для надсубдукционных базитов Маринкинского массива [44]. Для образцов с $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ ниже 0.18 оценки модельного возраста (TDM) имеют главным образом палеопротерозойские значения в пределах 2.61–2.13 млрд лет (в соответствии с рисунком 9б) в соответствии с составом базитов Маринкинского массива [44]. Породы имеют преимущественно низкие отношения $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ (0.0519–0.6608) и радиогенный первичный

состав Sr с $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (835) в диапазоне 0.70358–0.71078 (в соответствии с рисунком 9а). Три образца с самыми низкими $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (835) имеют наиболее высокие $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ (>0.2), что вероятно связано с наложенными процессами и привносом Rb. Для пород руч. Длинный характерен более однообразный изотопный состав Sm-Nd с $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ в диапазоне 0.15798–0.18730 и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, соответствующими отрицательным ε_{Nd} (835) от -6.0 до +0.6 в соответствии с рисунком 9). Для образцов с $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ ниже 0.18, оценки модельного возраста (TDM) получены в пределах 2.25–1.85 млрд лет (в соответствии с рисунком 9б). Породы характеризуются главным образом низкими отношениями $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ (0.0630–0.1999) и радиогенным составом Sr с рассчитанными $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (835) в пределах 0.70393–0.70561 (в соответствии с рисунком 9а). Характер ковариаций изотопных меток Nd-Sr соответствует накопленным данным по вулканическим породам и гранитоидам востока Байкало-Муйского пояса (Анамакит-Муйского террейна) и свидетельствует о том, что вмещающие метаосадочные породы Южно-Муйского блока не могли выступать коровыми контаминацией для базитов (в соответствии с рисунком 9б).

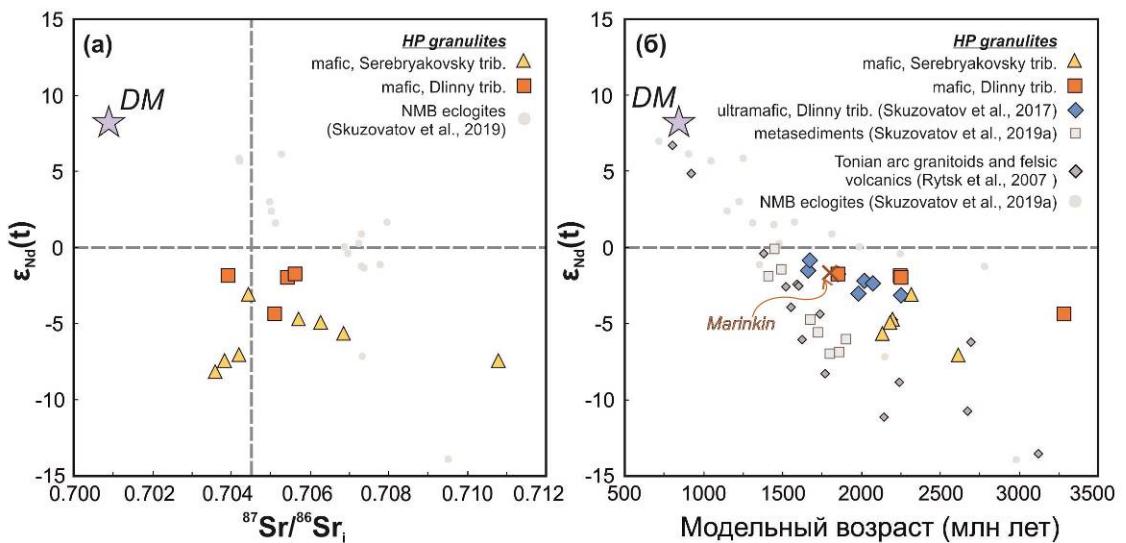


Рисунок 9 – Изотопные Sm-Nd и Rb-Sr данные для пород Южно-Муйского блока.

Референсные данные для эклогитов Северо-Муйского блока согласно [51]

Полученные данные предполагают формирование гранулитов за счет нижнекоровых высокоглиноземистых кумулатов базитовых расплавов, которые представляли собой клинопироксениты с различным содержанием плагиоклаза для пород руч. Серебряковский и богатые плагиоклазом лейкократовые габброиды – для пород руч. Длинный. Геохимические характеристики и изотопная система Nd-Sr гранулитов соответствуют формированию богатых Al_2O_3 расплавов и их клинопироксеновых и плагиоклаз-клинопироксеновых кумулатов в надсубдукционных условиях в связи с

плавлением с метасоматизированного субконтинентального мантийного источника с палеопротерозойскими модельными характеристиками. Данный факт согласуется с существующими представлениями о формировании тонийских (~835–790 млн лет) комплексов восточной части Байкало-Муйского пояса в обстановках активной континентальной окраины [52, 53]. Совмещение высокоглиноземистых кумулаторов и метаосадков грауваккового состава [54] в корневых зонах коллизионного орогена указывает на единый высокоградный (поли-)метаморфизм и отсутствие в его структуре, в отличие от энклитсодержащего Северо-Муйского комплекса [51], базитов с ювенильными характеристиками. Подобное совмещение возможно, к примеру, при метаморфизме комплексов преддугового или задугового бассейна, однако однозначно установить конфигурацию окраины Анамакит-Муйского террейна и положение изученных пород в современной структуре востока Байкало-Муйского пояса не представляется возможным.

Характер фазовых взаимоотношений в мафических системах [55] и экспериментальные данные [56], а также имеющиеся данные по систематике рутила из включений в гранате и матрикса пород по содержанию Zr согласно калибровке термометра [57] (800–820°C при 15 кбар) указывают на то, что рост граната с кристаллизацией рутила и формированием гранат-клинопироксен-рутиловых парагенезисов без ортопироксена наиболее вероятно происходил при утолщении литосферы и росте давления до 12–16 кбар в условиях, близких к изотермическим. С учетом того, что давление в низах островодужной литосферы может достигать 10–14 кбар [36], формирование гранат-клинопироксен-рутиловых парагенезисов могло происходить при ограниченном (~2–6 кбар) росте давления на финальной стадии коллизии. Вместе с тем, редкоэлементные характеристики граната из пород двух исследованных групп предполагают различные механизмы формирования пиковых гранатсодержащих парагенезисов с замещением находящегося в избытке плагиоклаза (гранат с Eu-максимумом; руч. Длинный) и реакций дегидратации и/или частичного плавления с участием амфибола, плагиоклаза и ильменита (руч. Серебряковский).

ВЫВОДЫ

- Гранатовые гранулиты Южно-Муйского блока являются индикатором высокоградного неэнклитового метаморфизма (~800–820°C при 12–16 кбар) в корневой зоне вендского коллизионного орогена, где фрагменты нижнекоровых метабазитов надсубдукционного происхождения тектонически совмещены с высокоградными метаосадками.

2. Источником вещества для базитов являлись высокоглиноземистые кумулаты ультрабазит-базитовых расплавов нижней коры или границы Мохо, связанные с ранненеопротерозойской эволюцией континентальной окраины Анамакит-Муйского террейна восточной части Байкало-Муйского пояса. Вариации обнаруженных составов определялись плавлением метасоматизированной субконтинентальной мантии с модельными палеопротерозойскими характеристиками, а также процессами фракционирования Mg-Fe-силикатов.

Раздел 6 Источники магматизма и состав родоначальных расплавов щелочно-карbonатитовых комплексов Зиминской группы интрузий (Восточный Саян)

Целью работы является определение природы мантийных источников и реконструкция состава первичных расплавов для щелочно-карbonатитовых комплексов Зиминской группы (Белозиминский, Большетагнинский, Среднезиминский массивы), локализованных в Урикско-Ийском грабене юго-западной части Сибирского кратона (в соответствии с рисунком 10). Данные комплексы имеют существенное рудно-экономическое значение, поскольку содержат месторождения Nb, РЭ и Р [58]. Определение условий их формирования является основной задачей для понимания региональной геодинамики и прогнозирования рудоносности.

Массивы Зиминской группы расположены в зоне сочленения Алтае-Саянской складчатой области и Сибирской платформы. Они контролируется глубинными разломами (Урикско-Ийский прогиб). Это характерная обстановка для проявления щелочного магматизма, часто вызванного активизацией платформ и глубинными мантийными процессами. Образование массивов произошло в неопротерозое (~650–635 млн лет) в соответствии с Sm-Nd данными для пород (640 ± 11 млн лет) и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датированием флогопитов из айлликов (635±7 млн лет) Большетагнинского массива [59, 60]. Это возраст соответствуют периоду внутриконтинентального рифтинга, вызванного распадом суперконтинента Родиния [61]. Магматизм осуществился при формировании Урикско-Ийского грабена в обстановке растяжения [61, 62].



Рисунок 10 – Геологическое строение Зиминского рудного района

Условные обозначения: 1 – сланцы; 2 – долериты; 3 – граниты; 4 – ийолиты и мельтейгиты; 5 – карбонатиты; 6 – разломы.

Изотопные данные согласуются с мантийным происхождением расплавов. Значения $\varepsilon_{\text{Sr}}(T)$ пород массивов варьируются от -7 до -19 , а $\varepsilon_{\text{Nd}}(T)$ – от $+4.2$ до $+5.0$ [63, 64, 65]. Такие изотопные значения свойственны обогащенной мантии типа OIB и указывают на ее характер, отличающийся от депленированной мантии срединно-океанических хребтов [66, 67]. Геохимия редких элементов в ультрамафитовых породах комплекса – отношения Nb/Th, Nb/U и La/Nb также характерны для OIB, что свидетельствует о ведущей роли рециклированного вещества в источнике расплавов [68] и отвечают модели плавления метасоматически обогащенной субконтинентальной литосферной мантии [63, 69]. Высокие концентрации Nb, Ta, РЗЭ, Zr, Sr, U и P характерны для магм, генерируемых специфическим мантийным источником или для магм, прошедших длительную дифференциацию.

Совокупность петрохимических, минералогических и изотопных данных позволяет реконструировать состав родоначального расплава. Наиболее близкими к исходному расплаву принимаются наименее дифференцированные щелочные ультраосновные силикатные породы, предшествующие карбонатитообразованию. В Большетагнинском массиве такими породами являются ийолиты и айлликиты (в соответствии с таблицей 1).

Таблица 1 – Составы пород Большетагнинского массива, репрезентативных для родоначального расплава (мас.%)

Компонент, мас. %	Айлликиты			Ийолиты			Среднее Айлликиты	Среднее Ийолиты	Состав родоначального расплава
	6/21	1	2	10/21	316	82			
SiO₂	27.10	30.08	30.35	32.47	32.22	33.11	29.18	32.60	30–35
TiO₂	3.79	4.04	4.27	1.28	3.91	2.57	4.03	2.59	2–4
Al₂O₃	4.90	4.53	3.92	16.28	17.33	16.63	4.45	16.75	5–8*
FeO_{total}	14.06	13.17	13.82	10.90	9.75	11.63	13.68	10.76	10–14
MgO	14.55	20.84	21.83	3.68	3.82	4.05	19.07	3.85	12–18
CaO	15.74	15.85	15.55	13.51	13.54	14.34	15.71	13.80	12–16
Na₂O	0.10	0.10	0.10	1.09	0.10	0.10	0.10	0.43	0.5–4
K₂O	2.28	0.31	0.14	5.86	6.57	6.35	0.91	6.26	1–6
P₂O₅	0.55	0.45	0.56	1.13	1.06	1.04	0.52	1.08	0.5–1.5
ППП	15.15	9.83	9.79	11.07	8.98	7.96	11.59	9.34	~10
Сумма	98.22	99.2	100.33	97.27	97.28	97.78	99.24	97.46	–
Nb, ppm	164	229	243	56	358	295	212	236	200–500
Na₂O+K₂O	2.38	0.41	0.24	6.95	6.67	6.45	1.01	6.69	4–7
Mg#	0.65	0.74	0.74	0.38	0.41	0.38	0.71	0.39	~0.65–0.75

Примечание к таблице 1: предполагаемый расплав представляет собой обобщенный диапазон, объединяющий мантийные характеристики айлликитов и щелочной состав, необходимые для образования серии пород Большетагнинского массива. * – Оценка Al₂O₃ в расплаве (~5–8%) дана с учетом того, что самые примитивные айлликиты имеют низкое содержание Al₂O₃ (~4.5%), но для кристаллизации ийолитов в системе должно было быть более высокое количество алюминия.

При подъеме и декомпрессии родоначальный карбонатизированный расплав разделялся на два несмесимых расплава: силикатный (K-Fe-Si) и карбонатный (Ca-P-CO₂-F-Nb-PЗЭ). Силикатный расплав эволюционировал в ряду айлликиты → ийолиты → сиениты. Карбонатиты представляют собой автономный ликвационный дериват.

Основное ниобиевое оруденение имеет метасоматический, а не чисто магматический генезис и пространственно локализованно именно в таких метасоматических зонах – в сиенитах и слюдитах. Наиболее значимой для оруденения является стадия флюидно-метасоматического рудообразования. Внедрение активных постмагматических карбонатитовых флюидов, обогащенных K, Fe, P, F и Nb в ранее образованные силикатные породы привело к их масштабному метасоматическому преобразованию (калишпатизация, биотитизация). Образование апатит-тетраферрианнитовых пород с пирохлором является результатом не простой ликвации, а

сложного многостадийного процесса, где ликвация создала обогащенный рудными компонентами флюид, а метасоматоз стал собственно рудообразующим механизмом. Это объясняет, почему промышленные концентрации ниобия связаны не с карбонатитами, а с метасоматически изменёнными силикатными породами.

Полученные данные, такие как OIB-подобный изотопный состав, высокие концентрации летучих и несовместимых элементов, возраст, соответствующий рифтингу, позволяют выдвинуть две основные гипотезы: плюм-литосферного взаимодействия и палеосубдукции (рециклинг). Первая гипотеза основана на том, что глубинный мантийный плюм, обогащенный типа OIB, обеспечивает тепловой импульс и материал для плавления метасоматизированной литосферной мантии Сибирского кратона [68, 69]. Данная гипотеза объясняет единство возраста, источника и тектонического события (рифтинг Родинии). Гипотеза палеосубдукции (рециклинг) предполагает обогащение мантии за счет флюидов древней (~1.9 млрд лет) погружающейся плиты [62]. Несмотря на то, что эта гипотеза может объяснить некоторые следы коровой контаминации, она плохо согласуется с высокими значениями $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ (+4.2...+5.0), не характерными для древнего переработанного материала. Наиболее подходящей является комбинированная модель – глубинный плюм (~640 млн лет назад) вызвал плавление литосферной мантии, которая могла быть гетерогенной и унаследовать характеристики более древнего метасоматоза.

ВЫВОДЫ

Таким образом, щелочно-карбонатитовые комплексы Зиминской группы сформировались в неопротерозое (~650–635 млн лет) в обстановке внутриконтинентального рифтинга, связанного с распадом суперконтинента Родиния.

Источником магматизма служила метасоматически обогащенная субконтинентальная литосферная мантия, по изотопно-геохимическим значениям характерная для OIB. Наиболее вероятным началом плавления было взаимодействие с глубинным мантийным плюмом.

Родоначальным расплавом служил единый карбонатизированный щелочно-ультраосновной расплав, обогащенный F, P, CO₂, Nb и РЗЭ. Его эволюция содержала этап ликвации с образованием силикатной (иЙолит-сиенитовой) и карбонатитной серий пород.

Образование рудной апатит-тетраферрианнит-пирохлоровой ассоциации имеет метасоматическое происхождение и является результатом воздействия активных постмагматических карбонатитовых флюидов на вмещающие силикатные породы. Основное ниобиевое оруденение связано с подобными метасоматитами.

Раздел 7 Минералогия богатых Mn паралав из пирометаморфических комплексов Монголии. Активность и роль CO₂ в процессах частичного плавления

Продолжались исследования минерально-фазовых особенностей и процессов плавления пород пирометаморфических комплексов Монголии – Нилгинского и Хамарин-Хурал-Хид. В 2025 г. детально изучались клинкеры и железистые паралавы, содержащие до 5 мас.% MnO. Эти породы формировались при частичном и полном плавлении прослоев пелитов (аргиллитов, алевролитов) в раннемеловой Дзунбаинской осадочной толще, вызванном многостадийными подземными пожарами бурого угля [70-74].

В железистых паралавах Хамарин-Хурал-Хида основными минералами-концентраторами Mn являются герцинит–Al-магнетит и фаялит, а в железистых термически измененных пелитах – магнетит–якосит MnAl₂O₄ с количеством Mn до 0.45 ф.ед.

В Нилгинском комплексе изучался клинкер с ксенолитами частично плавленого аргиллита, содержащего до 0.6 мас.% MnO. Матрикс клинкера сложен кислым калиевым алюмосиликатным стеклом с включениями микролитов плагиоклаза, минералов групп шпинели, кордиерита и пироксена. Реже встречаются вкрапленники фаялита, содержащие до 26 мол.% минала тефроита. Первыми в алюмосиликатном расплаве кристаллизовались зерна Mn-содержащих (до 0.3 ф.ед.) герцинита–Al-магнетита и индиалита–ферроиндиалита. Основным минералом-концентратором Mn в стекле является Mn-содержащий ортоферросилит, образующий игольчатые микролиты с включениями Al-магнетита и индиалита–ферроиндиалита (в соответствии с рисунком 11). Локально встречаются также участки, сложенные микролитами Mn-Fe ортопироксена, обогащенного Fe до 0.8 ф.ед. В отличие от моноклинного каноита [75] и ромбического донпикорита[76, 77], имеющих кристаллохимическую формулу (Mn,Mg)MgSi₂O₆, по соотношению Fe, Mn и Mg этот минерал имеет состав неизвестного ортопироксена (Fe,Mn)MgSi₂O₆ (в соответствии с рисунком 12).

Процессы подземного горения пластов бурого угля происходили в толще осадочных пород (пелитовых и карбонатно-силикатных), существенно различных по валовым концентрациям Fe, Mn, Si и Al. Локальное, вероятно, изохимическое плавление обогащенных Mn прослоев пелитов-аргиллитов привело к образованию кислого алюмосиликатного расплава. Из этого расплава в низкобарических и высокотемпературных (> 900°C) условиях кристаллизовалась ассоциация необычных обогащенных Mn минералов, в т.ч. – потенциально новый ромбический минерал в группе пироксена.

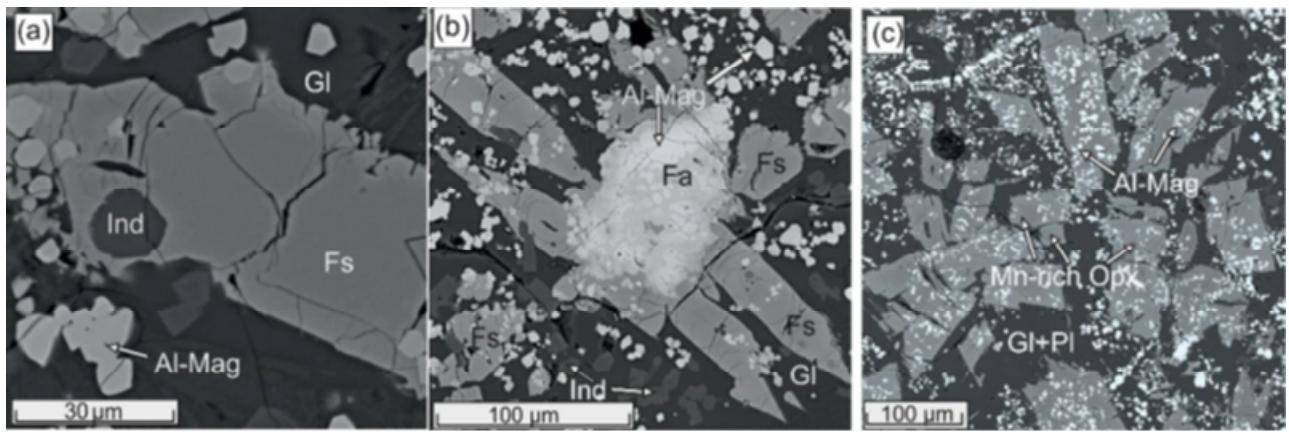


Рисунок 11 – Фрагменты матрикса клинкера (обр. MN-1136, Нилгинский комплекс)

(а) – включение индиалита в Mn-содержащем ортоферросилилите; (б) – включения Al-магнетита в стекле, зерне фаялиты и в игольчатых микролитах Mn-содержащего ортоферросилилита; (с) – таблитчатые кристаллы Mn-Fe ортопироксена с включениями Al-магнетита. Изображения BSE. Ind – индиалит, Fs – Mn-содержащий ортоферросилил, Gl – кислое калиевое алюмосиликатное стекло, Mn-rich Opx – Mn-Fe ортопироксен (потенциально новый минерал в группе пироксена), Fa – фаялит; Pl – плагиоклаз.

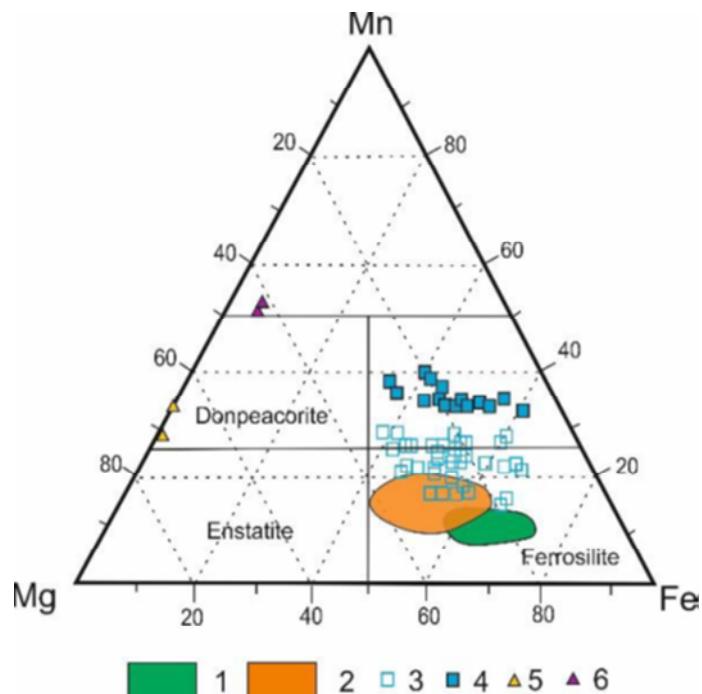


Рисунок 12 – Диаграмма состава минералов группы пироксена в клинкерах

1-обр. MN-1137; 2 – обр. MN-1486; 3-4 – обр. MN-1136: 3 – микролиты Mn-содержащего ортоферросилилита в стекловатом матриксе; 4 – таблитчатые микролиты Mn-Fe ортопироксена; 5 – ортопироксен, донпикорит $(\text{Mn}, \text{Mg})\text{MgSi}_2\text{O}_6$ [76]; 6 – клинопироксен, каноит $\text{Mn}(\text{Mg}, \text{Mn})\text{Si}_2\text{O}_6$ [75]. Границы полей, по [76].

Завершен комплекс экспериментальных работ в ИЭМ РАН (Черноголовка) по низкобарическому плавлению карбонатно-силикатной породы – термически измененного

мергелистого известняка в образце MN-1423 (Хамарин-Хурал-Хид), детально изученного ранее [78]. Основной целью экспериментов было обоснование процесса формирования мелилит-нефелиновых паралав и карбонатного расплава в результате инконгруэнтного плавления мергелистого известняка в специфических низкобарических и высокотемпературных условиях при высокой активности CO_2 . Планировалось показать экспериментально возможность частичного плавления кальцита в мергелистом известняке при Р–Т условиях в низкобарической области фазовых диаграмм CaCO_3 и $\text{CaCO}_3\text{--CaO}$ [79].

Эксперименты проводились с порошком (шихтой) растертого обр. MN-1423 при давлении от 7 до 17 МПа и температуре 1250 °C и 1300 °C в заваренных платиновых ампулах. Эксперименты выполнялись в два этапа: на первом низкотемпературном в сушильном шкафу и/или на установке ИЭМ РАН “Сосуд высокого газового давления с внутренним нагревом СВГД-7” (т.н. “газовая бомба”), а на втором высокотемпературном – только в “газовой бомбе”. Внешнее давление на заваренную ампулу (конструкцию их трех ампул) создавалось инертным газом аргоном, а внутри заваренной ампулы такое же давление поддерживалось углекислым газом, выделяющимся при разложении оксалата серебра в ходе опытов по реакции $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{Ag} + 2\text{CO}_2\uparrow$. Давление H_2O внутри ампул для большей части экспериментов было незначительным, поскольку шихта содержала около 2 мас. % суммы H_2O^+ и H_2O^- . Фугитивность кислорода $f\text{O}_2$ в ампулах соответствовала приблизительно буферному равновесию $\text{Ni}-\text{NiO} + 3.5$ лог. ед. Собранные ампулы выдерживались при температуре от 115 °C до 180 °C в течение 1–6 ч (первый этап опытов) для полного разложения $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$. При дальнейшем нагреве (выходе на Р–Т параметры второго этапа опытов) парциальное давление CO_2 в ампулах повышалось за счет частичного разложения кальцита по реакции $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$.

Из анализа фазовой диаграммы кальцита [78] и результатов термодинамического моделирования системы $\text{CaCO}_3\text{--CaO}$ [79] следует, что в высокотемпературных условиях опытов кальцит должен плавиться. Это предположение согласуется с Р–Т параметрами образования минерально-фазовых ассоциаций с кальцитом и силикатными стеклами разного состава, а также с текстурными особенностями образца термически измененного мергелистого известняка MN-1423 (исходный материал шихты), в котором кальцит и силикатная составляющая были частично расплавлены [78].

Анализ экспериментальных результатов показал, что основная цель экспериментов была достигнута частично – установлено, что кальцит устойчив (не разлагается полностью) в шихте мергелистого известняка при температурах 1250 °C, 1300 °C и парциальном давлении CO_2 около 7–17 МПа, но по внешнему облику выделений

остаточного кальцита в продуктах опытов и его составу нельзя однозначно установить фазовое состояние CaCO_3 (расплавленное либо кристаллическое) в высокотемпературных условиях. Полученные в плавленых продуктах минерально-фазовые ассоциации существенно отличаются от таковых в обр. MN-1423, что было вызвано значительным разложением кальцита (75–82 мас. % от его исходного количества в шихте) с образованием CaO и CO_2 . Изучены вариации состава фаз: продуктов преобразования карбонатных и карбонатно-силикатных расплавов (карбонатных Ca-Na-K и Ca-Mg фаз, стекла карбонатно-алюмосиликатного и карбонатно-силикатного состава), ларнита, геленитоподного минерала, кальцита, титанитоподобной фазы, шпинели, периклаза и ольдгамида (CaS). Количество определена концентрация углерода в карбонатно-алюмосиликатном стекле (19 мас. % CO_2). Наличие карбонатного комплекса CO_3^{2-} в этом стекле подтверждено методом рамановской спектроскопии. На диаграмме в координатах $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-(\text{CaO}+\text{MgO})-(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2)$ приводится область карбонатно-силикатного расслоения в экспериментально изученной системе в специфических Р–Т условиях. Присутствие контрастных по составу расплавов свидетельствует о явлениях жидкостной несмесимости на высокотемпературном этапе опытов.

ВЫВОДЫ

При изучении минерально-фазовых особенностей термически измененных аргиллитов Нилгинского пирометаморфического комплекса в Монголии обнаружена ассоциация обогащенных Mn силикатных минералов, включающих герцинит–Al-магнетит, индиялит–ферроиндиялит, фаялит и ортоферросилит Mn–Fe ортопироксен $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{MgSi}_2\text{O}_6$ – потенциально новый ромбический минерал в группе пироксена.

Эксперименты с шихтой термически измененного мергелистого известняка показали возможность частичного плавления карбонатно-силикатных пород, вызванного тепловым воздействием подземных угольных пожаров, и формирования карбонатных (существенно кальцитовых) расплавов в специфических низкобарических (7–17 МПа) и высокотемпературных (1250–1300°C) условиях при высокой активности CO_2 . Физико-химические условия синтеза, устойчивости, жидкостной несмесимости карбонатных и карбонатно-силикатных расплавов (содержащих до 19 мас.% CO_2) могут представлять интерес с точки зрения возможности их образования в результате плавления карбонатно-силикатных осадочных пород не только в процессах пирометаморфизма, но и в коровых низкобарических высокотемпературных условиях, например, при формировании кальцитовых карбонатитов.

Раздел 8 Геохимия и возраст кобальтоносных Fe-Mn корок (КМК) гайотов Магеллановых Гор

Выполнено обобщение результатов многочисленных работ советских-российских и зарубежных исследователей по геохимии, минерально-фазовому составу, морфологии и хроностратиграфии КМК Магеллановых гор, а также полученных по 30 пробам слоев из 9 образцов КМК гайотов Говорова и Коцебу (в соответствии с рисунком 13).

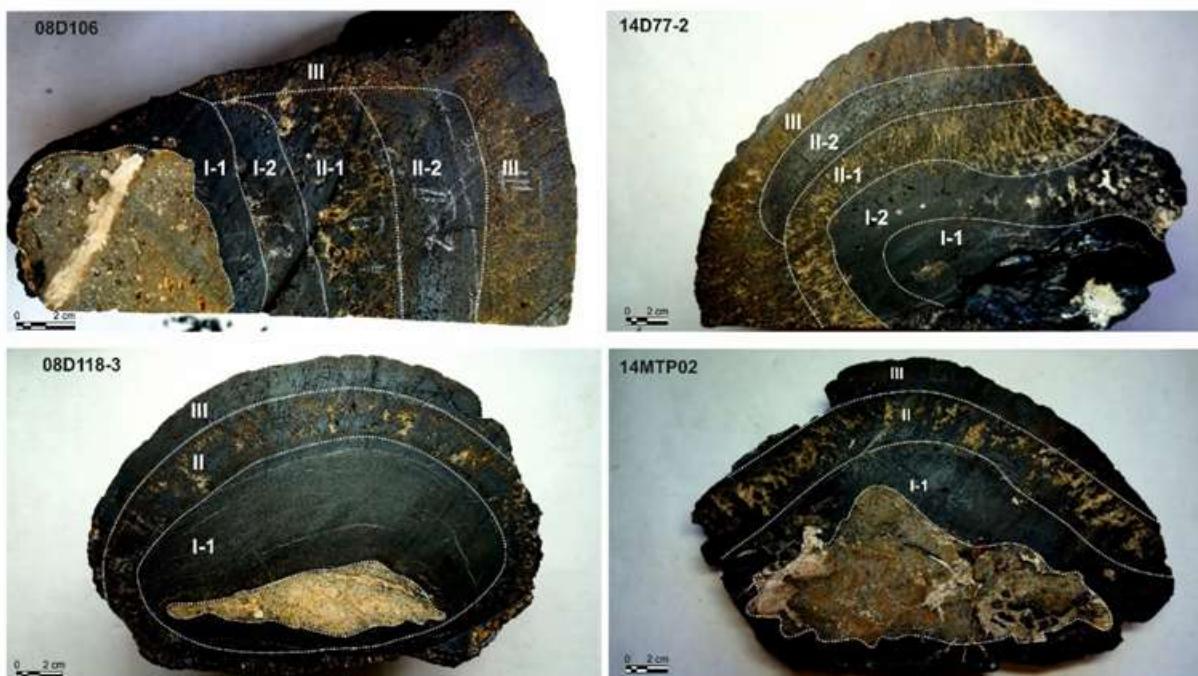


Рисунок 13 – Разрезы кобальтоносных Fe-Mn корок гайотов Говорова (08D106, 08D118-3) и Коцебу (14D77-2, 14МТП02)

Обсуждается сводный хроностратиграфический разрез КМК, формирование которого началось около 65–60 млн. лет назад. Реликтовый слой R отлагался в кампан – маастрихте и позднем палеоцене в прибрежных зонах вулканических островов и гайотов. Нарастание КМК древней генерации продолжилось в позднем палеоцене – раннем эоцене (слой I-1) и в среднем – позднем эоцене (слой I-2) в мелководных условиях шельфа. Образование молодого разреза корок происходило на глубинах близких к современным в позднем олигоцене – раннем миоцене (слой I-2b или базальное основание слоя II), миоцене (слой II) и плиоцене – плейстоцене (слой III). Выявлено несколько перерывов отложения Fe-Mn оксигидроксидов (рудного вещества) из придонной морской воды, наиболее длительный из которых от 38 до 26.5 млн. лет разделяет древние и молодые слои КМК. Рудное вещество КМК было преобразовано во время, как минимум, двух эпизодов

глобальной фосфатизации осадков Тихого океана, по [80] в позднем эоцене – раннем олигоцене от 43 до 39 млн. лет (слои R, I-1, I-2) и в позднем олигоцене – раннем миоцене от 27 до 21 млн. лет (слой I-2b).

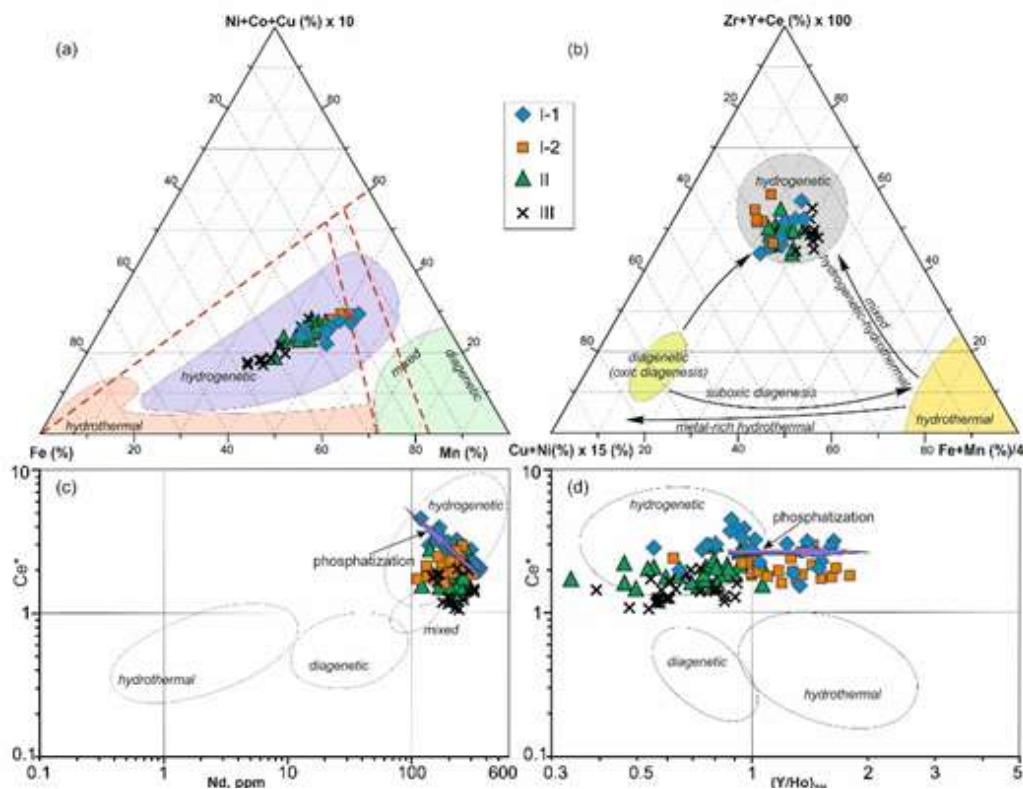


Рисунок 14 – Генетическая типизация слоев I-1, I-2, II и III кобальтоносных Fe-Mn корок (КМК) гайотов Магеллановых гор

Условные обозначения: (а) $(\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu})-\text{Mn}-\text{Fe}$, по [81]; (б) $(\text{Zr}+\text{Y}+\text{Ce})-(\text{Fe}+\text{Mn})/4-(\text{Co}+\text{Ni}) \times 15$, по [82]; (в), (г) по нормированным к PAAS содержаниям REE, Y и величине Ce^* цериевой аномалии, модифицировано из [83].

Установлено, что валовые химические составы КМК Магеллановых гор определяются соотношением (в мас.%) слагающих их слоев. Большие вариации состава по слоям КМК упорядочены методом главных компонент факторного анализа с вращением факторов, по которому примесные элементы группируются следующим образом: (фактор 1) + (все REE кроме Ce и La); (фактор 2) +(Ce, La, Ba, Mo, Sr, Pb); (фактор 3) +(Zr, Hf, Nb, Rb, As)/-Pb; (фактор 4) +(U, Th, Co, As, Sb, W)/-Y. На диаграммах значений факторов выделяются поля, особенно контрастно для составов слоев I-1, I-2 и II+III по факторам 2 и 4. Все точки валовых и послойных составов КМК Магеллановых гор на диаграммах $(\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu})-\text{Mn}-\text{Fe}$ [81], $(\text{Zr}+\text{Y}+\text{Ce})-(\text{Fe}+\text{Mn})/4-(\text{Co}+\text{Ni}) \times 15$ [82], $\text{Ce}^*-(\text{Y}/\text{Ho})_{\text{sn}}$ и Ce^*-Nd [83], обычно используемых для типизации морских Fe-Mn корок и конкреций, находятся в поле гидрогенных образований (в соответствии с рисунком 14). По гидрогенной модели,

слои КМК молодой генерации (II, III) образовались при отложении Fe и Mn оксигидроксидов из морской воды. Древние слои (R, I-1, I-2 и I-2b) имели гидрогенное происхождение, но их химический и минерально-фазовый составы были изменены на разных стадиях фосфатизации осадков в Тихом океане. Составы фосфатизированных слоев I-1 и I-2 обогащены Co, Y, Ce и занимают обособленные области на диаграммах Ce*-Nd и Ce*-(Y/Ho)sn (в соответствии с рисунком 14). Для нормированных к PAAS сланцу распределений REE и Y гидрогенных КМК гайотов Магеллановых гор характерны положительная аномалия Ce и небольшой дефицит LREE относительно HREE.

ВЫВОДЫ

Слои КМК имеют значительные вариации содержаний примесных элементов как в пределах одного гайота, так и между гайотами. Большая неоднородность распределений примесных элементов в слоях одного возраста, вероятно, объясняется гидродинамикой подводных течений на поверхности гайотов, определяемой локальными и глобальными факторами – особенностями рельефа гайотов и положением Магеллановых гор при движении Тихоокеанской плиты через разные палеоклиматические зоны океана. Многократные активизации вулканической деятельности в кайнозое на Тихоокеанской плите в районе Магеллановых гор также могли оказывать влияние на геохимические характеристики КМК. Повышение содержаний Nb, Zr, As, Sb и W в молодых слоях разрезов КМК (II и III), могло быть вызвано многочисленными кайнозойскими вулканическими событиями, например, масштабными извержениями базанитовых “petit-spot” вулканов на гайоте Альба в миоцене [74, 78].

Раздел 9 Модель строения и эволюции литосферной мантии Северной Монголии на основе изотопно-геохимических и минералогических исследований состава и условий кристаллизации мегакристаллов, включений перidotитов и пироксенитов из пород Тэсийнгольского позднекайнозойского вулканического ареала

Главной задачей изотопных исследований Тэсийнгольского ареала являлось установление источников магматического вещества и их роли в образовании как щелочно-базальтовых расплавов, так и мегакристаллов. С этой целью для всех типов пород вулканов Угуумур и Бодь-уул установлены величины изотопных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$.

Изотопные составы позднекайнозойских вулканических пород Монголии в координатах $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и ε_{Nd} характеризуется узкими вариациями величин $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношений (~0.704-0.705) и значительными вариациями значений ε_{Nd} (~ от +3 до -11) (рисунок 15). В этом поле значений находятся и изотопные метки пород вулканических центров Угуумур и Бодь-уул. Трахиандезибазальты и трахиандезиты вулкана Угуумур имеют величины $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, отвечающие для области составов позднекайнозойских вулканических пород Монголии самыми низкими значениями $\varepsilon_{\text{Nd}}(i)$ (~ от -7.8 и до -9.9) и умеренными вариациями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (i) (~0.7045-0.7049). Недосыщенные кремнеземом и фельдшпатоид-содержащие породы вулкана Бодь-уул (базаниты и фонотефриты) в сравнении с породами вулкана Угуумур имеют немногим менее радиогенные изотопные метки $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (i) и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(i)$ (~0.7044-0.7047, $\varepsilon_{\text{Nd}}(i)$ ~ от -4.8 и до -7.6).

Заметно менее радиогенные значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, характерные для пород изученных позднекайнозойских вулканических центров и других вулканических ареалов Северной и Центральной Монголии, не позволяют предполагать сколь-либо значимого участия в их образовании источника ЕМII типа. В результате проведенных минералого-геохимических исследований пород и ксеногенного материала Тэсийнгольского позднекайнозойского вулканического ареала Северной Монголии, в том числе вулканических центров Угуумур и Бодь-уул получены сведения об условиях образования и источниках вещества щелочно-базальтовых магм, а также сделаны предположения о причинах активизации в регионе вулканической деятельности. Показано, что эволюция вулканизма в ареале проявлялась, начиная с раннемиоценового возраста и длилась порядка 8 млн лет. При этом направленность эволюции магмообразования выразилась в смене щелочных базанитовых и фонотефритовых магм субщелочными преимущественно трахиандезибазальтовыми. Следует отметить, что остается открытым вопрос о происхождении редких трахиандезитовых расплавов, которые могут являться как дифференциатами более основных магм, так и продуктом асимиляции магмами мегакристаллов салических минералов.

Установлено, что эруптивные отложения, а также лавы трахиандезибазальтов и трахиандезитов вулкана Угуумур содержат ксенолиты шпинелевых и гранатовых перidotитов, гранат-содержащих пироксенитов, а также мегакристаллы K-Na- и K-санидинов, Ca-Na пироксенов, ильменитов и альмандин-гроссуляр-пироповых гранатов. В полимиктовых брекчиях вулкана впервые установлены мегакристаллы апатита, которые ранее среди пород позднейкайнозойских вулканических ареалов Монголии не отмечались. Несмотря на имеющиеся предпосылки, наши попытки отнести к ассоциации

мегакристаллов также и амфибол оказались затруднены из-за высокой степени преобразования кристаллического материала, обладающего вещественным сходством с амфиболами. Эти исследования необходимо продолжить.

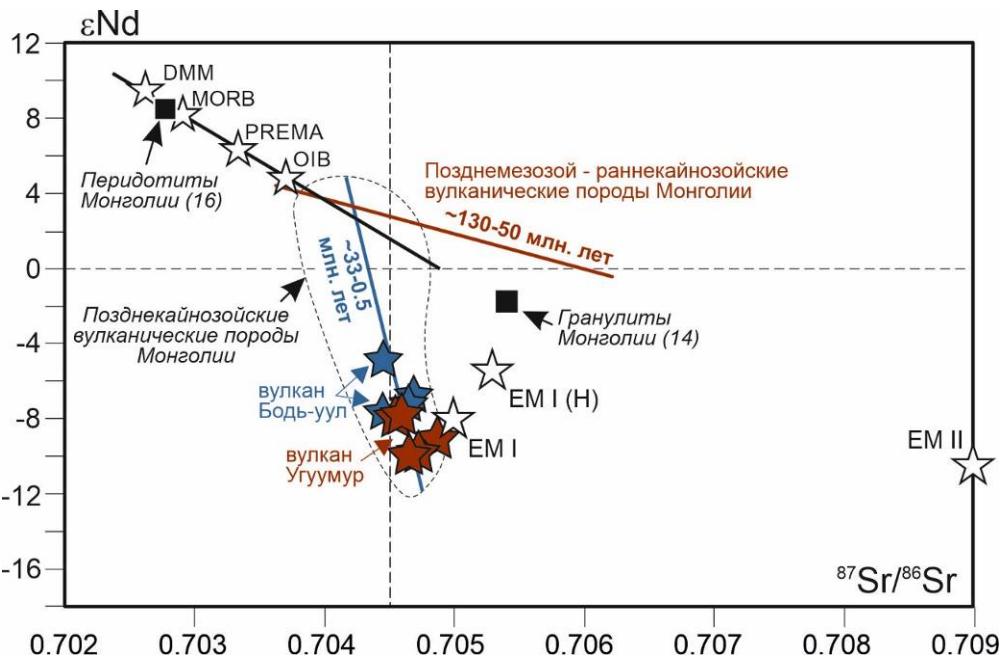


Рисунок 15 – Изотопный состав $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ пород вулканических центров Угуумур и Бодь-уул

Пунктирная черная линия и сплошная синяя линия – поле и тренд вариаций изотопных составов позднекайнозойских вулканических пород Центральной и Северной Монголии. Изотопные составы пород вулканических центров Угуумур и Бодь-уул приведены с поправкой на возраст. Коричневая линия – тренд вариаций изотопных составов позднемезозой-раннекайнозойских вулканических пород Монголии по данным [84]. Синяя линия – тренд вариаций изотопных составов позднекайнозойских вулканических пород Центральной и Северной Монголии. Изотопные метки для DMM, MORB, OIB, EM I и EM II приведены по [85], PREMA и EM I (H) по [86]. Тренд изотопных составов MORB и OIB (черная линия) приведен по данным [87]. Метки средних изотопных составов мантийных и коровых ксенолитов в позднекайнозойских вулканических породах Центральной Монголии приведены для перидотитов по [88], для гранулитов по [89–90].

Как в лавах, так и в эруптивных отложениях Тэсийнгольского ареала установлено значительное распространение карбонатного вещества, которое с одной стороны, как показано исследованиями, имеет мантийную природу, но с другой и в определенной степени может являться продуктом взаимодействия магм с коровыми осадочными карбонатными толщами. Для решения этого вопроса необходимо провести исследования изотопного состава углерода. Наличие карбонатных фаз в субликовидусных минералах и

мантийных породах свидетельствует о высокой роли углеродсодержащего флюида или силикатно-карбонатных расплавов в процессах магмообразования. Такой состав флюида во многом определил высокую эксплозивную активность ареала. Имеющаяся коллекция проб карбонатов из различных вулканических ареалов Северной Монголии позволит в будущем усилить исследования этого направления.

Показано, что породы вулканических центров обогащены LILE и HFSE и имеют высокую степень фракционирования REE. Общей для них особенностью является их относительное обеднение U и Th. Низкие содержания U и Th в породах позднекайнозойских вулканических ареалов Северной и Центральной Монголии могут отражать особенности состава одного из источников вещества, участвующего в формировании исходных щелочно-базальтовых магм. Предположено, что таким источником может быть вещество древней литосферы с низкими величинами U/Pb отношений.

Особенности составов мегакристаллов минералов, указывающих на их сходство с эклогитовым парагенезисом, а также геохимические особенности пород показывают на то, что щелочно-базальтовые магмы Тэсийнгольского ареала могли быть сформированы при частичном плавлении Grt-содержащих пироксенитов или вещества. Для уточнения этого вывода требуется привлечение данных по изотопному составу эксгумированных пород древней субдуцированной литосферы, что также является вопросом дальнейших исследований. Изотопные составы мегакристаллов близки к изотопному составу пород вулканов Угуумур и Бодь-уул, что указывает на общий для них источник вещества (Рисунок 16).

Установлено, что в истории эволюции магматической системы Тэсийнгольского вулканического ареала происходило уменьшение глубин магмообразования во времени с формированием щелочных магм и мегакристаллов темноцветных минералов вблизи границы астеносферной и литосферной мантии и затем субщелочных расплавов вблизи раздела коры и верхней мантии. При этом остается задача установить условия кристаллизации мегакристаллов санидина, ильменита, апатита и слюды. Это вопрос возможно решить в будущем с привлечением данных экспериментальных исследований.

Впервые исследованы процессы преобразования мегакристаллов Срх. Установлено, что преобразование происходит в результате инконгруэнтного плавления мегакристаллов при их транспортировке щелочно-базальтовыми магмами.

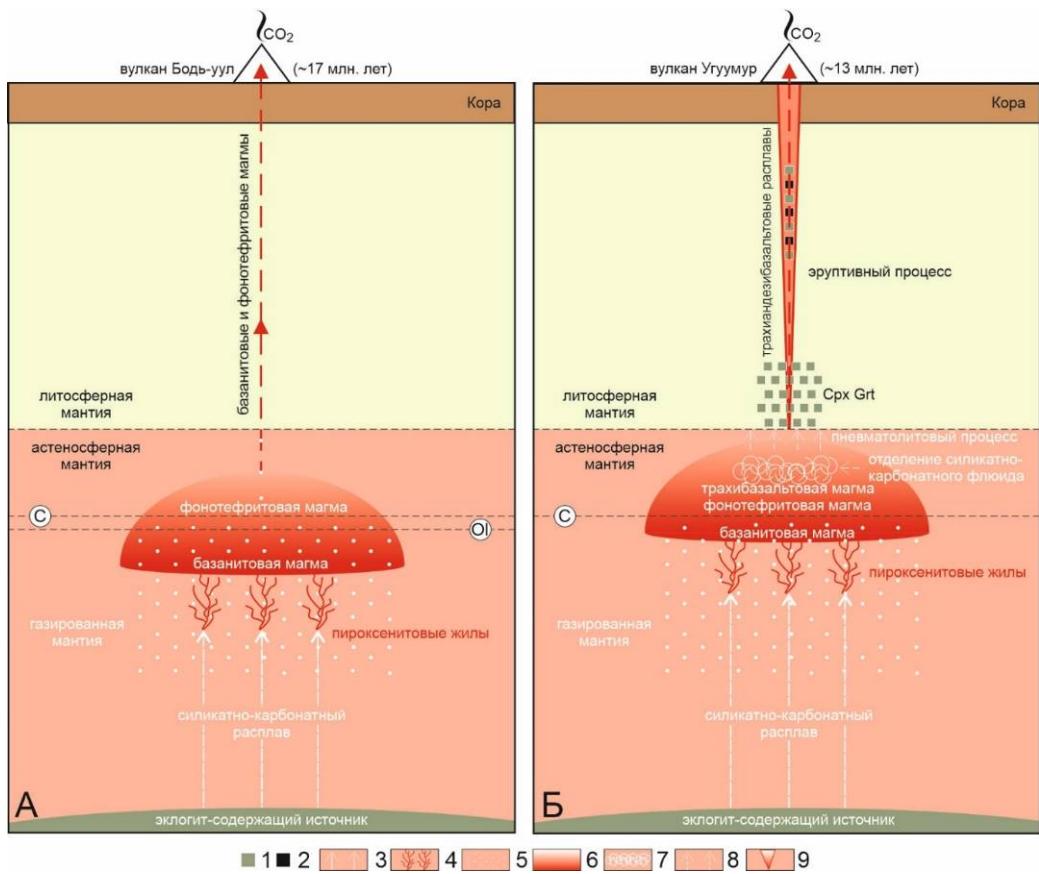


Рисунок 16 – Модель формирования щелочно-базальтовых магм, мегакристаллов и процесса эволюции магматической системы Тэсийнгольского ареала Северной Монголии

Условные обозначения. 1 – мегакристаллы Срх и Grt, 2 – фрагменты перидотитов и пироксенитов литосферной мантии, 3 – направление подъема силикатно-карбонатного расплава, 4 – область локализации пироксенитовых жил, 5 – область газированной перидотитовой астеносферной мантии, 6 – магматический очаг, 7 – область отделения от магматического расплава силикатно-карбонатного флюида, 8 - направление подъема силикатно-карбонатного флюида (пневматолитовый процесс), 9 – направление развития взрывного процесса. «С» – линия солидуса сухого карбонатизированного перидотита, «Ol» – уровень начала кристаллизации оливина. CO₂ – выделение карбонатной фазы в процессе извержений. Модель построена в соответствии с Рисунком 4.1.1. Пояснения см. в тексте.

Итоги проведенных исследований Тэсийнгольского вулканического ареала позволяют поставить целый ряд важных вопросов для уточнения условий магмообразования, направленности и порядка кристаллизации щелочно-базальтовых расплавов. Остаются актуальными установление состава и природы источников вещества и геодинамической обстановки развития позднекайнозойского вулканизма Монголии в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере модельных докембрийских и фанерозойских магматических и метаморфических комплексов пород складчатого обрамления и выступов фундамента Сибирского кратона, а также других модельных комплексов пород палео- и современных геодинамических обстановок установлены процессы, контроллирующие разномасштабную (от микроуровней и отдельных минеральных фаз до регионального масштаба) химическую неоднородность литосферы, связанную с процессами корообразования от раннего докембрая до кайнозоя и этапами многократной переработки в процессе тектонометаморфической переработки и латерального нарашивания в зонах конвергенции, формирования аккреционных и коллизионных орогенов, сопутствующих процессах плавления и метасоматоза. Основные результаты и выводы проведенных в 2025 г. исследований заключаются в следующем.

Формирование предпосылок редкометалльной специализации и оруденения, связанного с многофазными массивами и малыми интрузиями Li-F гранитов (F, Li, Rb, Cs, Sn, W, Be, Ta), сопровождается набором снижением индикаторных отношений ключевых макро- и микроэлементов (K/Rb , Nb/Ta , Zr/Hf) Nb при процессах эволюции магм Li-F типа. Важную роль при формировании потенциально рудоносных гранитов и пегматитов играют процессы флюидно-магматической дифференциации. Детальные геохронологические исследования редкометалльных, в т.ч. сподуменовых пегматитов, предполагают как их возможную прямую генетическую связь с позднеколлизионными гранитоидами, доминирующими в составе орогенов, так и отсутствие такой связи, что ограничивает применимость возрастных характеристик гранитоидов в качестве предпосылок к локализации редкометалльного оруденения и поискового критерия.

В структурах метаосадочных комплексов Фенноскандинавского и Сибирского кратонов, подвижных поясов в их обрамлении установлены закономерности проявления литогенеза в архее – фанерозое и близкие соотношения обломочных (незрелых – метапсаммитолитов), зрелых метаосадочных типов пород, продуктов химических преобразований (гидролизатов, кор выветривания). Главным фактором, определяющим состав и распространенность метаосадочных пород в Сибирском и Фенноскандинавском кратонах, комплексах в подвижных поясах обрамления Сибирского кратона, Памира является их формирование из питающих провинций – древнейших ТТГА.

Фрагменты базитовой коры в аккреционных и коллизионных орогенах имеют ключевое значение для характеристики состава и строения литосферы островодужной и окраинно-континентальной литосферы, в частности определения вклада ювенильного

корообразования в зонах палеоконвергенции и сопутствующей эволюции палеоокеанов. Изотопно-геохимические характеристики позднепалеозойских вулканогенно-осадочных образований и вулканитов в южном обрамлении Монголо-Охотского орогена указывают на присутствие среди аккреционных структур как океанических пород типа OIB с ювенильными характеристиками Nd-Sr, так и пород с типичными надсубдукционными метками, указывающими на значительный вклад рециклированного осадочного материала в зонах магмогенерации внутриокеанических зон субдукции. Среди неопротерозойских высокобарических гранулитов Южно-Муйского блока (Байкало-Муйский пояс), исходно представлявших собой базитовые кумулаты низов островодужной литосферы, ювенильный субстрат отсутствует, при этом палеопротерозой-мезопротерозойские модельные характеристики узывают на плавление метасоматизированного субконтинентального мантийного источника. Фракционированный характер магматического протолита и предполагаемые условия метаморфизма пород (800–820°C и 12–16 кбар) требуют мощной литосферы и предполагают окраинно-континентальную, нежели островодужную природу базитов.

Установлено, что в истории эволюции магматической системы внутриплитного Тэсийнгольского вулканического ареала северной Монголии происходило уменьшение глубин магмообразования во времени с формированием щелочных магм и мегакристаллов темноцветных минералов вблизи границы астеносферной и литосферной мантии (21–82 кбар, 1360–1430°C) и затем субщелочных расплавов вблизи раздела коры и верхней мантии (10–16 кбар, 1190–1240°C). Особенности составов мегакристаллов минералов, указывающих на их сходство с эклогитовым парагенезисом, а также геохимические особенности пород предполагают, что щелочно-базальтовые магмы Тэсийнгольского ареала могли быть сформированы при частичном плавлении Grt-содержащих пироксенитов, состав которых в среднем отвечает обогащенной мантии типа EMI + PREMA. Формирование последней связывается с процессами деволатилизации субдуцированной океанической литосферы и сопутствующих метасоматических процессов.

Термически преобразованные аргиллиты Нилгинского пирометаморфического комплекса в Монголии содержат экзотическую ассоциацию обогащенных Mn силикатных минералов, включающих герцинит–Al-магнетит, индиалит–ферроиндиалит, фаялит и ортоферросилит Mn–Fe ортопироксен $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{MgSi}_2\text{O}_6$ – потенциально новый ромбический минерал в группе пироксена. Эксперименты с шихтой термически измененного мергелистого известняка показали возможность частичного плавления карбонатно-силикатных пород, вызванного тепловым воздействием подземных угольных

пожаров, и формирования карбонатных (существенно кальцитовых) расплавов в специфических низкобарических (7–17 МПа) и высокотемпературных (1250–1300°C) условиях при высокой активности CO₂. Физико-химические условия синтеза, устойчивости, жидкостной несмесимости карбонатных и карбонатно-силикатных расплавов (содержащих до 19 мас.% CO₂) могут представлять интерес с точки зрения возможности их образования в результате плавления карбонатно-силикатных осадочных пород не только в процессах пирометаморфизма, но и в коровых низкобарических высокотемпературных условиях, например, при формировании кальцитовых карбонатитов.

Большая неоднородность распределений примесных элементов в океанических кобальт-марганцевых корках объясняется гидродинамикой подводных течений на поверхности гайотов, определяемой локальными и глобальными факторами – особенностями рельефа гайотов и положением Магеллановых гор при движении Тихоокеанской плиты через разные палеоклиматические зоны океана. Многократные активизации вулканической деятельности в кайнозое на Тихоокеанской плите в районе Магеллановых гор также могли оказывать влияние на геохимические характеристики КМК. Повышение содержаний Nb, Zr, As, Sb и W в молодых слоях разрезов КМК (II и III), могло быть вызвано многочисленными кайнозойскими вулканическими событиями, например, масштабными извержениями базанитовых “petit-spot” вулканов на гайоте Альба в миоцене.

Государственное задание по проекту в 2025 году выполнено в полном объеме. По теме проекта опубликовано 21 статья в журналах из международных баз данных WOS и Scopus, из них 3 статьи quartилей Q1 и Q2 по WOS, представлено 25 докладов на всероссийских и международных научных мероприятиях.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ИТОГАМ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

По итогам проведенных в 2021-2025 гг. исследований и по отдельным этапам выполнения проекта основополагающие цели и основные результаты можно сформулировать следующим образом.

В 2021 г. в деталях охарактеризована геохимическая специализация и стадийность формирования гранитоидов и щелочных базитовых магм контрастных обстановок и возрастов, их индикаторная роль для установления смены геодинамических режимов.

Изотопное (Sm-Nd, Rb-Sr) сродство мафических гранитоидов (амфибол-биотитовых тоналитов и биотитовых трондьемитов TTG-серий раннего докембрия, плагиогранитов - в более молодых зонах палеоконвергенции) и базитов, совмещенных в пределах позднедокембрийских и палеозойских орогенов (Восточный Саян, Западно-Становой террейн, Южно-Сангиленский пояс) указывает на мантийное происхождение магм обоих типов в результате плавления океанической литосферы и метасоматизированного мантийного клина. Вероятность плавления субдуцируемой окраины континентальных блоков (окраин) устанавливается по процессам частичного плавления ультравысокобарической эклогитсодержащей литосферы Кокчетавской субдукционно-коллизионной зоны. В раннепалеозойских габбро-гранитных сериях надсубдукционного происхождения с базальтами островодужной природы совмещены гранитоиды I-типа с поздненеопротерозойскими модельными характеристиками (Южно-Сангиленский пояс), связанными с присутствием в фундаменте офиолитовых и островодужных комплексов раннего этапа становления Центрально-Азиатского пояса. Схожие (позднедокембрийские) изотопные характеристики наблюдаются в ряде комплексов Монголо-Охотского пояса, где среди коллизионных раннепалеозойских гранитоидов распространены позднепалеозойские (371-363 млн лет; U-Pb по циркону) гранодиориты субдукционного происхождения с менее радиогенным составом источника по сравнению с коллизионными гранитоидами Монголо-Охотского пояса.

В отличие от гранитоидов с мантийными характеристиками продукты коллизионного магматизма (Ольхонский регион) и мигматитизации на верхнекоровых уровнях наследуют свой состав от вмещающих сланцево-гнейсовых толщ. Формирование редкометалльных гранитов и пегматитов здесь постколлизионными (390 ± 5 млн лет; U-Pb по циркону). С эволюцией генерируемых расплавов (от плагиогранитоидов I-типа до высококалиевых гранитов A-типа) или сменой источника плавления связано накопление минералов-концентраторов РЭ, Th, Nb и Li, и вытеснение. По мере снижения меланократовости гранитов главных фаз трех изученных массивов и в ряду

последовательных интрузивных фаз акцессорные минералы раннемагматической стадии закономерно «вытесняются» акцессорными минералами позднемагматической стадии (Южно-Сангиленский пояс). Поздняя субшелочная гранитизация и приразломный метасоматоз может быть также сопряжен с крупными месторождениями редких металлов (Кутимский блок Чуйской глыбы, Присаянье).

В качестве примера мантийного магматизма в обстановках растяжения литосферы Центрально-Азиатского орогена без существенного внутрикорового плавления и гранитообразования исследованы продукты позднекайнозойского вулканизма Дархатской котловины и Тэсийнгольского вулканического ареала Монголии. Развитие щелочно-базальтового вулканизма на северо-западном фланге Дархатской впадины происходило на двух разобщенных (позднеолигоценовом и позднемиоцен-раннеплиоценовом) этапах, соответствующих предрифтовой стадии с астеносферным апвеллингом и плавлением обогащенной (с Grt-содержащим пироксенитовым или эклогитовым компонентом) и рифтогенной стадии с проявлениями вначале гавайитовых и трахибазальтовых магм, образованных в результате декомпрессионного плавления преимущественно перидотитовой мантии. Распространенность в вулканитах позднекайнозойских вулканических ареалах Северной Монголии карбонатных фаз предполагает участие в магмообразовании вещества карбонатизированной мантии. Возраст связанных с вулканизмом метасоматических преобразований мантии впервые оценен по данным датирования мегакристаллов санидина (15.15 и 15.13 млн лет), что указывает на более древний метасоматоз в сравнении с вмещающими трахиандезибазальтами вулкана Угуумур (12.53 млн лет).

В 2022 г. типохимизм, последовательная эволюция и неоднородность изотопно-геохимических характеристик в сложно организованных коллизионных и аккреционных коллажах юга Сибири прослежена далее на примере раннедокембрийских гнейсовых комплексов, позднедокембрийских вулканогенно-осадочных образований и метабазитов, выступающих фундаментом в современной структуре Центрально-Азиатского и Монголо-Охотского орогенов, и возможных следствий их переработки в формировании специфики более молодых (позднепалеозойских, мезозойских и кайнозойских) гранитоидов и продуктов внутриплитного вулканизма.

В качестве индикаторных для контрастной изотопной гетерогенности являются с вулканогенно-осадочные комплексы позднерифейского чехла Аргунского супертеррейна с установленными Sm-Nd изотопными характеристиками (2.0-1.6 млрд лет), характеризующими наиболее древний коровый компонент в комплексах обрамления Монголо-Охотского палеоокеана и более поздних палеозойских гранитоидов.

Формирование самих гранитоидов связывается с последовательным закрытием Монголо-Охотского палеоокеанического пространства от субдукционных процессов до условий растяжения вдоль северной границы Монголо-Охотской сутурной зоны на завершающем раннемезозойском этапе. Наряду с участием корововых субстратов, в аккреционных комплексах возможно совмещение контрастных по составу и изотопным характеристикам метабазитов, являющихся следствием аномальных мантийных источников в зонах перехода континент-океан (аккреционные комплексы западной Монголии). Возможный вклад древнекорового компонента (в виде субдуцированных осадков или расплавов/флюидов из эклогитизированного слэба) зафиксирован в Nd-Sr-Pb изотопной систематике позднемезозойских трахибазальтов в пределах рифтогенных впадин Восточного Забайкалья и распределению элементов платиновой группы (ЭПГ) в кайнозойских базальтах Южного Прибайкалья и Северной Монголии.

Формирование гранитоидов, перспективных на редкометалльное оруденение, связано с обстановками рифтогенного растяжения, способствующими значительной дифференциации расплавов с проявлением пегматоидных шлиров и постмагматических образований с ассоциирующей редкометалльной минерализацией (W, Sn, Be, флюорит), установленной на примере позднемезозойских гранитоидов центральной и восточной Монголии. Для более ранних гранитных и гранитно-пегматитовых систем Центрально-Сангиленского пегматитового пояса богатых Li, Nb, Ta, Be установлено происхождение в позднем палеозое (292-272 млн лет) в значительном отрыве от гранитов главной фазы (492-471 млн лет), связанное с внутриплитной активизацией и автономным магматическим импульсом, что напрямую определяет дальнейшие оценки их рудного потенциала в отношении редкометалльной минерализации. Значительное перераспределение Li, Ba, Sr, РЗЭ, Zr, Zn, Cr, Co и аккумуляция В с турмалиновая минерализацией в мигматизированных гнейсах, анатектических гранитах и метасоматитах (на примере раннего докембрия южного Прибайкалья) связывается с их осадочным протолитом, исходно обогащенным В за счет субдукционного рециклинига.

Учитывая ранее установленный, потенциально существенный вклад рециклированных осадочных пород и метабазитов океанической природы в изотопно-геохимическую гетерогенность литосфера разновозрастных орогенов, в 2023 г. основное внимание в исследованиях уделено вещественным и возрастным характеристикам террейнов метаосадочного происхождения, а также выявлению признаков и возможных геохимических следствий высокоградного преобразования рециклированной литосферы. В пределах южного обрамления Сибири вклад терригенно-осадочных и вулканогенно-осадочных толщ палеозойских аккреционных комплексов фиксируется в изотопно-

геохимические Sr-O характеристиках позднемезозойских вулканитов Восточно-Монгольско-Забайкальской вулканической области. Значительная роль смешения мантийного и корового вещества, многократно описанная для неопротерозой-раннепалеозойских надсубдукционных комплексов ранней стадии развития Палеоазиатского океана, связанная с рециклином неопротерозойских осадков, примером которых могут выступать впервые детально охарактеризованные терригенных толщи южной части Сангиленского блока (790–520 млн лет).

Воспроизводимый в геологическом времени вклад раннедокембрийских комплексов (от архейских ТТГА и зеленокаменных поясов до палеопротерозойских коллизионных гранитоидов) установлен для разновозрастных метаосадочных пород кратонов северной Евразии и их складчатого обрамления. Значимость корового рециклиинга, высокоградного метаморфизма и плавления высокобарических субстратов для перераспределения и концентрирования полезных (рудных) компонентов подтверждается установленным вкладом производных слэбовых магм в металлогению золота (гранитоиды ТТГ-ассоциации Восточного Саяна, раннеюрские гранитоиды восточного Забайкалья). При этом формирование палингенных гранитоидов известково-щелочного ряда в коллизионных обстановках не приводит к значимому обогащению литофильными и рудными элементами. Установлена роль плавления слэба в перераспределении элементов платиновой группы (щелочные и NEB-адакитовые магмы Камчатки), а также перераспределение серы и халькофильных металлов при дегидратации метаосадочных пород в высокоградных террейнах (Северо-Муйский блок Забайкалья).

В **2024** г. процессы формирования изотопно-геохимической неоднородности литосферы орогенов были продолжены на примере осадочных пород и метабазитов фанерозойских аккреционных комплексов, в то время как фокус в исследованиях гранитоидов и щелочных магм был смещен на установление рудной специализации магм и факторов концентрирования полезных компонентов. Представительным примером такой гетерогенности выступают комплексы аккреционного клина Забайкалья, содержащие фрагменты метабазальтов океанической коры с различной геохимической спецификой (от N-MORB и E-MORB до OIB) с широким диапазоном изотопных характеристик Nd (от сильно радиогенных до оклохондритовых), что соответствует области вариаций изотопного состава Nd в ювенильной коре Монголо-Охотского пояса. Схожая распространность контрастных по составу метабазитов установлена для раннепалеозойских эклогитсодержащих комплексов Тянь-Шаня, где изотопно-геохимические вариации для эклогитов обусловлены последовательным вовлечением в субдукционно-аккреционные процессы гетерогенной океанической литосферы (Атбashi) и

процессами внутрикоровой контаминации в пределах относительно мощной раннедокембрийской литосферы окраины микроконтинентов (Актюз, Макбал).

На основании систематизации имеющихся и оригинальных показано развитие редкометалльных гранитов Li-F типа в широком возрастном интервале при формировании разновозрастных мезозойских ареалов гранитоидного магматизма в северной и центральной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (321-126 млн лет). В большинстве интрузий рудоносных редкометалльных Li-F гранитов установлены существенные вариации содержаний Sn и W, с обогащением позднемагматических, пегматоидных амазонит-альбитовых гранитов, пегматиты и метасоматических пород. При этом рудоносность магм на Li, Ta, Sn, W контролируется магматической и флюидно-магматической дифференциацией и – в частности – формированием онгонитов из специализированных онгонитовых магм при дискуссионном вкладе мантийных (плюмовых) источников. Новые данные о последовательности формирования гранитоидов Южно-Сангиленского пояса редкометальных пегматитов указывают на субсинхронность формирования редкометальных пегматитов и гранитоидов или их прямую парагенетическую связь, что позволяет более точно координировать геологоразведочные работы на этих важных для экономики рудных объектах. Парагенезисы ниобиевой и фосфорной минерализации рудах и рудных метасоматитах Большетагнинского массива Зиминской группы подтверждают полистадийное преобразование пород и руд, связь первичного ниобиевого оруденения (ферролумбит и фторкальциопирохлор) с апатит-тетраферрианнитовыми породами и апатитолитами, дальнейшим перераспределением Nb в связи с калишпатизацией и внедрением карбонатитовых расплавов.

Основные результаты проведенных в 2025 г. исследований заключаются в итоговом обобщении и систематизации полученных данных, результаты этого этапа детально раскрыты в основной части отчета и суммированы в начале данного раздела.

В результате выполнения исследований в 2021-2025 гг. получен большой объем оригинальных данных о геохимической и изотопной неоднородности литосферы перикратонных орогенов, которые главным образом увязаны к нескольким основным аспектам, включая:

- происхождение и эволюцию преобладающих в объеме континентальной литосферы гранитоидных магм в субдукционных, коллизионных и постколлизионных процессах, их связь с рециклиингом и переработкой вещества в конвергентных и внутриплитных обстановках и индикаторная роль для указанных процессов;

- масштабы вертикальной неоднородности мантийных секций, родоначальных для внутриплитных щелочных магм, индикаторы и степень проявления метасоматоза,

связанного с древними и современными субдукционными процессами, рециклированием несовместимых элементов и летучих компонентов;

- характер и масштабы неоднородности литосферы, сформированной за счет аккреции и латерального роста литосферы по тихоокеанской модели, регулярно постулируемой для эволюции Центрально-Азиатского пояса и смежных орогенов;

- механизмы формирования металлогенической специализации гранитоидных и щелочных магм, перспективных на редкометалльное, благороднометалльное и иное оруденение, концентрирования полезных компонентов в первично-магматических, постмагматических и метасоматических процессах.

В свете указанных, наиболее интересных аспектов исследований к важнейшим результатам и выводам по итогам выполнения проекта стоит отнести следующие:

1. Наиболее существенной изотопно-геохимической неоднородностью характеризуется литосфера неопротерозой-фанерозойских аккреционных областей (Центрально-Азиатский и Монголо-Охотский орогены, палеозоиды Тянь-Шаня), сформированных по тихоокеанскому сценарию за счет последовательного совмещения контрастных по возрасту и природе субстрата океанических, реже – островодужных базитов и высокобарических пород, совмещенных с блоками терригенных и вулканогенно-осадочных толщ. Осадочные террейны и микроконтиненты с докембрийским фундаментом являются наиболее вероятным компонентом, ответственным за древнекоровые изотопные метки в результате прямого субдукционного рециклинга или контаминации коровым веществом в случае вовлечения в субдукционно-аккреционные процессы окраинно-континентальных комплексов. Выявленная неоднородность систематически трассируется в изотопных характеристиках палеозойских внутриплитных гранитоидов и мезозойских рифтогенных вулканитов.

2. Вещественная неоднородность внутриплитных континентальных и океанических областей, отраженная в геохимических и изотопных характеристиках щелочно-базитовых магм, ксенолитов и мегакристов в мантийных породах, контролируется термальным режимом, глубинами и степенью плавления литосферной и сублитосферной мантии, процессами флюидного и расплавного метасоматоза. Проведенные исследования на примере кайнозойских вулканических ареалов Прибайкалья и Монголии с проявлением щелочно-базальтовых и субщелочных трахиандезибазальтовых расплавов указывают на уменьшение глубин магмообразования и условий плавления от границ астеносферной и литосферной мантии (~ 21 - 28 кбар, ~ 1360 - 1430°C) до верхов литосферной мантии (10 - 16 кбар, ~ 1190 - 1240°C). «Гранатовые» метки в составах расплавов и распространность карбонатных фаз предполагают плавление

мантии, обогащенной за счет метасоматоза при деволатилизации субдуцированной океанической литосфера. Несмотря на радикальные отличия от структуры континентальной литосферы, для внутриоceanических областей, опробованных petit-spot вулканами, также характерны прямые признаки метасоматической проработки флюидами и/или расплавами и верлитизации, однако характер и источники этих метасоматизирующих агентов нуждаются в дополнительных изысканиях.

3. В периферийных зонах разновозрастных (Mz_1 и Mz_2) постколлизионных магматических ареалов редкометалльное оруденение ассоциирует с многофазными массивами и малыми интрузиями редкометалльных Li-F гранитов. Характерным является закономерный рост концентраций F, Li, Rb, Cs, Sn, W, Be, Ta, Nb при процессах эволюции магм Li-F типа в процессах флюидно-магматической дифференциации. На примере эталонных объектов Прибайкалья, Монголии, Восточного Саяна, Южно- и Центрально-Сангиленского пегматитовых поясов показана возможность субсинхронного формирования редкометалльных пегматитов и гранитоидов основных фаз, так и в значительном временном отрыве и без очевидной парагенетической связи с гранитоидами. Выявленные закономерности крайне индивидуальны для отдельных объектов, и необходимо учитывать их для точной координации геологоразведочных работ.

4. Проведены геолого-петрологические, минералого-geoхимические, изотопно-геохронологические исследования метаосадочных пород комплексов Фенноскандинавского и Сибирского кратонов, подвижных поясов в их обрамлении. Обоснованы закономерности проявления литогенеза в архее – фанерозое. В структурах всех возрастов установлены близкие соотношения в них обломочных (не зрелых – метапсаммитолитов), зрелых метаосадочных типов пород, продуктов химических преобразований (гидролизатов, кор выветривания). Главным фактором, определяющим состав и распространность метаосадочных пород в Сибирском и Фенноскандинавском кратонах, комплексах в подвижных поясах обрамления Сибирского кратона, Памира является их формирование из питающих провинций – древнейших ТТГА.

5. Формирование комплексной редкометалльной (Nb, РЗЭ, Р) минерализации, связанной с щелочно-карбонатитовыми комплексами может происходить в несколько стадий от первичного обогащения до метасоматического преобразования силикатных пород. На примере Большетагнинского месторождения Зиминской группы установлена последовательная трансформация руд со сменой главных минералов-концентраторов ниобия в процессе постмагматического флюид-карбонатитового наложения. Характеристики первичных и переотложенных руд предполагают возможность использования содержания фосфора как прямой поисковый признак ниобиевого

оруденения, фокуса разведочных работ на ореолах метасоматически измененных силикатных пород и потенциального извлечения попутных компонентов (РЗЭ, уран) при оценке экономической эффективности и разработке технологических схем переработки руд аналогичных и схожих типов.

6. Детальное изучение минерально-фазовых особенностей мелилит-нефелиновых паралав пирометаморфических комплексов Монголии показало, что недосыщенные по кремнезему и обогащенные Ca силикатные, а также карбонатные (кальцитовые) расплавы, исходные для вулканических пород и карбонатитов, могли формироваться при плавлении толщ карбонатно-силикатных осадочных пород в коровых условиях при небольшом давлении в присутствии углекислотного флюида. Экспериментальные исследования по плавлению термически измененного мергелистого известняка согласуются с этим выводом и показывают возможность плавления карбонатно-силикатных пород, которое приводит к формированию карбонатных (кальцитовых) расплавов в специфических низкобарических (7–17 МПа) и высокотемпературных (1250–1300°C) условиях при высокой активности CO₂.

Все запланированные на указанный период исследования по проекту №0284-2021-0007 выполнены, поставленные задачи решены в полном объеме. Полученные результаты, в части геолого-геохимических и геохронологических критериев потенциальной рудоносности гранитоидных, пегматитовых и щелочных комплексов на редкие металлы, могут быть значимы для горнодобывающих компаний, работающих в сфере редких металлов (АО «ТВЭЛ», ГК «Росатом»), а также государственных структур, отвечающих за воспроизводство минерально-сырьевой базы (Роснедра) при проектировании разведочных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коваленко В.И., Кузьмин М.И., Зоненшайн Л.П. и др. Редкометалльные гранитоиды Монголии. М: Наука. – 1971. – 239 с.
2. Левицкий В.И. Петрология и геохимия метасоматоза при формировании континентальной коры. – Новосибирск: Гео, 2005. – 338 с.
3. Туркина О.М. Раннедокембрийская эволюция коры Иркутского блока Шарыжалгайского выступа (юго-запад Сибирского кратона): синтез U-Pb, Lu-Hf и Sm-Nd изотопных данных // Геология и геофизика. – 2022. – №2. – С. 163–183.
4. Ранний докембрий Балтийского щита. // Изд-во Наука. – Санкт-Петербург. – 2005. – 711 с.
5. Васильев Е.П., Резницкий Л.З., Вишняков В.Н., Некрасова Е.А. Слюдянский кристаллический комплекс. – Новосибирск: Наука, 1981. 195 с.
6. Неелов А.Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород. // Изд-во Наука. – Ленинград. – 1980. – 100 с.
7. Martin H. Archean grey gneisses and the genesis of continental crust. // Amsterdam: Elsevier. – 1994. – Р. 205–259.
8. Кузнецова Л.Г. Взаимодействие корового и мантийного вещества – источников редких элементов при формировании и эволюции раннепалеозойских богатых Li гранитно-пегматитовых систем Ю-В Тувы // Геология и Геофизика. – 2018. – №12. – С. 2079–2100.
9. Černý P., Ercit T.S. The classification of granitic pegmatites revisited // Canadian Mineralogist. – 2005. – Vol. 43. – P. 2005–2026.
10. Martin R.F., De Vito C. The patterns of enrichment in felsic pegmatites ultimately depend on tectonic setting // Canadian Mineralogist. – 2005. – Vol. 43. – P. 2027–2048.
11. Černý P., London D., Novák M. Granitic pegmatites as reflections of their sources // Elements. – 2012. – Vol. 8. – P. 289–294.
12. Sha L-K., Chappell B.W. Apatite chemical composition, determined by electron microprobe and laser-ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, as a probe into granite petrogenesis // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1999. – Vol. 63(22). – P. 3861–3881.
13. Chu M.-F., Wang K.-L., Griffin W.L., Chung S.-L., O'Reilly S.Y., Pearson N.J., Iizuka Y. Apatite compositions: tracing petrogenetic processes in Transhimalayan granitoids // Journal of Petrology. – 2009. – Vol. 50. – P. 1829–1855.

14. Кузнецова Л.Г. Взаимодействие корового и мантийного вещества – источников редких элементов при формировании и эволюции раннепалеозойских богатых Li гранитно–пегматитовых систем Ю-В Тувы // Геология и Геофизика. – 2018. – №12. – С. 2079–2100.
15. Кузнецова Л.Г., Шокальский С.П., Сергеев С.А., Дриль С.И. Возрастные рубежи проявления и особенности состава раннепалеозойского магматизма и связанных с ним редкометалльных пегматитов в юго–восточной части Сангиленского блока Тувино–Монгольского массива // Геодинамика и тектонофизика. – 2021. – Т. 12. – №2. – С. 261–286.
16. Иванова А.А., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Кузнецова Л.Г., Плоткина Ю.В., Левицкий И.В. Возрастные рубежи формирования гранитов и редкометалльных пегматитов Восточно–Саянского пояса // Соотношение времени образования магматических формаций и рудных месторождений в металлогенических провинциях Евразии: Материалы IX Российской конференции по изотопной геохронологии / г. Москва. (3–5 июня 2025 г.). – М. ИГЕМ РАН, 2025. – С. 71–74.
17. Кузнецова Л.Г., Белозерова О.Ю. Особенности распределения и состава акцессорных фосфатов в сподуменовых пегматитах Южной Тувы как индикаторы условий их петrogenезиса // Граниты и эволюция земли. Геодинамические обстановки, происхождение и рудный потенциал гранитоидного магматизма: Материалы 4–й геологической конференции (с международным участием), посвященной 300–летию Российской академии наук / г. Иркутск (2–7 июня 2025). – Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 2025. – С. 58–60.
18. Акулова Ю.В., Кузнецова Л.Г., Белозерова О.Ю. Отражение эволюции редкометалльных пегматитов Южно–Сангиленского пегматитового пояса (республика Тыва) в смене парагенезисов акцессорных минералов // Современные проблемы геохимии: Сборник материалов всероссийской конференция молодых ученых / г. Иркутск (15 – 20 сентября 2025 г.). – Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 2025. – С. 15–17.
19. Windley B. The evolving continents. 3rd edition. JohnWily & Sons. Chichester. – 1995. – 526 p.
20. Jahn B.M., Wu F.Y., Chen B. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotope evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic // Episodes. – 2000. – Vol. 23(2). – P.82–92.
21. Jahn B.M. The Central Asian Orogenic Belt and growth of the continental crust in Phanerozoic // Geology Society. London. Special Publication. – 2004. – Vol.226. – P.73–100.

22. Kroner A., Kovach V., Alexeiev D., et al. No excessive crustal growth in the Central Asian Orogenic Belt: Further evidence from field relationships and isotopic data // Gondwana Research. 2017. – Vol. 50. – P.135–166.
23. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра. – 1990. – Т. 1. – 396 С.
24. Моссаковский А.А., Руженцев С.В., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Центрально–Азиатский складчатый пояс: геодинамическая эволюция и история формирования // Геотектоника. – 1993. – №6. – С. 3–31.
25. Парфенов Л.М., Берzin Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличинко В.Г., Булнатов А.Н., Дриль С.И., Кирилова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев О., Тормутогоо О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо–Восточной Азии // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22. – № 6. – С. 7–41.
26. Парфенов Л.М., Попеко Л.И., Томутогоо О. Проблема тектоники Монголо–Охотского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. – 1999. – Т. 18. – № 5. – С. 24–43.
27. Дриль С.И., Татарников С.А., Казимировский М.Э. Вулканиты уртуйской свиты Восточного Забайкалья – геохимические особенности и геодинамическое положение // Материалы совещания геодинамическая эволюция литосферы Центрально–Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) / г. Иркутск (октябрь 2006 г.). – ИЗК СО РАН, Иркутск, 2006. – Выпуск 4. – Т. 1. – С. 101–104.
28. Геологическое строение Читинской области. Объяснительная записка к геологической карте масштаба 1:500 000. Чита. – 1997. – 239 с.
29. Руженцев С.В., Некрасов Г.Е. Тектоника Агинской зоны (Монголо–Охотский пояс) // Геотектоника. – 2009. – №1. – С. 39–58.
30. Попеко Л.И. Карбон Монголо–Охотского орогенного пояса. – Владивосток. Дальнаука, 2000. – 124 с.
31. Zhu M., Pastor-Galán D., Miao L., Zhang F., Ganbat A., Li S., Yang S., Wang Z. Evidence for Early Pennsylvanian subduction initiation in the Mongol–Okhotsk Ocean from the Adaatsag ophiolite (Mongolia) // Lithos. – 2023. – Vol. 436–437. – P. 436–437.
32. Saccani E. A new method of discriminating different types of post–Archean ophiolitic basalts and their tectonic significance using Th–Nb and Ce–Dy–Yb systematics // Geoscience Frontiers. – 2015. – Vol. 6. – P. 481–501.
33. John T., Scherer E.E., Haase K., Schenk V. Trace element fractionation during fluid–induced eclogitization in a subduction slab: trace element and Lu–Hf–Sm–Nd isotope systematics // Earth and Planetary Science Letters. – 2004. – Vol. 277. – P. 441–456.

34. Дриль С.И., Кузьмин М.И., Носкова Ю.В., Зарубина О.В. Изотопные Sm–Nd характеристики ювенильной коры центральной части Монголо–Охотского орогенного пояса // Доклады РАН. – 2023. – Т. 509. – №2. – С. 184–189.
35. Müntener O., Ulmer P. Experimentally derived high-pressure cumulates from hydrous arc magmas and consequences for the seismic velocity structure of lower arc crust // Geophysical Research Letters. – 2006. – Vol. 33(21). – P. L21308.
36. Chapman T., Clarke G.L., Daczko N., Piazolo S., Rajkumar A. Orthopyroxene–omphacite– and garnet–omphacite–bearing magmatic assemblages, Breaksea Orthogneiss, New Zealand: oxidation state controlled by high–P oxide fractionation // Lithos. – 2015. – Vol. 216–217. – P. 1–16.
37. Bradshaw J.Y. Origin and metamorphic history of an Early Cretaceous polybaric granulite terrain, Fiordland, southwest New Zealand // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1989. – Vol. 103. – P. 346–360.
38. Garrido C.J., Bodinier J.L., Burg J.P., Zeilinger G., Hussain S.S., Dawood H., Chaudhry M.N., Gerville F. Petrogenesis of mafic garnet granulites in the lower crust of the Kohistan palaeo–arc complex (Northern Pakistan): implications for intra–crustal differentiation of island arcs and generation of continental crust // Journal of Petrology. – 2006. – Vol. 47. – P. 1873–1914.
39. Ringuette L., Martignole J., Windley B.F. Magmatic crystallization, isobaric cooling, and decompression of the garnet–bearing assemblages of the Jijal sequence (Kohistan terrane, Western Himalayas) // Geology. – 1999. – Vol. 27. – P. 139–142.
40. Грудинин М.И., Меньшагин Ю.В. О находке гранатовых ультрабазитов и эклогитов в Южно–Муйской глыбе архея (Северное Прибайкалье) // Доклады Академии Наук. – 1988. – Т. 299. – №2. – С. 434–437.
41. Доронина Н.А., Скляров Е.В. Соотношение эклогитового и гранулитового метаморфизма в пределах Южно–Муйской глыбы // Доклады Академии Наук. – 1995. – Т. 340. – №6. – С. 793–796.
42. Carswell D.A., O'Brien P.J. Thermobarometry and geotectonic significance of high–pressure granulites: examples from the Moldanubian zone of the Bohemian massif in Lower Austria // Journal of Petrology. – 1993. – Vol. 34(3). – P. 427–459.
43. Скузоватов С.Ю., Шацкий В.С., Дриль С.И. Высокобарические мафические гранулиты Южно–Муйской глыбы (Центрально–Азиатский складчатый пояс) // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 473. – №. 4. – С. 472–476.

44. Изох А.Э., Гибшер А.С., Журавлев Д.З., Балыкин П.А. Sm–Nd–данные о возрасте ультрабазит–базитовых массивов восточной ветви Байкало–Муйского офиолитового пояса // Доклады Академии Наук. – 1998. – Т. 360. – №1. – С. 88–92.
45. Цыганков А.А. Магматическая эволюция Байкало–Муйского вулканоплутонического пояса в позднем докембрии. Новосибирск: Изд–во СО РАН, 2005. – 306 с.
46. Klein B.Z., Jagoutz O., Schmidt M.W., Kueter N. A global assessment of the controls on the fractionation of arc magmas // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. – 2023. – Vol. 24. – P. e2023GC010888.
47. Herzberg C. Identification of source lithology in the Hawaiian and Canary Islands: implications for origins // *Journal of Petrology*. – 2011. – Vol. 52(1). – P. 113–146.
48. Miyashiro A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins // *American Journal of Science*. – 1974. – Vol. 274. – P. 321–355.
49. Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Geological Society London Special Publication*. – 1989. – Vol. 42. – P. 313–345.
50. McDonough W.F., Sun S.-s. The composition of the Earth // *Chemical Geology*. 1995. – Vol. 120. – P. 223–253.
51. Skuzovatov S.Yu., Shatsky V.S., Wang K.-L. Continental subduction during arc–microcontinent collision in the southern Siberian craton: constraints on protoliths and metamorphic evolution of the North Muya complex eclogites (Eastern Siberia) // *Lithos*. – 2019. – Vol. 342–343. – P. 76–96.
52. Рыцк Е.Ю., Ковач В.П., Коваленко В.И., Ярмолюк В.В. Структура и эволюция континентальной коры Байкальской складчатой области // *Геотектоника*. – 2007. – №6. – С. 23–51.
53. Андреев А.А., Рыцк Е.Ю., Великославинский С.Д., Толмачева Е.В., Богомолов Е.С., Лебедева Ю.М., Федосеенко А.М. Возраст, состав и тектонические обстановки формирования позднебайкальских комплексов Кичерской зоны Байкало–Витимского пояса (северное Прибайкалье): геологические, геохронологические (ID–TIMS, SIMS) и Nd–изотопные данные // *Петрология*. – 2022. – Т. 30. – № 4. – С. 345–378.
54. Skuzovatov S.Yu., Wang K.-L., Dril S.I., Lee H.-Y., Iizuka Y. Geochemistry, zircon U–Pb and Lu–Hf systematics of high-grade metasedimentary sequences from the South Muya block (northeastern Central Asian Orogenic Belt): reconnaissance of polymetamorphism and accretion of Neoproterozoic exotic blocks in southern Siberia // *Precambrian Research*. – 2019. – Vol. 321. – P. 34–53.

55. Pattinson D.R.M. Petrogenetic significance of orthopyroxene–free garnet plus clinopyroxene plus plagioclase +/- quartz–bearing metabasites with respect to the amphibolite and granulite facies // Journal of Metamorphic Geology. – 2003. – Vol. 21. – P. 21–34.
56. Rushmer T. Experimental high–pressure granulites: some applications to natural mafic xenolith suites and Archean granulite terrane // Geology. – 1993. – Vol. 21. – P. 411–414.
57. Tomkins H.S., Powell R., Ellis D.J. The pressure dependence of the zirconium–in–rutile thermometer // Journal of Metamorphic Geology. – 2007. – Vol. 25. – P. 703–713.
58. Фролов А.А., Белов С.В. Комплексные карбонатитовые месторождения Зиминского рудного района (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений. 1999. – Т. 41. – № 2. – С. 109–130.
59. Савельева В.Б., Данилова Ю.В., Летников Ф.А., Демонтерова Е.И., Юдин Д.С., Базарова Е.П., Данилов Б.С., Шарыгин И.С. Возраст и источники расплавов ультрамафитовых даек и пород Большетагнинского щелочно–карбонатитового массива (Урикско–Ийский грабен. Юго–западная окраина Сибирского кратона) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2022. – Т. 505. – № 1. – С. 53–61.
60. Прокопьев И.Р., Дорошевич А.Г., Варченко М.Д., Семенова Д.В., Избродин И.А., Крук М.Н. Минералогия и возраст карбонатитов комплекса Средняя Зима (Восточный Саян) // Геодинамика и тектонофизика. – 2024. – Т. 15(2). – С. 0749.
61. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Сальникова Е.Б., Никифоров А.В., Котов А.Б., Владыкин Н.В. Позднерифейский рифтогенез и распад Лавразии: данные геохронологических исследований ультраосновных щелочных комплексов в южном обрамлении Сибирского кратона // ДАН. – 2005. – Т. 404. – С. 1031–1037.
62. Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Станевич А.М., Донская Т.В., Мотова З.Л., Ванин В.А. Возрастные уровни и геодинамические режимы накопления докембрийских толщ Урикско–Ийского грабена, юг Сибирского кратона // Геотектоника. – 2014. – № 5. – С. 17–31.
63. Савельева В.Б., Данилова Ю.В., Летников Ф.А., Демонтерова Е.И., Юдин Д.С., Базарова Е.П., Данилов Б.С., Шарыгин И.С. Возраст и источники расплавов ультрамафитовых даек и пород Большетагнинского щелочно–карбонатитового массива (Урикско–Ийский грабен. Юго–западная окраина Сибирского кратона) // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. – 2022. – Т. 505. – № 1. – С. 53–61.
64. Владыкин Н.В. Геохимия изотопов Sr и Nd щелочных и карбонатитовых комплексов Сибири и Монголии и некоторые геодинамические следствия // Проблемы источников глубинного магматизма и плюмы. – Иркутск: Изд–во Института географии СО РАН, 2005. – С. 13–29.

65. Хромова Е.А., Дорошкевич А.Г., Избродин И.А. Геохимическая и Sr–Nd–Pb изотопная характеристики щелочных пород и карбонатитов Белозиминского массива (Восточный Саян) // Геосферные исследования. – 2020. – № 1. – С. 33–55.
66. Bell K., Blenkinsop J. Neodymium and strontium isotope geochemistry of carbonatites // In: Bell K. (ed.) Carbonatites: Genesis and Evolution. London: Unwin Hyman, 1989. – P. 278–300.
67. Zindler A., Hart S. Chemical Geodynamics // Annual Reviews in Earth and Planetary Sciences. – 1986. – Vol. 14. – P. 493–571.
68. Kogarko L.N., Lahaye Y., Brey G.P. Plume-related Mantle Source of Super-large Rare Metal Deposits from the Lovozero and Khibina Massifs on the Kola Peninsula, Eastern Part of Baltic Shield: Sr, Nd and Hf Isotope Systematics // Mineralogy and Petrology. – 2010. – Vol. 98. – P. 197–208.
69. Дорошкевич А.Г. и др. Неопротерозойский щелочной магматизм юга Сибирского кратона: источники, связь натриевого и калиевого щелочного магмата, рудообразование: Карточка проекта РНФ № 23–17–00098. 2023.
70. Peretyazhko I.S., Savina E.A., Khromova E.A. Minerals of the rhönite–kuratite series in paralavas from a new combustion metamorphic complex of Choir–Nyalga Basin (Central Mongolia): chemistry, mineral assemblages, and formation conditions // Mineralogical Magazine. – 2017. – Vol. 81(4). – P. 949–974.
71. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Хромова Е.А., Карманов Н.С., Иванов А.В. Уникальные клинкеры и паралавы нового Нилгинского пирометаморфического комплекса в Центральной Монголии: минералого–геохимические особенности, условия формирования // Петрология. – 2018. – Т. 26. – № 2. – С. 178–210.
72. Савина Е.А., Перетяжко И.С., Хромова Е.А., Глушкова В.Е. Плавленные породы (клинкеры и паралавы) пирометаморфического комплекса Хамарин–Хурал–Хид, Восточная Монголия: минералогия, геохимия, процессы образования // Петрология. – 2020. – Т. 28. – № 5. – С. 482–510.
73. Савина Е.А., Перетяжко И.С. Условия и процессы формирования кристобалитового клинкера, железистых и мелилит–нефелиновых паралав в пирометаморфическом комплексе Хамарин–Хурал–Хид, Восточная Монголия // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64. – № 12. – С. 1690–1715.
74. Peretyazhko I.S., Savina E.A. Formation conditions of unusual extremely reduced High-temperature mineral assemblages in rocks of combustion metamorphic complexes // Crystals. – 2024. – Vol. 14(12). – P. 1052.

75. Kobayashi H. Kanoite, $(\text{Mn}^{2+}, \text{Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$, a new clinopyroxene in the metamorphic rock from Tatehira, Oshima Peninsula, Hokkaido, Japan // Journal of Geological Society Japan. – 1977. – Vol. 83(8). – P. 537–542.
76. Petersen E., Lawrence A., Essene E. Donpeacorite, $(\text{Mn}, \text{Mg})\text{MgSi}_2\text{O}_6$, a new orthopyroxene and its proposed phase relations in the system MnSiO_3 – MgSiO_3 – FeSiO_3 // American Mineralogist. – 1984. – Vol. 69(5–6). – P. 472–480.
77. Stimpfl M. The Mn, Mg–intracrystalline exchange reaction in donpeacorite ($\text{Mn}_{0.54}\text{Ca}_{0.03}\text{Mg}_{1.43}\text{Si}_2\text{O}_6$) and its relation to the fractionation behavior of Mn in Fe, Mg–orthopyroxene // American Mineralogist. – 2005. – V. 90. – P. 155–161.
78. Peretyazhko I.S. Savina E.A., Khromova E.A. Low-pressure (>4 MPa) and hightemperature (>1250 °C) incongruent melting of marly limestone: formation of carbonate melt and melilite–nepheline paralava in the Khamaryn–Khural–Khiid combustion metamorphic complex, East Mongolia // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2021. – Vol. 176. – P. 38.
79. Tupitsyn A.A, Yasko S.V., Bychinsky V.A., Peretyazhko I.S., Glushkova V.E. Thermodynamic assessment of phase diagrams of calcite and $\text{CaO}-\text{CaCO}_3$ system // Materialia. – 2024. – Vol. 34. – P. 102106.
80. Hein J.R.; Yeh H.-W.; Gunn S.H.; Sliter W.V.; Benninger L.M.; Wang C.-H. Two major Cenozoic episodes of phospho–genesis recorded in equatorial Pacific seamount deposits // Paleoceanography. – 1993. – Vol. 8. – P. 293–311.
81. Bonatti E., Kraemer T., Rydell H. Classification and genesis of submarine iron–manganese deposits // Ferromanganese Deposits on the Sea Floor / Horn D.R. (Ed.). Arden House: Harriman, NY, USA, 1972. P. 149–166.
82. Josso P., Pelleter E., Pourret O., Fouquet Y., Etoubleau J., Cheron S., Bollinger C. A new discrimination scheme for oceanic ferromanganese deposits using high field strength and rare earth elements // Ore Geology Reviews. – 2017. – Vol. 87. – P. 3–15.
83. Bau M., Schmidt K., Koschinsky A., Hein J., Kuhn T., Usui A. Discriminating between different genetic types of marine ferro–manganese crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium // Chemical Geology. – 2014. – Vol. 381. – P. 1–9.
84. Yarmolyuk V.V., Kuzmin M.I., Ernst R.E. Intraplate Geodynamics and Magmatism in the Evolution of the Central Asian Orogenic Belt // Journal of Asian Earth Science. – 2014. – Vol. 93. – P. 158–179.
85. Iwamori H., Nakamura H. Isotopic Heterogeneity of Oceanic, Arc and Continental Basalts and Its Implications for Mantle Dynamics // Gondwana Res. – 2015. – V. 27. – №. 3. – P. 1131–1152.

86. Hart S.R., Hauri E.H., Oschmann L.A., Whitehead J.A. mantle plumes and entrapment: isotopic evidence // *Science*. – 1992. – Vol. 256(5056). – P. 517–520.
87. Stracke A., Bizimis M., Salters V.J.M. Recycling oceanic crust: quantitative constraints // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. – 2003. – Vol. 4(3). – Paper 8003.
88. Carlson R.W., Ionov D.A. Compositional Characteristics of the MORB Mantle and Bulk Silicate Earth Based on Spinel Peridotites from the Tariat Region, Mongolia // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2019. – Vol. 257. – P. 206–223.
89. Barry T.L. Petrogenesis of Cenozoic Basalts from Mongolia: Evidence for the Role of Asthenospheric versus Metasomatized Lithospheric Mantle Sources // *Journal of Petrology*. – 2003. – Vol. 44(1). – P. 55–91.
90. Ancuta L.D., Zeitler P.K., Idleman B.D., Jordan B.T. Whole-rock $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology, geochemistry, and stratigraphy of intraplate Cenozoic volcanic rocks, central Mongolia // *GSA Bulletin*. – 2018. – Vol. 130(7–8). – P. 1397–1408.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ В РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ ИЗДАНИЯХ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА ЗА 2021–2025 гг.

2021

1. Антипов В.С., Кущ Л.В., Одгэрэл Д., Белозерова О.Ю. Раннемезозойские редкометалльные граниты и метасоматиты Монголии: минералого-геохимические особенности и связь с ними рудной минерализации (массив Бага-Газрын) // Геология и геофизика. – 2021. – №9. – С. 1294–1308.
2. Дмитриева А.С., Перетяжко И.С., Савина Е.А. Реликты фторидно-кальциевого (флюоритового) и солевых расплавов в породах массива Ары-Булак (Восточное Забайкалье) // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – №5. – С. 201–214.
3. Ефремов С.В., Травин А.В. Изотопный возраст и палеогеодинамическая позиция ультракалиевого магматизма Центральной Чукотки // Геодинамика и тектонофизика. – 2021. – Т. 12. – №1. – С. 76–83.
4. Кузнецова Л.Г., Шокальский С.П., Сергеев С.А., Дриль С.И. Возрастные рубежи проявления и особенности состава раннепалеозойского магматизма и связанных с ним редкометалльных пегматитов в юго-восточной части Сангиленского блока Тувино-Монгольского массива // Геодинамика и тектонофизика. – 2021. – Т.12. – №2. – С. 261–286.
5. Макрыгина В.А. Специфика каледонских коллизионных событий в Ольхонском регионе Прибайкалья // Геология и геофизика. – 2021. – №4. – С. 483–497.
6. Шацкий В.С., Рагозин А.Л., Скузоватов С.Ю., Козьменко О.А., Ягоутц Э. Изотопно-геохимические свидетельства природы протолитов алмазоносных пород Кокчетавской субдукционно-коллизионной зоны (Северный Казахстан) // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62. – №5. – С. 678–689.
7. Chevychelov V.Y., Kotelnikov A.R., Peretyazhko I.S., Viryus A.A., Suk N.I., Savina E.A. Low-pressure high-temperature melting of marly limestone from the pyrometamorphic complex of Mongolia (first results) // Experiment in GeoScience. – 2021. – Vol. 27, No 1. – P. 129–131.
8. Jin T., Wang Q., Shatsky V., Liao Y. Water Content and Deformation of the Lower Crust beneath the Siberian Craton: Evidence from Granulite Xenoliths // Journal of Geology. – 2021. – Vol. 129(5). – P. 475–498.

9. Kanygina N.A., Tretyakov A.A., Degtyarev K.E., Kovach V.P., Skuzovatov S.Y., Pang K.-N., Wang K.-L., Lee H.-Y. Late Mesoproterozoic–early Neoproterozoic quartzite–schist sequences of the Aktau–Mointy terrane (Central Kazakhstan): Provenance, crustal evolution, and implications for paleotectonic reconstruction // Precambrian Research. – 2021. – Vol. 354. – P. 106040.

10. Peretyazhko I.S., Savina E.A., Khromova E.A. Low-pressure (> 4 MPa) and high temperature ($> 1250^\circ\text{C}$) incongruent melting of marly limestone: formation of carbonate melt and melilite–nepheline paralava in the Khamaryn–Khural–Khiid combustion metamorphic complex, East Mongolia // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2021. – Vol. 176(38). – P. 1–28.

11. Rasskazov S., Chuvashova I., Yasnygina T., Saranina E., Gerasimov N., Ailow Y., Sun Y.-M. Tectonic generation of pseudotachylites and volcanic rocks: Deep-seated magma sources of crust–mantle transition in the Baikal rift system, Southern Siberia // Minerals. – 2021. – Vol. 11. – Article 487.

12. Skuzovatov S.Yu. Nature and (in-)coherent metamorphic evolution of subducted continental crust in the Neoproterozoic accretionary collage of SW Mongolia // Geoscience Frontiers. – 2021. – V. 12(3). – P. 101097.

13. Skuzovatov S.Yu., Shatsky V.S., Ragozin A.L., Wang K.-L. Ubiquitous post-peak zircon in an eclogite from the kumdy–kol, kokchetav uhp–hp massif (Kazakhstan): Significance of exhumation-related zircon growth and modification in continental–subduction settings // Island Arc. – 2021. – Vol. 30(1). – P. 1–19.

14. Skuzovatov S., Wang K.-L., Smelov A.P. Tracing the origin of zircon megacrysts in Triassic sediments of northeastern Siberian craton with implications to diamond paucity of craton–edge subcontinental lithospheric mantle // Lithos. – 2021. – Vol. 400–401. – P. 106376.

2022

1. Антипин В.С., Кузьмин М.И., Одгэрэл Д., Кущ Л.В., Шептякова Н.В. Редкометалльные литий–фтористые граниты в позднепалеозойском, ранне– и позднемезозойском ареалах гранитоидного магматизма Центральной Азии // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63. – №7. – С. 935 – 955.

2. Орсоев Д.А., Гордиенко И.В., Булгатов А.Н., Бадмацыренова Р.А., Дриль С.И., Посохов В.Ф. Неопротерозойские метабазальты Тыйского комплекса Олокитского рифтогенного прогиба (Байкало–Муйский пояс): состав, U–Pb возраст, изотопно–геохимическая характеристика, геодинамические следствия // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 7. – С. 915–934.

3. Потапов С.В., Шарыгин И.С., Константинов К.М., Данилов Б.С., Щербаков Ю.Д., Летников Ф.А. Расплавные включения в хромшпинелиде кимберлитов трубы Заполярная (Верхнемунское поле, Сибирский кратон) // Доклады Российской академии наук. Науки о земле. – 2022. – Т. 504. – №1. – С. 46–51.
4. Скузоватов С.Ю., Горнова М.А., Каримов А.А. Минералого–геохимические и Nd–Sr изотопные характеристики амфиболитов высокобарического комплекса Алаг–Хадны (ЮЗ Монголия): внутриконтинентальный рифтогенез как прекурсор субдукции континентальной окраины // Петрология. – 2022. – Т. 30. – №5. – С. 545–568.
5. Смирнова Ю.Н., Дриль С.И. Геохимия вендских (?) метаосадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна // Геохимия. – 2022. – Т. 67. – № 5. – С. 445–462.
6. Смирнова Ю.Н., Овчинников Р.О., Смирнов Ю.В., Дриль С.И. Источники кластического материала и условия накопления осадочных пород даурской серии Аргунского континентального массива // Тихоокеанская геология. – 2022. – Т. 41. – № 1 – С. 13–31.
7. Цыпукова С.С., Перепелов А.Б., Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Дриль С.И., Кузьмин М.И., Травин А.В., Щербаков Ю.Д., Пузанков М.Ю., Канакин С.В. Два этапа кайнозойского щелочно–базальтового вулканизма Дархатской впадины (Северная Монголия) – геохронология, геохимия и геодинамические следствия // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – № 3. – С. 6–13.
8. Bergal–Kuvikas O., Bindeman I., Chugaev A., Larionova Yu., Perepelov A., Khubaeva O. Pleistocene–Holocene Monogenetic Volcanism at the Malko–Petropavlovsk Zone of Transverse Dislocations on Kamchatka: Geochemical Features and Genesis // Pure and Applied Geophysics. – 2022. – Vol. 179. – P. 3989–4011.
9. Shatsky V.S., Ragozin A.L., Wang Q., Wu M. Evidence of Eoarchean crust beneath the Yakutian kimberlite province in the Siberian craton // Precambrian Research. – 2022. – Vol. 369. – 106512.
10. Skoblenko (Pilitsyna) A.V., Degtyarev K.E., Kanygina N.A., Tretyakov A.A., Skuzovatov S.Yu., Pang K.–N., Lee H.–Y. Precambrian and Early Palaeozoic metamorphic complexes in the SW part of the Central Asian Orogenic Belt: ages, compositions, regional correlations and tectonic affinities // Gondwana Research. – 2022. – Vol. 105. – P. 117–142.
11. Skuzovatov S.Yu., Shatsky V.S., Ragozin A.L., Smelov A.P. The evolution of refertilized lithospheric mantle beneath the northeastern Siberian craton: links between mantle metasomatism, thermal state and diamond potential // Geoscience Frontiers. – 2022. – Vol. 13(6). – P. 101455.

12. Skuzovatov S.Yu., Shatsky V.S., Wang Q., Ragozin A.L., Kostrovitsky S.I. Multiple tectonomagmatic reactivation of the unexposed basement in the northern Siberian craton: from Paleoproterozoic orogeny to Phanerozoic kimberlite magmatism // International Geology Review. – 2022. – Vol. 64(8). – P. 1119–1138.

2023

1. Antipin V., Makrygina V., Kushch L., Sheptyakova N. The age and geochemical evolution of granite magmatism in Olkhon region from Caledonian syncollisional ore-free granite to the rare metal granite and pegmatite of Middle Paleozoic intraplate setting // China Geology. –2023. – Vol. 6. – P. 1–17.

2. Odgerel D., Ganbat B., Antipin V., Sanchir D., Tumurchudur C. Geochronology and Petrogenesis of the Gol Mod Massif: Implications for the Geodynamic Evolution of the Orkhon–Selenge Belt, Northwestern Mongolia // Mongolian Geoscientist. – 2022. – Vol. 27(55). – P. 1–17.

3. Бербекова Е.И., Кондаков Д.Ф., Кренев В.А., Кузнецова Л.Г., Печенкина Е.Н., Фомичев С.В. Сподуменовые пегматиты Тастыгского месторождения как перспективный источник лития // Химическая технология. – 2023. – Т. 24. – №12. – С. 446–449.

4. Глушкова В.Е., Перетяжко И.С., Савина Е.А., Хромова Е.А. Минералы группы оливина в мелилит–нефелиновых паралавах пирометаморфических комплексов Монголии // Записки РМО. – 2023. – № 1. – С. 61–77.

5. Глушкова В.Е., Перетяжко И.С., Савина Е.А., Хромова Е.А. Главные пордообразующие минералы паралав пирометаморфических комплексов Монголии // Записки РМО. – 2023. – № 4. – С. 65–83.

6. Дриль С.И., Кузьмин М.И., Носкова Ю.В., Зарубина О.В. Изотопные Sm–Nd характеристики ювенильной коры центральной части Монголо–Охотского орогенного пояса // Доклады Академии Наук. – 2023. – Т. 509. – № 2. – С. 184–189.

7. Левицкий В.И., Левицкий И.В., Павлова Л.А., Лукашова М.В. Муассанит в породах Бобруйского выступа Белорусского кристаллического массива Восточно–Европейского кратона // Петрология. – 2023. – Т. 31. – № 4. – С. 436–460.

8. Савина Е.А., Перетяжко И.С. Условия и процессы формирования кристобалитового клинкера, железистых и мелилит–нефелиновых паралав в пирометаморфическом комплексе Хамарин–Хурал–Хид, Восточная Монголия // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64. – №12. – С. 1690–1715.

9. Скузоватов С.Ю., Ризванова Н.Г., Скублов С.Г., Шацкий В.С. U–Pb ID–TIMS возраст рутила из эклогитов Северо–Муйского блока (Северо–Восточное Забайкалье) как индикатор длительности эксгумации континентальной литосферы // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. – 2023. – Т. 512. – №1. – С. 50–59.
10. Смирнов Ю.В., Хубанов В.Б., Дриль С.И. Позднекаменноугольные риолиты Приамурского фрагмента Нора–Сухотинского террейна: геохимия и геохронология // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42. – №5. – С. 105–119.
11. Третьяков А.А., Дегтярев К.Е., Каныгина Н.А., Журавлев А.Н., Скузоватов С.Ю. Эдиакарские и кембрийские вулканогенные и осадочные комплексы Южного Улутау (Центральный Казахстан): строение, обоснование возраста и обстановки формирования // Геотектоника. – 2023. – №5. – С. 37–69.
12. Шацкий В.С., Рагозин А.Л., Ванг Ч. Эволюция коры Якутской алмазоносной провинции – от эоархея до палеопротерозоя: результаты U–Th–Pb (ЛА–ИСП–МС) геохронологических и Lu–Hf изотопно–геохимических исследований циркона из ксенолитов коровых пород в кимберлитовых трубках // Геология и геофизика. – 2023. – Т.64. – №12. – С. 1659–1673.
13. Шацкий В.С., Рагозин А.Л., Ванг Ч., Су В., Ильин А.А., Колесниченко М.В. Особенности строения и эволюции нижних частей континентальной коры Якутской алмазоносной провинции в районе Верхне–Мунского кимберлитового поля // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. – 2023. – Т. 508. – №2. – С. 173–184.
14. Levitskiy I.V., Levitskiy V.I., Pavlova L.A., Lukashova M.V. Native Niobium in the Rocks of the Bobruisk Marginal Salient of the Eastern European Craton Foundation. // In: Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. – 2023. – P. 72–78.
15. Peretyazhko I.S., Savina E.A. Melting processes of pelitic rocks in combustion metamorphic complexes of Mongolia: mineral chemistry, Raman spectroscopy, formation conditions of mullite, silicate spinel, silica polymorphs, and cordierite–group minerals // Geosciences. – 2023. – Vol. 13(12). – P. 377.

2024

1. Антипин В.С., Кущ Л.В., Одгэрэл Д.О., Шептякова Н.В., Хубанов В.Б., Белозерова О.Ю. Возраст, минералогия, геохимия и рудоносность позднемезозойских редкометалльных гранитов и онгонитов в сравнении с известково–щелочным магматизмом (Монголия) // Геология и геофизика. – 2024. – Т.65. – №12. – С. 1649–1666.

2. Воронцов А.А., Кузьмин М.И., Перепелов А.Б., Шацкий В.С. О юбилейной конференции «Современные направления развития геохимии» // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65. – №3. – С. 321–324.
3. Дриль С.И., Ковач В.П., Котов А.Б., Ван К., Ларин А.М., Изука Ё., Ли Х. Гранодиориты Олёкминского комплекса Восточного Забайкалья: U–Pb LA–ICP–MS геохронология по цирконам и возрастное положение комплекса // Геодинамика и тектонофизика. – 2024. – Т. 15. – №1. – Статья 0740.
4. Ефремов С.В., Горячев Н.А., Будяк А.Е., Скузоватов С.Ю., Блинов А.В. Использование цифровых моделей геологического строения для выделения палеовулканических структур, контролирующих порфировые рудные объекты // Геодинамика и тектонофизика. – 2024. – Т. 15, №2. – С. 1–11.
5. Иванов К.С., Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Дриль С.И., Степанов А.Е. О природе Хараматолоуской структуры и соотношении Войкаро–Сыньянского и Рай–Изского ультрамафитовых массивов Полярного Урала // Геодинамика и тектонофизика. – 2024. – Т. 15. – №3. – Статья 0758.
6. Избродин И.А., Дорошевич А.Г., Малютина А.В., Семенова Д.В., Радомская Т.А., Крук М.Н., Прокопьев И.Р., Старикова А.Е., Рампилов М.О. Геохронология пород щелочного массива Бурпала (Северное Прибайкалье): новые U–Pb данные // Геодинамика и тектонофизика. – 2024. – Т. 15. – №1. – Статья 0741.
7. Ильин А.А., Шацкий В.С., Рагозин А.Л. U–Pb возраст и минеральные включения в цирконе из алмазоносной гранат–пироксеновой породы месторождения микроалмазов Кумды–Коль (Северный Казахстан) // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65. – №5. – С. 655–674.
8. Канева Е.В., Белозерова О.Ю., Радомская Т.А., Шендрик Р.Ю. Ридмерджнерит и стиллуэллит–(Се) из щелочного массива Дара–й–Пиоз: к вопросу о высокотемпературном поведении боросиликатов // Литосфера. – 2024. – Т. 24. – №2. – С. 326–340.
9. Кузнецова Л.Г., Дриль С.И., Школьник С.И. Состав, возраст и источники сноса терригенных пород южной части Сангиленского блока Центрально–Азиатского складчатого пояса // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65. – №3. – С. 353–375.
10. Левицкий В.И., Ковач В.П., Котов А.Б., Резницкий Л.З., Левицкий И.В., Загорная Н.Ю. Sm–Nd–возраст святоноситов полуострова Святой Нос (Восточное Прибайкалье) // Доклады Академии наук. Науки о Земле. – 2024. – Т. 518. – №10. – С. 34–39.

11. Мартынов Ю.А., Рашидов В.А., Дриль С.И. Калиевый щелочной вулканизм вулкана Алайд (Курильские острова): роль субдукционного меланжа в магмогенезисе // Петрология. – 2024. – Т. 32. – №6. – С. 741–758.
12. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Дмитриева А.С. Породы массива онгонитов Ары–Булак: взаимосвязи между геохимическими особенностями, минерально–фазовыми ассоциациями и процессами образования // Петрология. – 2024. – Т. 32. – №3. – С. 314–343.
13. Петрова В.В., Рашидов В.А., Перепелов А.Б., Силаев В.И., Аникин Л.П., Горькова Н.В., Михеев В.В. Рудные элементы и минералы в возгонах вулкана Алайд (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. – 2024. – Т. 18. – №2. – С. 93–116.
14. Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Хари К.Р., Чувашова И.С., Саранина Е.В. Магматические источники эволюционирующей континентальной тектоносферы Индии: генерация щелочных магматических комплексов с карбонатитами в массивах Самалпатти (Южная Индия) И Амба Донгар (Западная Индия) // Геодинамика и тектонофизика. – 2024. – Т. 15. – №5. – Статья 0783.
15. Сапегина А.В., Перчук А.Л., Шацкий В.С. Два типа симплектитов в ксенолите нижнекорового гранулита из кимберлитовой трубы Зарница (Якутия): запись Si–метасоматоза и декомпрессии // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65. – №6. – С. 769–791.
16. Симонов В.А., Котляров А.В., Котов А.А., Перепелов А.Б., Карманов Н.С., Боровиков А.А. Условия образования игнимбритов вулкана Хангар (Камчатка) // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65. – №7. – С. 965–984.
17. Скузоватов С.Ю., Таракова Ю.И. Сульфидная минерализация в орогенных эклогитах Северо–Муйского блока (северо–восточное Забайкалье): генезис и первые данные об изотопном составе серы // Науки о Земле и недропользование. – 2024. – Т. 47. – №1. – С. 35–43.
18. Смирнова Ю.Н., Куриленко А.В., Дриль С.И., Хубанов В.Б. Источники верхнепротерозойских терригенных отложений северо–западной части Аргунского массива, Центрально–Азиатский складчатый пояс: результаты U–Th–Pb геохронологических и Sm–Nd изотопно–геохимических исследований // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2024. – Т. 32. – №3. – С. 3–31.
19. Смирнова Ю.Н., Куриленко А.В., Хубанов В.Б., Дриль С.И. Источники и палеогеодинамическая обстановка накопления терригенных отложений нижнекембрийской быстринской свиты Аргунского массива // Тихоокеанская геология. – 2024. – Т. 43. – №2. – С. 40–58.

20. Третьяков А.А., Журавлев А.Н., Дегтярев К.Е., Каныгина Н.А., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Плоткина Ю.В., Скузоватов С.Ю., Федоров Б.В. Неопротерозойские вулканогенно–осадочные и плутонические комплексы северного Улутау // Геотектоника. – 2024. – №3. – С. 3–28.
21. Anenburg M., Panikorovskii T.L., Jennings E.S., Shendrik R.Yu., Antonov A.A., Gavrilenko V. An apatite-group praseodymium carbonate fluoroxybritholite: hydrothermal synthesis, crystal structure, and implications for natural and synthetic britholites // Inorganic Chemistry. – 2024. – Vol. 63(25). – P. 11788–11801.
22. Antipin V., Makrygina V., Kushch L., Sheptyakova N. The age and geochemical evolution of granite magmatism in Olkhon region from Caledonian syncollisional ore-free granite to the raremetal granite and pegmatite of Middle Paleozoic intraplate setting // China Geology. – 2024. – Vol. 7(1). – P. 63–79.
23. Danilova Y.V., Sharygin I.S., Gladkochub E.A. Nikolenko E.I., Bryansky N.V., Skuzovatov S.Yu., Gladkov A.S., Ivanov A.V., Koshkarev D.A., Letnikov F.A. Age of alkaline ultramafic explosion pipes of the Chapinskii complex (Yenisei Ridge) // Doklady Earth Sciences. – 2024. – Vol. 518(2). – P. 1590–1595.
24. Dril S.I., Ivanova A.A., Kovach V.P., Kotov A.B., Salnikova E.B., Plotkina Ju.V., Zarubina O.V. Age and Origin of the Bereya Complex Granitoids from the Kamenka Terrane of the Mongol–Okhotsk Orogenic Belt: Results of U–Pb (ID–TIMS) Geochronological and Sm–Nd Isotope–Geochemical Studies // Doklady Earth Sciences. – 2024. – Vol. 516(1). – P. 872–877.
25. Gladkochub D.P., Ivanov A.V., Donskaya T.V., Motova Z.L., Brianskiy N.V., Reshetov E.V. Erratum to: First Evidence of the Precambrian diamond source of the Siberian Platform: U–Pb LA–ICP–MS geochronological studies of detrital zircon from sedimentary rocks of the Moti Group // Doklady Earth Sciences. – 2024. – Vol. 514(1). – P. 179.
26. Glushkova V.E., Peretyazhko I.S., Savina E.A., Khromova E.A. Olivine–Group Minerals from Melilite–Nepheline Paralavas of Combustion Metamorphic Complexes of Mongolia // Geology of Ore Deposits. – 2024. – Vol. 65(8). – P. 875–885.
27. Kaneva E.V., Bogdanov A.I., Radomskaya T.A., Shendrik R.Y. Rare cyclosilicate odintsovite $K_2Na_4Ca_3Ti_2Be_4Si_{12}O_{38}$: new crystal–chemical data // Mineralogy and Petrology. – 2024. – Vol. 118(3). – P. 387–399.
28. Karimov A.A., Gornova M.A., Belyaev V.A., Skuzovatov S.Yu., Medvedev A.Ya., Bryanskiy N.V. In situ geochemical evaluation of retrograde hydration effects in the peri–Siberian forearc mantle (Khara–Nur and Alag–Khadny peridotite complexes) // Minerals. – 2024. – Vol. 14(5). – P. 457.

29. Kolotilina T.B., Mekhonoshin A.S., Shcherbakov Y.D. Neoproterozoic Lysan alkaline–ultramafic complex in the Eastern Sayan, Southern Siberia, Russia: mineralogical constraints of carbonate rocks and albitite for petrogenesis // Minerals. – 2024. – Vol.14(3). – P. 290.
30. Marfin A.E., Bizimis M., Lightfoot P.C., Yogodzinski G., Ivanov A., Brzozowski M., Latyshev A., Radomskaya T. Constraints on the source of Siberian Trap magmas from Mo isotope evidence // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2024. – Vol. 375. – P. 106–122.
31. Peretyazhko I.S., Savina E.A., Pulyaeva I.A. Miocene Petit-Spot basanitic volcanoes on Cretaceous Alba Guyot (Magellan Seamount Trail, Pacific Ocean) // Geosciences. – 2024. – Vol. 10(12). – P. 252.
32. Peretyazhko I.S., Savina E.A. Formation conditions of unusual extremely reduced High-temperature mineral assemblages in rocks of combustion metamorphic complexes // Crystals – 2024. – Vol. 14(12). – P. 1052.
33. Shatsky V.S., Wang Q., Ragozin A.L., Su W., Ilyin A.A. Connection between tectonothermal events of the Yakutian kimberlite province and assembly of the Siberian craton // Precambrian Research. – 2024. – Vol. 405. – P. 107379.
34. Skoblenko A.V., Degtyarev K.E., Travin A.V., Batanova V.G., Skuzovatov S.Yu., Kanygina N.A., Tretyakov A.A., Larionov A.N., Ryazantsev K.M. Two episodes of Early Palaeozoic high-pressure metamorphism in North Balkhash ophiolite zone (Central Kazakhstan, western Central Asian Orogenic Belt): evidence for tectonic evolution of Junggar–Balkhash Ocean // Lithos. – 2024. – Vol. 482–483. – P. 107672.
35. Skuzovatov S.Yu., Skoblenko A.V., Vezinet A., Karimov A.A., Tsujimori T. The impact of exhumation onto fluid–mobile element budget and Rb–Sr isotope heterogeneity of the subducted eclogitic crust (Alag–Khadny, SW Mongolia) // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2024. – Vol. 179. – P. 100.
36. Skuzovatov S.Yu., Wang K.–L., Li X.–H., Iizuka Y., Shatsky V.S. Zircon trace-element and isotope (U–Pb, Lu–Hf, $\delta^{18}\text{O}$) response to fluid–deficient metamorphism (North Muya, Eastern Siberia) // Geological Society London Special Publications. – 2024. – Vol. 537(1). – P. 285–311.
37. Sokol A.G., Kozmenko O.A., Kruk A.N., Skuzovatov S.Yu., Kiseleva D.V. Trace–element mobility in pelite–derived supercritical fluid–melt at subduction–zone conditions // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2024. – Vol. 179. – P. 50.
38. Tupitsyn A.A, Yasko S.V., Bychinsky V.A., Peretyazhko I.S., Glushkova V.E. Thermodynamic assessment of phase diagrams of calcite and CaO–CaCO₃ system // Materialia – 2024. – Vol. 34. – 102106.

39. Rasskazov S.V., Chuashova I., Yasnygina T.A., Saranina E.V. Late Cenozoic high and low temperature magma generation from primordial and age-modified mantle materials beneath Dariganga in Southeast Mongolia: Factors of mantle degassing and adiabatic upwelling // Geosystems and Geoenvironment. – 2024. – Vol. 3(4). – P. 100295.
40. Shendrik R., Kaneva E., Pankratova V., Pankrushina E., Radomskaya T., Gavrilenko V., Loginova P., Pankratov V. Intrinsic luminescence and radiation defects in scapolite // Chemical Physics Letters. – 2024. – Vol. 838. – P. 141081.
41. Shendrik R., Kaneva E., Pankratova V., Pankrushina E., Radomskaya T., Gavrilenko V., Loginova P., Pankratov V. Corrigendum to “Intrinsic luminescence and radiation defects in scapolite” // Chemical Physics Letters. – 2024. – Vol. 840. – P. 141141.
42. Volynets A.O., Nekrylov N., Kostitsyn Yu., Goltsman Yu., Pevzner M., Perepelov A., Lebedev V., Tolstykh M., Babansky A. Deciphering mantle source heterogeneity in space and time in the back-arc of a contemporary subduction system: A regional study of the Sredinny Range, Kamchatka // Lithos. – 2024. – Vol. 476–477. – P. 107605.
43. Vorontsov A.A., Federyagina E.N., Dril S.I., Sasim S.A., Travin A.V., Budyak A.E. The Jurassic–Cretaceous K-rich Volcanism of the Nercha Depression in Eastern Transbaikalia and Its Geodynamic Nature // Doklady Earth Sciences. – 2024. – Vol. 516(2). – P. 1015–1022.

2025

1. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В., Дриль С.И., Саватенков В.М., Лыхин Д.А., Федерягина Е.Н., Сасим С.А. Геохимические и изотопные (Sr, Nd, Pb, O) типы источников меловых магм Удинского сектора Западно–Забайкальской рифтовой области // Геохимия. – 2025. – Т. 70. – № 11. – С. 877–902.
2. Дорошевич А.Г., Саватенков В.М., Малютина А.В., Избродина И.А., Прокопьев И.Р., Старикова А.Е., Радомская Т.А. Петрогенезис и источники вещества пород щелочного редкометального массива Бурпала, Северное Прибайкалье // Петрология. – 2025. – Т. 33. – № 1. – С. 45–67.
3. Жгилев А. П., Перепелов А. Б., Цыпукова С. С., Каримов А.А. Мегакристаллы пироксенов и гранатов в магматической системе и мантии Тэсийнгольского вулканического ареала Северной Монголии // Геодинамика и тектонофизика. – 2025. – Т. 16. – № 3. – С. 828.
4. Иванова А.А., Сальникова Е.Б., Кузнецова Л.Г., Макагон В.М., член-корреспондент Котов А.Б., Плоткина Ю.В., Левицкий И.В. Возраст редкометальных

пегматитов Александровского рудного поля Восточно–Саянского пегматитового пояса. // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. – 2025. – Т. 523. – №2. – С. 241–251.

5. Канева Е. В., Радомская Т. А., Докучиц Э. Ю., Шендрек Р. Ю. Франкаменин в чароитовых породах Мурунского массива: сравнительная характеристика зеленой и сиренево–серой разновидности // Литосфера. – 2025. – Т. 25. – № 2. – С. 238–250.

6. Кравцова Р.Г., Макшаков А.С., Таусон В.Л., Брянский Н.В., Липко С.В. «Невидимое» золото на природной поверхности арсенопирита золоторудного месторождения Наталкинское (Северо–Восток России) по данным ЛА–ИСП–МС // Геология и геофизика. – 2025. – Т. 66. – № 10. – С. 1264–1278.

7. Малютина А.В., Дорошкевич А.Г., Старикова А.Е., Избродин И.А., Прокопьев И.Р., Радомская Т.А., Крук М.Н. Особенности состава темноцветных пордообразующих минералов в породах щелочного массива Бурпала (северное прибайкалье) // Геология и геофизика. – 2025. – Т. 66. – № 3. – С. 326–344.

8. Нарыжнова А.В., Крук Н.Н., Смирнов С.З., Котлер П.Д., Куликова А.В., Бортников Н.С., Антипин В.С., Мороз Е.Н., Волосов А.С., Борисенко А.С. Раннемеловые гранитоиды Соктуйского массива (восточное Забайкалье): особенности состава и петрогенезиса // Геология и геофизика. – 2025. – Т. 66. – № 5. – С. 589–614.

9. Пономарчук А.В., Дорошкевич А.Г., Избродин И.А., Малютина А.В., Радомская Т.А. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование пород щелочного массива Бурпала – ключ к пониманию длительности его становления // Геодинамика и тектонофизика. – 2025. – Т. 16. – №5. – Статья 0849.

10. Потапов С.В., Шарыгин И.С., Медведев В.Я., Иванова Л.А., Ращенко С.В., Щербаков Ю.Д. Синтез джерфишерита $\text{K}_6\text{Fe}_{24.5}\text{S}_{26}\text{Cl}$ методом изобарно–изотермической выдержки при $T = 500^\circ\text{C}$ и $P = 500$ атм // Литосфера. – 2025. – Т. 25. – №2. – С. 344–354.

11. Рассказов С.В., Ясныгина, Чувашова И.С., Саранина Е.В. Контрастная эволюция тектоносферы Индии и Северной Азии: Pb–изотопные датировки глубинных источников щелочных магматических комплексов с карбонатитами и Ba–Sr отношения пород // Геология и окружающая среда. – 2025. – Т. 5. – № 3. – С. 94–125.

12. Смирнов Ю.В., Смирнова Ю.Н., Дриль С.И. Пермские терригенные отложения Нора–Сухотинского террейна: источники кластического материала и тектонические условия накопления // Тихоокеанская геология. – 2025. – Т. 44. – № 5. – С. 29–49.

13. Федоров А.М., Юргенсон Г.А., Непомнящих А.И., Жабоедов А.П., Зимин М.Д., Куликова З.И., Макрыгина В.А., Чачанагова О.И., Аюрганаева Д.Ц. Геохимия,

минералогия и источники вещества кварцевых жил и кварцитов Южной части хребта Борщовочный (Забайкалье) // Геология и геофизика. – 2025. – Т. 66. – № 8. – С. 1006–1021.

14. Чайка И.Ф., Изох А.Э., Сотникова И.А., Алымова Н.В., Колотилина Т.Б., Каримов А.А., Щербаков В.Д, Лобастов Б.М. Петрология лампроитовой и гранит–сиенитовой серий Билибинского (Ломамского) массива (Алдано–Становой щит) // Геология и геофизика. – 2025. – Т. 66. – № 4. – С. 463–489.

15. Шацкий В.С., Рагозин А.Л., Куприянов И.Н., Калинина В.В. Свидетельства экстремальных вариаций фугитивности кислорода при процессах образования алмазов в зоне субдукции // Геология и геофизика. – 2025. – Т. 66. – №1. – С. 4–22.

16. Belozerova O.Yu., Antipin V.S., Kushch L.V., Odgerel D. Investigation of rare–metal granites, pegmatites, and metasomatites minerals of Mongolia by scanning electron microscopy and x–ray electron probe microanalysis methods // X–Ray Spectrometry. – 2025. – Vol. 54(2). – P. 66–75.

17. Chen K., Chen Y.–X., Yu H.–M., Schertl H.–P., Tsujimori T., Skuzovatov S. Heavy Si isotope compositions of subduction zone fluids controlled by fluid–rock interaction and fluid evolution // Geoscience Frontiers. – 2025. – Vol. 16(4). – P. 102071.

18. Kostrovitsky S.I., Yakovlev D.A., Fosu B.R., Dril S.I., Garanin K.V. A geological, geochemical and isotopic study of primary diamond deposits in the Siberian craton // Mineralogy and Petrology. – 2025. – Vol. 119(1). – P. 21–47.

19. Li X.–L., Xu J.–L., Chen Y.–X., Barnes J.D., Skuzovatov S., Tsujimori T. Iron isotope evidence for the metasomatism of continental crust by serpentinite–derived reduced fluid in the subduction zone // Lithos. – 2025. – Vol. 518–519. – P. 108299.

20. Marfin A., Brzozowski M.J., Lightfoot P., Ding X., Bizimis M., Rader S.T., Karnes M., Brovchenko V., Radomskaya T., Ivanov A., Belozerova O. The role of metasomatized lithospheric mantle in generating the Norilsk 1 Ni–Cu–platinum–group element sulfide deposit: Cu isotope evidence // Chemical Geology. – 2025. – Vol. 695. – P. 123034.

21. Peretyazhko I.S., Savina E.A., Pulyaeva I.A. Cobalt–rich Fe–Mn crusts in the Western Pacific Magellan seamount trail: geochemistry and chronostratigraphy // Geosciences. – 2025. – Vol. 15(11). – P. 411.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ НА РОССИЙСКИХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ
СОВЕЩАНИЯХ В 2025 г.

1. Акулова Ю.В., Кузнецова Л.Г., Белозерова О.Ю. Особенности состава колумбитов из сподумен–амазонитовых пегматитов Сангиленского нагорья // Материалы XI Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле. – (г. Новосибирск, 23–29 сент. 2024 г.). – Новосибирск. – ИГМ СО РАН. – ИНГТ СО РАН. – 2025. – С. 3–5.
2. Акулова Ю.В., Кузнецова Л.Г., Белозерова О.Ю. Отражение эволюции редкometальных пегматитов Южно–Сангиленского пегматитового пояса (республика Тыва) в смене парагенезисов акцессорных минералов // Современные проблемы геохимии: Сборник материалов всероссийская конференция молодых ученых. – г. Иркутск. – (15 – 20 сентября 2025 г.). – Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. – 2025. – С. 15–17.
3. Антипин В.С., Кущ Л.В., Перепелов А.Б., Одгэрэл Д., Белозерова О.Ю. Мезозойские редкometальные граниты, пегматиты и грейзены Монголии: возраст, минералогия, геохимия и рудоносность // В сборнике: Граниты и эволюция Земли: геодинамические обстановки, происхождение и рудный потенциал гранитоидного магматизма. Материалы IV геологической конференции (с участием зарубежных ученых). Иркутск, 2025. С. 13–17.
4. Гавриленко В.В., Радомская Т.А., Марфин А.Е., Шахмурадян А.Р., Регир Е.П., Власюк И.О. Щелочные пегматиты массива Инагли (Алданский щит). Современные проблемы геохимии – 2025: Материалы Всероссийской конференции молодых ученых (Иркутск, 15 – 20 сентября 2025 г.) – Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 2025. – С. 32–34. – устный доклад,
5. Глушкова В.Е., Перетяжко И.С., Савина Е.А., Хромова Е.А., Чуешова А.Г. Mn–Fe ортопироксены в клинкерах Нилгинского пирометаморфического комплекса Монголии // Современные проблемы геохимии – 2025: Материалы Всероссийской конференции молодых ученых (Иркутск, 15 – 20 сентября 2025 г.) – Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 2025. – С. 35–37.
6. Иванова А.А., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Кузнецова Л.Г., Плоткина Ю.В., Левицкий И.В. Возрастные рубежи формирования гранитов и редкometальных пегматитов Восточно–Саянского пояса // Соотношение времени образования магматических формаций и рудных месторождений в металлогенических провинциях

Евразии: Материалы IX Российской конференции по изотопной геохронологии. – г. Москва. (3–5 июня 2025 г.). М. ИГЕМ РАН. – 2025. – С.71–74.

7. Кузнецова Л.Г., Белозерова О.Ю. Особенности распределения и состава акцессорных фосфатов в сподуменовых пегматитах Южной Тузы как индикаторы условий их петрогенезиса // Граниты и эволюция земли. Геодинамические обстановки, происхождение и рудный потенциал гранитоидного магматизма: Материалы 4-й геологической конференции (с международным участием), посвященной 300-летию Российской академии наук: г. Иркутск (2–7 июня 2025). – Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. – 2025. – С. 58–60.

8. Левицкий В.И., Резницкий Л.З., Левицкий И.В. Петрогохимические характеристики гранитоидов архея-фанерозоя юга Восточной Сибири // В сборнике: Граниты и эволюция Земли: геодинамические обстановки, происхождение и рудный потенциал гранитоидного магматизма. Материалы IV геологической конференции (с участием зарубежных ученых). Иркутск, 2025. С. 61–65.

9. Левицкий В.И., Левицкий И.В. Самородные, интерметаллические, прочие минеральные виды, аморфные фазы в породах Бобруйского выступа Белорусского массива Восточно-Европейского кратона // Геология морей и океанов. Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии Москва, – 13–17 ноября 2023 г. М.: Институт океанологии им. ПП. Ширшова РАН. Том IV. – 2023. – С.211–216.

10. Левицкий И.В., Левицкий В.И. Турмалиновые граниты и пегматиты в шарыжалгайском комплексе Юго-Западного Прибайкалья Сибири // В сборнике: Граниты и эволюция Земли: геодинамические обстановки, происхождение и рудный потенциал гранитоидного магматизма. Материалы IV геологической конференции (с участием зарубежных ученых). Иркутск, 2025. С. 65–68.

11. Макрыгина В.А., Дриль С.И., Сальникова Е.Б., Суханова М.А. Эволюция гранитоидного магматизма в Чуйском выступе фундамента Сибирской платформы от архея до палеозоя // В сборнике: Граниты и эволюция Земли: геодинамические обстановки, происхождение и рудный потенциал гранитоидного магматизма. Материалы IV геологической конференции (с участием зарубежных ученых). Иркутск, 2025. С. 76–79.

12. Михайленко Д.С., Губанов Н.В., Подугольникова Е.Е., Серебрянников А.О., Скузоватов С.Ю. Минералого-геохимическая характеристика алланита из ксенолита эклогита, кимберлитовая трубка «Загадочная». XIV Всероссийская школа молодых ученых «Экспериментальная минералогия, петрология и геохимия»: Сборник материалов, ИЭМ РАН, Черноголовка, 2025 г., 99 с. С. 66–68.

13. Перепелов А.Б., Цыпукова С.С., Щербаков Ю.Д., Иванов А.В., Корытов А.С. Биту–Джидинская многофазная интрузия Li–F гранитов – история и результаты исследований // В сборнике: Граниты и эволюция Земли: геодинамические обстановки, происхождение и рудный потенциал гранитоидного магматизма. Материалы IV геологической конференции (с участием зарубежных ученых). Иркутск, 2025. С. 96–99.
14. Перепелов А.Б., Цыпукова С.С., Щербаков Ю.Д., Жгилев А.П., Корытов А.С. Актуальные вопросы в изучении позднекайнозойского вулканализма северной Монголии // В сборнике: Геодинамическая эволюция литосферы Центрально–Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы научной конференции. Иркутск, 2025. С. 201–202.
15. Перепелов А.Б., Цыпукова С.С., Щербаков Ю.Д., Жгилев А.П. Позднекайнозойский вулканализм Северной Монголии – типизация и минералого–геохимические особенности пород, источники и условия образования щелочно–базальтовых магм во внутренконтинентальной геодинамической обстановке // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. VII Всероссийская конференция с международным участием, 15–18 сентября 2025, Владивосток. – С. 27–30.
16. Перетяжко И.С., Савина Е.А. Геохимия гидрогенных кобальтобогатых Fe–Mn корок Магеллановых гор, Тихий океан // Геология морей и океанов: Материалы XXVI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, 17 – 21 ноября, Москва. – Т. I. – М.: ИО РАН, 2025. – С. 291–295.
17. Перетяжко И.С., Савина Е.А. Фрагменты мантийных пород метасоматизированной океанической литосферы в базальтах гайота Говорова // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. VII Всероссийская конференция с международным участием, 15–18 сентября 2025, Владивосток. – С. 151–154.
18. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Пуляева И.А. Этапы формирования и геохимические характеристики кобальтоносных железомарганцевых корок гайотов Магеллановых гор в Тихом океане // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально–Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Вып. 23. 14–18 октября 2025, ИЗК СО РАН, г. Иркутск. – С. 203–205.
19. Савина Е.А., Перетяжко И.С., Пуляева И.А. Кобальтоносные Fe–Mn корки на миоценовых породах “petit-spot” вулканов гайота Альба: особенности состава, строения и биостратиграфии известкового нанопланктона // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. VII Всероссийская

конференция с международным участием, 15–18 сентября 2025, Владивосток. – С. 345–349.

20. Скузоватов С.Ю., Таракова Ю.И., Реутский В.Н., Веливецкая Т.А., Шацкий В.С. Изотопная неоднородность серы эклогитов и масштабы флюидного массопереноса в корневых зонах субдукционно–коллизионных орогенов (Северо–Муйский блок, северо–восточное Забайкалье) // XIV Всероссийское петрографическое совещание «Петрология и геодинамика геологических процессов: роль в изучении недр и геологическом картографировании», г. Санкт–Петербург, 30 сентября – 3 октября 2025 г. – устный доклад.

21. Скузоватов С.Ю., Таракова Ю.И., Реутский В.Н., Веливецкая Т.А., Шацкий В.С. Изотопная неоднородность серы эклогитов как индикатор флюидного метасоматоза в корневых зонах субдукционно–коллизионных орогенов (Северо–Муйский блок, восточное Забайкалье) // Процессы минералообразования при высоких давлениях, происхождение алмаза и мантийных магм, г. Новосибирск, 17–19 июня 2025 г. – устный доклад.

22. Скузоватов С.Ю., Чен Х., Скобленко А.В., Везине А. Мультиминеральная геохронология высокобарических пород: к вопросу о продолжительности субдукционных и аккреционно–коллизионных событий в западной Монголии // Соотношение времени образования магматических формаций и рудных месторождений металлогенических провинций Евразии. IX Российская конференция по изотопной геохронологии. Москва, 3–5 июня 2025 г. Материалы конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2025. – 247 с. С. 188–190.

23. Сукнёва М.О., Донская Т.В. Трондьемиты Усть–Кутской скважины (Непско–Ботуобинская антеклиза, юг Сибирского кратона) // В сборнике: Граниты и эволюция Земли: геодинамические обстановки, происхождение и рудный потенциал гранитоидного магматизма. Материалы IV геологической конференции (с участием зарубежных ученых). Иркутск, 2025. С. 122–125.

24. Сукнёва М.О., Радомская Т.А., Гавриленко В.В., Чуешова А.Г. Особенности состава и морфологии минералов группы пирохлора и ферроколумбита в рудах Большетагнинского месторождения (Восточный Саян) // В сборнике: Минералогия и музеи: синергия науки и искусства – 2025. Сборник материалов научного семинара. Иркутск, 2025. С. 51–57.

25. Сукнёва М.О., Радомская Т.А., Гавриленко В.В. Оптико–микроскопическая характеристика минералов группы пирохлора в рудах Большетагнинского массива (Восточный Саян) // Материалы Всероссийской конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии – 2025». Иркутск, 2025. С. 131–133.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЙ
ИССЛЕДОВАНИЙ В 2021–2025 гг.

Количество статей, опубликованных по тематике проекта в течение 2020 г. в соответствии с государственным заданием. индикатор	Ед. измерения	Всего за 2017–2020 гг.	2021	2022	2023	2024	2025
Количество публикаций в ведущих российских и международных журналах по результатам исследований, полученных в процессе реализации проекта	единиц	108	16	12	16	43	21
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science)	единиц	108	16	12	16	43	21
Число тезисов в конференциях	единиц	89	25	17	11	16	25
Число охраняемых объектов интеллектуальной собственности: зарегистрированных патентов в России зарегистрированных патентов за рубежом	единиц	0	0	0	0	0	0
Защиты диссертаций на соискание степени кандидата наук	единиц	3	0	0	0	2	1