

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИГХ СО РАН)

УДК 550.4

№ госрегистрации АААА-А17-  
117041910030-7

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН

д.г.-м.н. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ А.Б. Перепелов

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Геохимия, петрология и роль процессов мантийно-корового взаимодействия в формировании разновозрастных магматических и метаморфических комплексов складчатого обрамления и выступов фундамента Сибирского кратона

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

Шифр темы: 0350-2017-0029

Руководитель темы, главный научн. сотр., \_\_\_\_\_ В.С. Антипин  
доктор геолого-минералогических наук (подпись, дата)

Иркутск 2019

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, главный научн.  
сотр.,  
доктор геолого-минералогических  
наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.С. Антипин  
(введение, заключение)

Ответственные исполнители темы:

Ведущий научн. сотр., доктор геолого-  
минералогических наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.И. Левицкий  
(раздел 1)

Главный научн. сотр., доктор геолого-  
минералогических наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.А. Макрыгина  
(раздел 1,1)

Главный научн. сотр., доктор геолого-  
минералогических наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.С. Антипин,  
(раздел 2)

Старший научн. сотр., кандидат  
геолого-минералогических наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Л.Г. Кузнецова  
(раздел 2,1)

Директор ИГХ СО РАН, доктор  
геолого-минералогических наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.Б. Перепелов  
(раздел 3)

Ведущий научн. сотр., доктор геолого-  
минералогических наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

И.С. Перетяжко  
(раздел 3,1)

Старший научн. сотр., доктор геолого-  
минералогических наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.В.Ефремов  
(раздел 3,2)

## РЕФЕРАТ

Отчет - 34 с., 8 - рис., список источников – 20.

Ключевые слова: МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ И МАГМАТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ, СИБИРСКИЙ КРАТОН, ИЗВЕСТКОВО-ЩЕЛОЧНЫЕ И ЩЕЛОЧНЫЕ ПОРОДЫ, СИНКОЛЛИЗИОННЫЕ И ВНУТРИПЛИТНЫЕ ГРАНИТЫ, ГЕОХИМИЯ, ПЕТРОГЕНЕЗИС, МАНТИЯ, ЗЕМНАЯ КОРА.

Проведены комплексные исследования разновозрастных магматических и метаморфических комплексов в пределах Сибирского кратона и его складчатого обрамления с целью установления их геодинамического положения, геологических и физико-химических условий петрогенезиса и оценки потенциальной рудоносности пород. На примере докембрийских метаморфических комплексов Сибирского кратона и подвижных поясов получены минералого-геохимические характеристики основных метамагматических пород и предложены модели формирования разновозрастных метавулканитов на завершающих этапах становления кратона (от палеоархея до неопротерозоя). Определены геохимические особенности сиенитов Будунского и Тажеранского массивов в Прибайкалье. Показано, что тесная пространственная сопряженность щелочных проявлений и пород основного состава, а также близость времени их формирования с синколлизионными гранитами шаранурского комплекса свидетельствуют о генетической связи изученных раннепалеозойских комплексов пород.

Среди автохтонных и аллохтонных коллизионных гранитоидов Прибайкалья выделены различные геохимические типы пород и установлен ряд индикаторных особенностей гранитоидов, сформированных в обстановке континентальной коллизии. Хайдайский гранитоидный комплекс Ольхонского региона Прибайкалья - типичный островодужный комплекс с широким спектром дифференциатов. В среднем и позднем палеозое в Прибайкалье коллизионный режим начал сменяться внутриплитным, который широко проявлен в Забайкалье и Монголии. Выявлено, что сподуменовые пегматиты Южно-Сангиленского пояса (494-483 млн. лет), к которому принадлежит крупное месторождение лития Тастыг, и граниты кыстарысского комплекса (489-488 млн лет) имеют близкий возраст и образовались на завершающем этапе раннепалеозойского коллизионного орогенеза. Редкометальные пегматиты Центрально-Сангиленского пегматитового пояса сформировались в пермское время (292-272 млн лет) в анорогенной обстановке с большим отрывом по времени от как коллизионных комплексов (492 и 471 млн лет), так и пород щелочного состава (378 и 180 млн лет) в структурах Сангилена.

В составе позднепалеозой-раннемезозойской Северо-Монгольской рифтовой зоны обнаружен и исследован крупный Цагаан-уульский пантеллеритовый дайковый пояс.

Минералого-геохимические особенности уставновленных в строении пояса пантеллеритов и пантеллеритовых трахитов указывают на специфические условия образования и кристаллизации проявленных здесь щелочно-салических магм. Отсутствие здесь проявлений щелочно-базитовых магм объясняется их длительной дифференциацией в глубокозалегающих магматических очагах с последовательным формированием и внедрением вначале расплавов пантеллеритовых трахитов, а затем и пантеллеритов на постколлизиионном этапе геодинамического развития территории. Определены минералого-геохимические характеристики, особенности кристаллизации и условия формирования клинкеров и паралав Нилгинского пирометаморфического комплекса в Центральной Монголии. Выполнен анализ изотопно-геохимических характеристик и возраста производных слэбовых магм в Усть-Карском районе Восточного Забайкалья. Гранитоиды с ассоциирующей золотой минерализацией имеют раннеюрский изотопный возраст, а их образование может быть связано с процессом субдукции, протекавшем в ранней юре на южной границе Сибирского континента. Другая группа гранитоидов контролирует промышленную золотую минерализацию, имеет позднеюрский возраст и связана с коллизией Сибирского и Северо-Китайского континентов.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
<b>Раздел 1.</b> Сравнительный анализ возрастных, вещественных характеристик пород, минерагенической специализации докембрийских гранулитовых (шарыжалгайский, китойский), зеленокаменных (Онотский и Булунский), фанерозойских (слюдянский, ольхонский, барбитайский) комплексов.....	8
<b>Раздел 1.1.</b> Роль процессов метаморфизма, метасоматоза и взаимодействия контрастных по составу магм при эволюции щелочного магматизма при смене этапов тектогенеза в Ольхонском регионе Прибайкалья. ....	9
<b>Раздел 2.</b> Индикаторные изотопно-геохимические особенности разновозрастных гранитоидов Центральной Азии, образующихся в условиях различных геодинамических обстановок, и роль процессов мантийно-корового взаимодействия.....	12
<b>Раздел 2.1.</b> Геохимические особенности и условия формирования редкометалльных гранитно-пегматитовых систем в постколлизийных геодинамических обстановках (на примере Сольбельдерского пегматитового поля Центрального Сангилен). ....	14
<b>Раздел 3.</b> Процессы смешения, контаминации и дифференциации магм в происхождении андезитов и дацитов в результате взаимодействия и эволюции базальтоидных и кислых расплавов на примере вулканических центров Камчатки. В составе позднепалеозой-раннемезозойской Северо-Монгольской рифтовой зоны исследован новый крупный Цагаан-уульский пантеллеритовый дайковый пояс. ....	17
<b>Раздел 3.1.</b> Минералого-геохимические, изотопные характеристики и особенности кристаллизации пирогенных пород (клинкеров, паралав) в Центральной Монголии. ....	19
<b>Раздел 3.2.</b> Новые данные по возрасту, изотопии и геохимии магматических пород с адакитовыми характеристиками Восточного Саяна и Восточного Забайкалья, их геохимическая типизация и сравнение с классическими типами адакитов, их геодинамическая позиция. ....	21
Заключение.....	24
Список использованных источников в отчете НИР. ....	27
Приложение А. Список основных публикаций по результатам проекта 2018 г....	23
Приложение Б. Список опубликованных тезисов и докладов на конференциях...	31

## ВВЕДЕНИЕ

При выполнении геолого-петрологических и изотопно-геохимических исследований по проекту основное внимание было уделено анализу условий и источников формирования разновозрастных магматических, метасоматических и метаморфических пород и расшифровке процессов мантийно-корового взаимодействия на примере комплексов складчатого обрамления и выступов фундамента Сибирского кратона. При проведении исследований установлены минералого-геохимические характеристики основных метамагматических пород в докембрийских метаморфических комплексах Сибирского кратона и подвижных поясов его обрамления. Предложены модели формирования разновозрастных метавулканитов на завершающих этапах становления кратона (от палеоархея до неопротерозоя) и определена их рудная специализация. Показано, что тесная пространственная сопряженность щелочных проявлений и пород основного состава, а также близость времени их формирования с синколлизийными гранитами шаранурского комплекса свидетельствуют о генетической связи изученных комплексов пород. Среди раннепалеозойских гранитоидов Прибайкалья, представленных автохтонными и аллохтонными фациями, выделены различные геохимические типы пород. В результате сравнения магматизма различных провинций выявился ряд индикаторных особенностей гранитоидов, сформированных в обстановке континентальной коллизии. По геохимическим данным Хайдайский гранитоидный комплекс Ольхонского региона является типичным островодужным. В среднем и позднем палеозое в Прибайкалье коллизийный режим сменяется внутриплитным, который проявлен в Забайкалье и Монголии. Изучены сподуменовые пегматиты Южно-Сангиленского пояса (494-483 млн. лет). В 2018 году продолжены минералого-геохимические и изотопно-геохронологические исследования магматизма Центральной и Северной Монголии. В составе позднепалеозой-раннемезозойской Северо-Монгольской рифтовой зоны обнаружен и исследован крупный Цагаан-уульский пантеллеритовый дайковый пояс. Минералого-геохимические особенности установленных в строении пояса пантеллеритов и пантеллеритовых трахитов указывают на специфические условия образования и кристаллизации проявленных здесь щелочно-салических магм на постколлизийном этапе геодинамического развития территории. Определены минералого-геохимические характеристики и условия формирования клинкеров и паралав Нилгинского пирометаморфического комплекса в Центральной Монголии. Выполнен анализ изотопно-геохимических характеристик и возраста производных слэбовых магм в Усть-Карском районе Забайкалья. На базе полученных результатов, была создана

методика оценки состава источника магм с возможностью разделения производных магм ТТГА и адакитов на «слэбовые» и «коровые».

# 1. Сравнительный анализ возрастных, вещественных характеристик пород, минерагенической специализации докембрийских гранулитовых (шарыжалгайский, китойский), зеленокаменных (Онотский и Булунский), фанерозойских (слюдянский, ольхонский, барбитайский) комплексов

Установлены вещественные (минералогические, петрологические, геохимические) характеристики основных метаматматических пород в докембрийских метаморфических комплексах Сибирского кратона и подвижных поясах его обрамления. Разработаны критерии различий разновозрастных метавулканитов и предложены модели их формирования на завершающих этапах становления кратонов, рудной специфики, метаморфизма, преобразований (метасоматоза и гранитообразования) от палеоархея до неопротерозоя, отраженные на диаграмме  $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (рисунок 1).

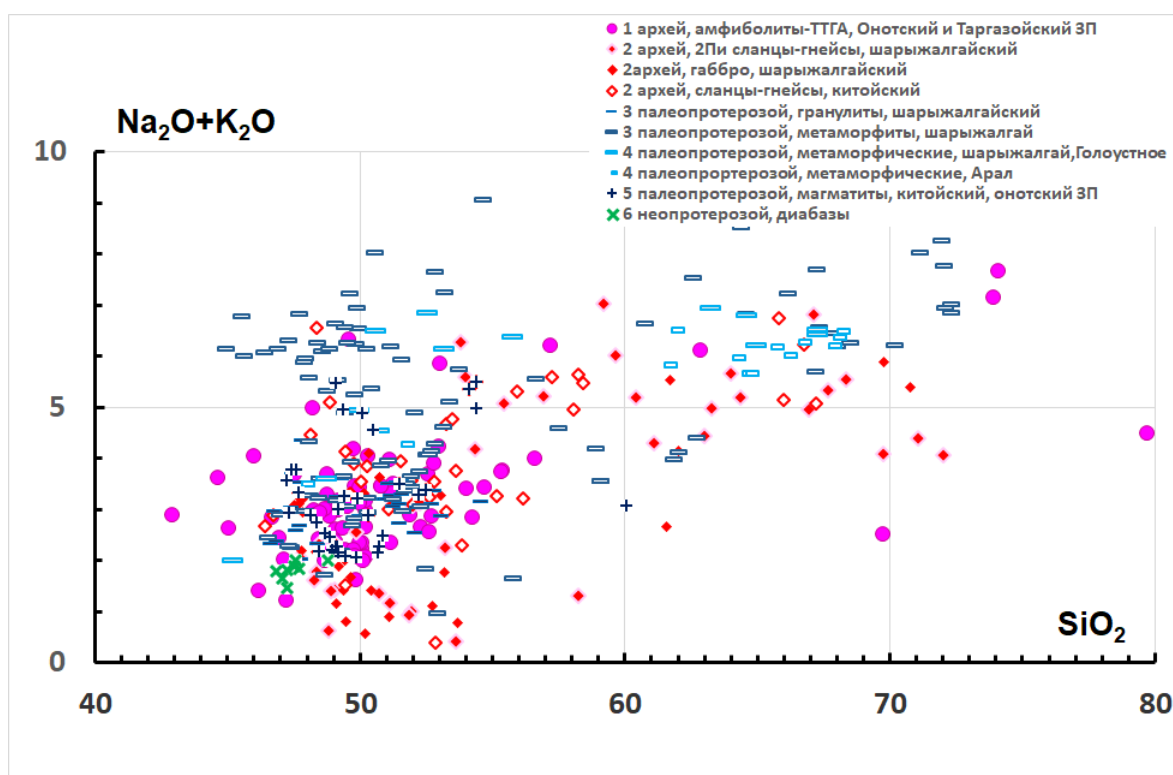


Рисунок 1 - Состав пород метаморфических комплексов на диаграмме  $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (мас. %).

Продолжено изучение изотопов  $\text{S}^{33}$  в метаморфических комплексах Сибирского кратона (китойский, шарыжалгайский - гранулитовые, Онотский зеленокаменный пояс) и складчатом его обрамлении (слюдянский, ольхонский, барбитайский). В комплексах Сибирского кратона определены положительные и отрицательные аномалии  $\text{S}^{33}$ , появление которых возможно только в условиях бескислородной атмосферы в докембрийских протолитах с возрастaми не моложе 2,5 млрд. лет. Для пород сибирских метаморфических комплексов установлено сохранение характеристик изотопов  $\text{S}^{33}$  в древнейших архейских протолитах даже при изохимическом гранулитовом



метаморфизме. Определено, что при аллохимических преобразованиях (метасоматоз, мигматизация, гранитизация) возрастает доля изотопа  $S^{34}$  с уничтожением («разбавлением») древних архейских меток.

В Восточном Присяянье в породах китойского комплекса обнаружены неметаморфизованные магматиты (с офитовой, монцонитовой и долеритовой структурами) высококалийевой известково-щелочной серии. Изученные разновидности пород попадают в разные поля - высоко-калийевой известково-щелочной, шошонитовой и умеренно - К известково-щелочной серий (рисунок 1). По содержаниям большинства петрогенных и редких (Ba, Sr, LREE, Zr, несовместимых элементов) их можно отнести к лампроитам. Но для пород этой серии характерны более низкие содержания элементов группы железа, особенно Cr. Их возраст по данным U-Pb метода по цирконам (Швеция) составляет 1864,7-1864,9 млн. лет. В шарыжалгайском комплексе Прибайкалья породы такого же возраста и состава метаморфизованы в условиях гранулитовой фации. Полученные данные свидетельствуют о близких временных условиях проявления основного магматизма в шарыжалгайском и китойском комплексах.

Проведен сравнительный вещественный анализ основных метавулканических и метаинтрузивных пород в Сибирском кратоне и Фенноскандинавском щите. В обеих структурах присутствуют метамагматиты высококалийевой известково-щелочной и шошонит-латитовой серий с близкими петрогеохимическими характеристиками и палеопротерозойскими возрастами становления – 1,8-1,9 млрд. лет.

### **1.1. Роль процессов метаморфизма, метасоматоза и взаимодействия контрастных по составу магм при эволюции щелочного магматизма при смене этапов тектогенеза в Ольхонском регионе Прибайкалья**

Ранее было установлено, что практически все массивы основных пород Приольхонья сопровождаются проявлениями щелочных метасоматитов: нефелинизация у контактов Бугульдейского и Бирхинского массивов [1], сиениты и нефелиновые сиениты Тажерана с перовскитовыми и другими щелочными метасоматитами в экзоконтактах массивов [2]. Опубликованы только минералогические данные и силикатные анализы пород. Геохимия метасоматитов, как и сиенитов Будунского массива, изучена недостаточно. Данные о редкоэлементном составе щелочных сиенитов Тажеранского массива впервые были представлены в статье Е.В.Склярова с соавторами [3].

Комплексный анализ полученных геохимических данных по сиенитам Будунского и Тажеранского массивов, тесной пространственной сопряженности щелочных проявлений и основных пород, близости их возрастов с синколлизонными гранитами

шаранурского комплекса свидетельствует о генетической связи процессов их образования [4].

По результатам новых геохимических исследований, выполненных в 2018 году, наиболее вероятным сценарием образования щелочных пород Ольхонского региона и Будунского массива в частности представляется следующим. Частичное выплавление гранитов из гнейсов проявляется на поздней коллизионной стадии (500-490 млн.лет) с последующим подъемом вместе с южным крылом сдвиговой системы (480-475 млн. лет). В присутствии амфиболитов и карбонатов наблюдается подщелачивание выплавок с образованием граносиенитов на юге о.Ольхон; их небольшие перемещенные массивы располагаются цепочкой от Южного гранитоидного массива до пади Ташкиней. Одновременно на пике сдвигового тектогенеза произошло «выдавливание» расслоенных магм основного состава с более глубоких горизонтов с образованием цепочки массивов габбро (530-485 млн лет) [5]. Это сопровождалось перемешиванием основных и кислых магм в приповерхностных условиях (сложные дайки со структурами минглинг) и формированием зон нефелинизации у контактов основных массивов. Глубже происходит более длительное взаимодействие с подщелачиванием кислых расплавов вплоть до формирования интрузивных щелочных и нефелиновых сиенитов. По сравнению с щелочными сиенитами мантийного генезиса их аналоги в Прибайкалье обеднены редкими элементами в условиях преобладания основных и карбонатных вмещающих серий пород (Тажеранский массив) и обогащены Zr, Nb, отчасти REE (Будунский массив) (рисунок 2). На диаграмме это видно при анализе распределения редких элементов, и в этом случае во взаимодействии двух источников при формировании щелочных сиенитов явно преобладает коровый, хотя катализатором выступают основные породы. Реальность таких процессов подтверждается экспериментами [6] о перераспределении элементов при взаимодействии кислых и основных расплавов с обогащением кислых расплавов  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а основных -  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{SiO}_2$ . Действительно, секущие тажеранские сиениты дайки субщелочных габбро обогащены калием, но резко обеднены натрием, тогда как габбро 1-ой фазы Тажеранского массива имеют нормальную щелочность.

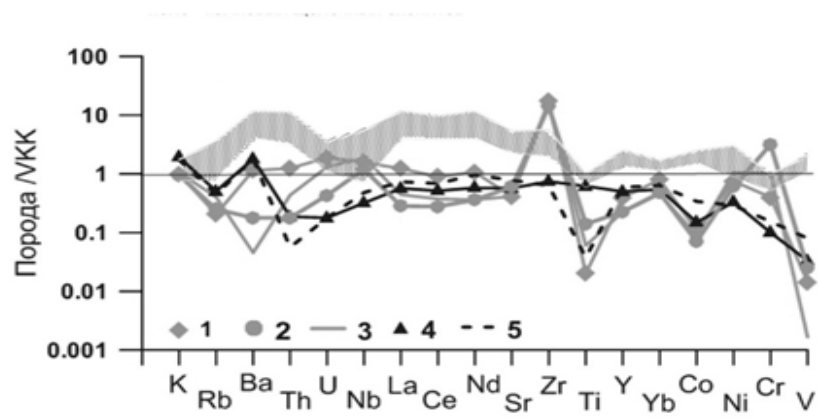


Рисунок 2 - Редкоэлементный состав будунских (1, 2) и тажеранских (3-5) щелочных сиенитов и поле составов мантийных щелочных сиенитов, нормированных на верхнюю континентальную кору [7].

## **2. Индикаторные изотопно-геохимические особенности разновозрастных гранитоидов Центральной Азии, образующихся в условиях различных геодинамических обстановок, и роль процессов мантийно-корового взаимодействия**

Геологическое и петролого-геохимическое изучение гранитоидов шаранурского комплекса Прибайкалья показало, что по возрасту, составу и геохимическим особенностям они относятся к раннепалеозойским синколлизийным образованиям S-типа. Это коровые породы, источником расплавов которых являются гнейсы и сланцы ольхонской метаморфической толщи, о чем свидетельствует унаследованность макро- и микросоставов гранитоидов от вмещающих их пород. Среди коллизийных гранитоидов, представленных автохтонными и аллохтонными фациями, выделены различные геохимические типы пород, которые включают образования нормальной Na-щелочности (мигматиты и плагиограниты), известково-щелочные и субщелочные (K-Na гранитоиды, граносиениты и кварцевые сиениты). В результате сравнительной характеристики магматизма различных провинций выявился ряд индикаторных особенностей гранитоидов, сформированных в обстановке континентальной коллизии. Эти породы являются пералюминиевыми и высококалиевыми, имеют высокие концентрации фосфора, но низкие –  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{FeO}$ . В отношении редкоэлементного состава они обогащены коровыми элементами – Rb, Pb, Th и K, но иногда имеют низкие концентрации летучих элементов – B и F, что является провинциальной геохимической особенностью Ольхонского региона Прибайкалья. Установлено, что главная разновидность K-Na гранитоидов известково-щелочного ряда (шаранурский комплекс) по геохимическим характеристикам наиболее соответствуют коллизийным гранитоидам Гималаев.

Согласно изотопно-геохимическим исследованиям, раннепалеозойские гранитоиды Прибайкалья характеризуются отрицательными величинами  $\epsilon\text{Nd}$  (от -3 до -12), а также  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,7045-0,7075$  (шаранурский комплекс, о. Ольхон), что свидетельствует о коровом источнике их расплавов. Рассчитанный на возраст метабазитов 500 млн. лет модельный возраст гранитоидов 1.37- 1.55 млрд лет одинаков с метагранитоидными ольхонской серии [8], что еще раз подтверждает, что источником расплавов были гнейсы. Полученные данные указывают на то, что продолжительность выплавления и кристаллизации гранитоидов шаранурского комплекса – 505-477 млн. лет (разница возраста ядер и оболочек цирконов составляет 28 млн. лет), что можно расценивать как индикаторную особенность развития коллизийного гранитоидного магматизма. В ангинской толще, наряду с метавулканитами, состав которых меняется от андезитобазальтов до андезитов, наблюдается несколько массивов среднего состава. Это Крестовский массив, расположенный между Бирхинским и Бугульдейским плутонами и

ряд небольших массивов гранодиоритов на берегу Малого моря. Эталонный Крестовский массив содержит много магматических брекчий, по которым отчетливо прослеживается порядок внедрения фаз. Более основные фазы массива совпадают по составу со средними составами андезибазальтов и андезитов молодых островных дуг Камчатки и активных континентальных окраин Тихого океана, а также молодых островодужных образований Индонезии и Филиппин [9; 10]. Хайдайский гранитоидный комплекс по геохимическим данным является натриевой известково-щелочной вулcano-плутонической серией и этим резко отличается от К-Na шарануркого комплекса гранитоидов, хотя по возрасту они близки. Возраст гранодиоритов Крестовского массива по данным Rb-Sr метода составляет  $570 \pm 18$  млн.лет, но по цирконам (SHRIMP-II) ядра имеют возраст  $493 \pm 4$ , оболочки  $477 \pm 3$  млн. лет [11; 8]. Следовательно, зарождение расплава обоих комплексов было несколько раньше, а дорастание цирконов и кристаллизация гранитоидов были близки по возрасту метаморфизму. Хайдайский – типичный островодужный вулcano-плутонический комплекс с широким спектром дифференциатов. Геохимической особенностью этого комплекса является обогащенность Ba Sr и преобладание натрия над калием как в интрузивных породах, так и в субвулканических дайках. Для них характерен неглубокий Eu-минимум.

В среднем и особенно позднем палеозое (карбон) в части Ольхонского региона коллизионный режим начал сменяться внутриплитным. Судя по постепенному омоложению щелочных проявлений (Будунский и Тажеранский массивы щелочных сиенитов) и преобладанию в их геохимических характеристиках коровых компонентов, процесс изменения тектонического плана происходил медленно, и в Ольхонском регионе завершился формированием поясов субмеридианально ориентированных редкометалльно-редкоземельных пегматитовых тел, причем редкометалльно-бериллоносных на востоке о-ва Ольхон и амазонитсодержащих пегматитов с Li-F-B минерализацией в Приольхонье. Они представляют собой начало нового этапа развития региона – внутриплитного, который широко проявлен в регионах Центральной Азии (Забайкалье, Монголия, Китай), где внутриплитный магматизм имеет важное практическое значение, и редкометалльные гранитоиды в этих регионах формировались при плавлении докембрийской и каледонской континентальной коры под воздействием мантийных магм [12; 13; 14; 15]. С ними связаны месторождения и рудопроявления разнообразных типов редких металлов (Li, Cs, Be, Sn, W, Nb, Ta, Zr, REE). Позднепалеозойский гранитоидный магматизм в Хамардабанской провинции характеризуется развитием интрузивно-субвулканических пород, объединяемых в Уругудей–Утуликский пояс среди докембрийских метаморфических толщ. Многофазные

интрузии площадью до 10 км<sup>2</sup> каждая (Харагульская, Биту-Джидинская и Уругудеевская) образованы биотитовыми часто флюорит-содержащими гранитами ранней фазы, которые на позднем этапе сменяются редкометалльными амазонит-альбитовыми гранитами Li-F типа.

## **2.1 Геохимические особенности и условия формирования редкометалльных гранитно-пегматитовых систем в постколлизионных геодинамических обстановках (на примере Сольбельдерского пегматитового поля Центрального Сангиленга)**

Изучены вещественный состав и изотопные характеристики (Sm-Nd, Sr-Nd) гранитоидов и ассоциированных с ними богатых литием редкометалльных пегматитов в Сольбельдерском пегматитовом поле, принадлежащем к Центрально-Сангиленскому пегматитовому поясу (ЦСП) Тувино-Монгольского массива. До недавнего времени он считался сингенетичным с более протяженным Южно-Сангиленским пегматитовым поясом и относился к одному кыстарысскому гранитному комплексу, предположительно раннепалеозойскому. Изотопно-геохронологические исследования (U-Pb по цирконам на SHRIMP-II) [16, 17] позволили установить значительные временные различия в проявлении редкометалльного пегматитообразования в этих поясах, а также сопоставить эпизоды пегматитообразования с определенными геодинамическими обстановками.

Выявлено, что сподуменовые пегматиты Южно-Сангиленского пояса (ЮСП) (494-483 млн. лет), к которому принадлежит крупное месторождение лития Тастыг, и распространенные в ЮСП граниты кыстарысского комплекса (489-488 млн лет) имеют одинаковый возраст и образовались на завершающем этапе раннепалеозойского коллизионного орогенеза. В отличие от них, редкометалльные пегматиты Центрально-Сангиленского пегматитового пояса (ЦСП) сформировались в пермское время (292-272 млн лет) в анорогенной обстановке с большим отрывом по времени от момента образования в ЦСП как коллизионных гранитных комплексов (492 и 471 млн лет), так и интрузивных пород щелочного состава (378 и 180 млн лет). Установлено, что раннепалеозойский коллизионный магматизм в Сольбельдерском поле ЦСП проявился в более коротком интервале времени (492-471 млн лет), чем в ЮСП (520-480 млн лет), и представлен только гранитами гетерогенного Быстринско-Каргинского массива (БКМ). Полученные нами данные о составе и Nd-изотопных характеристиках плагиогранитов главной фазы Быстринско-Каргинского массива: I-тип, eNd(+)-тип (eNd(492 млн лет) = +4,2; T(DM-2) = 891 млн. лет), в сравнении с параметрами одновозрастных гранитов кыстарысского комплекса в ЮСП - A-тип, eNd(-)-тип, свидетельствуют о разных источниках (каледонском и рифейском, соответственно) и не позволяют объединять их в один комплекс (Рис. 3, а-б). Однако, изотопные характеристики лейкогранитов из

небольших штоков в краевой части данного массива (471 млн лет) ( $\epsilon\text{Nd}(T) = -5,4$ ;  $T(\text{DM}-2) = 1670$  млн лет) близки к показателям лейкогранитов кыстарысского комплекса и указывают на наличие в коре ЦСП, как и ЮСП, древнекорового осадочного материала – потенциального источника лития [17]. Полученные данные свидетельствуют об автономности позднепалеозойского магматического импульса формирования редкометалльных

гранитных пегматитов данного поля, который проявился в анорогенной обстановке в интервале между импульсами щелочного магматизма, не отразившимися на их редкометальной специализации (Li, Ta, Cs, Sn, Be). Различия в геодинамической позиции двух изученных пегматитовых поясов предопределили геохимические особенности и разные масштабы проявления двух поколений редкометалльных пегматитов в структурах Сангилены.

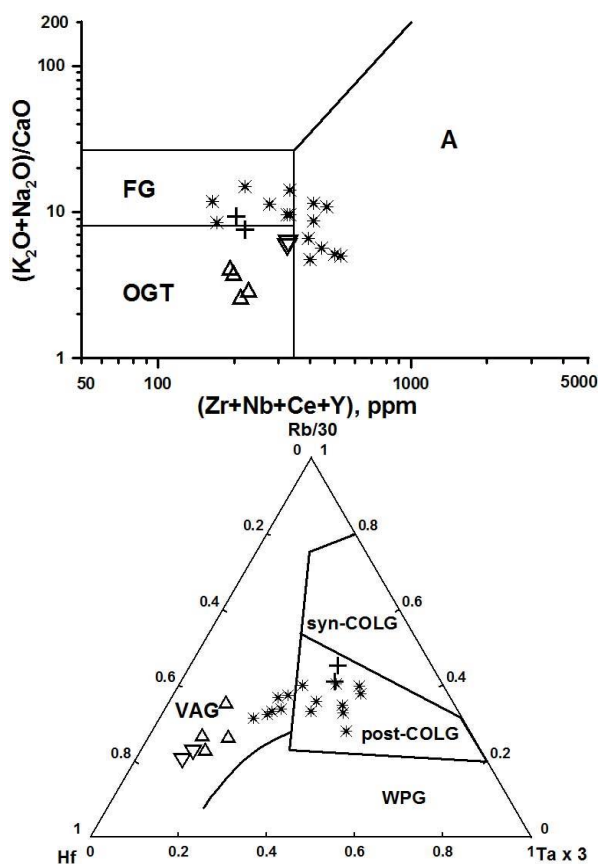


Рисунок 3 - Дискриминационные диаграммы состава гранитов раннепалеозойского возраста Сольбельдерского поля ЦСП (треугольники) и кыстарысского комплекса ЮСП (звездочки) а) – по [18] и б) – по [19].

(а) поля составов гранитов разных геохимических типов: OGT – нефракционированные граниты S-, M-, I- типов, FG – фракционированные граниты S-, M-, I- типов, А – граниты

А-типа; (б) поля составов гранитов в разных тектонических обстановках: VAG – вулканических дуг, syn-COLG - синколлизийных, post-COLG - постколлизийных, WPG – внутриплитных.



**3. Процессы смешения, контаминации и дифференциации магм в происхождении андезитов и дацитов в результате взаимодействия и эволюции базальтоидных и кислых расплавов на примере вулканических центров Камчатки. В составе позднепалеозой-раннемезозойской Северо-Монгольской рифтовой зоны исследован новый крупный Цагаан-уульский пантеллеритовый дайковый пояс**

Результаты исследований вулканических комплексов Камчатки с проявлениями Mg# андезитов указывают на существование среди них, по крайней мере, двух различных генетических типов. Один из типов Mg# андезитовых магм является результатом мантийного магмогенеза, а другой отражает в своем происхождении возможность протекания процессов взаимодействия основных и кислых вулканических расплавов IAB типа.

В составе позднепалеозой-раннемезозойской Северо-Монгольской рифтовой зоны обнаружен и исследован крупный Цагаан-уульский пантеллеритовый дайковый пояс протяженностью до 32 км, шириной до 7-8 км и северо-восточным простиранием (рисунок 4). Дайки прорывают массив среднепалеозойских гранитов. Среди преобладающих даек пантеллеритового состава встречены редкие и наиболее ранние по времени формирования дайки пантеллеритовых трахитов, иногда с совместным залеганием с пантеллеритами в структурах типа «дайка в дайке».

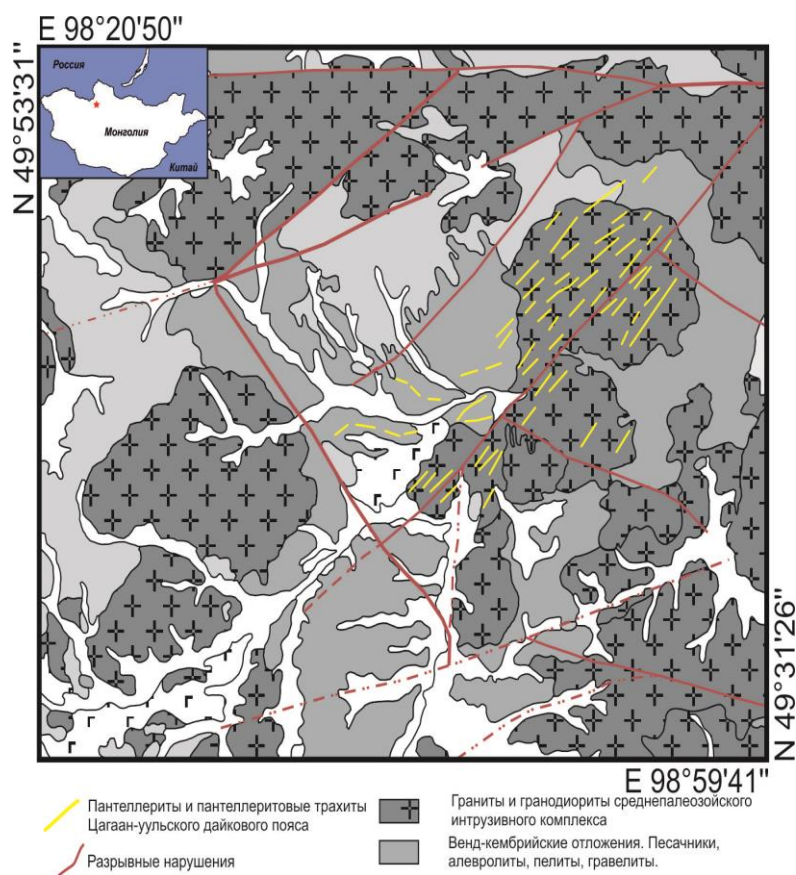


Рисунок 4 - Геологическая схема Цагаануульского дайкового пояса.

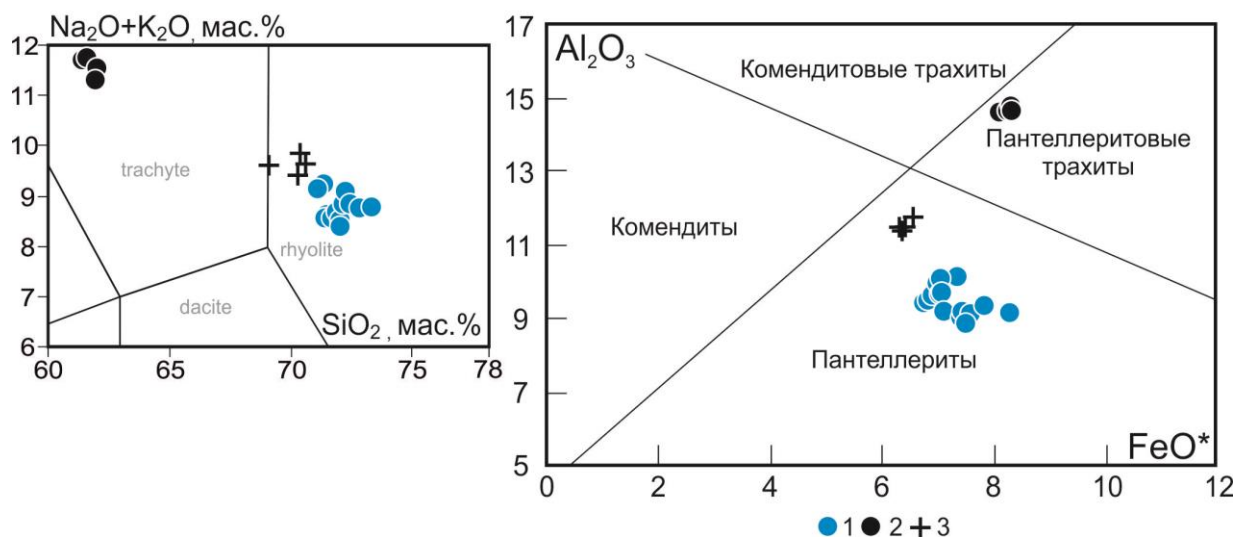


Рисунок 5 – Дискриминационные диаграммы для пород Цагаануульского дайкового пояса.

1. Пантеллериты; 2. Пантеллеритовые трахиты; 3. Пантеллериты с крупными  
вкрапленниками КППШ

Минералого-геохимические особенности установленных в строении пояса пантеллеритов и пантеллеритовых трахитов указывают на специфические условия образования и кристаллизации проявленных здесь щелочно-салических магм (рисунки 5,6). Отсутствие здесь проявлений щелочно-базитовых магм объясняется их длительной дифференциацией в глубокозалегающих магматических очагах с последовательным формированием и внедрением вначале расплавов пантеллеритовых трахитов, а затем и пантеллеритов на постколлизиионном этапе геодинамического развития территории. Породы Цагаан-уульского дайкового пояса в сравнении с щелочно-салическими породами других районов Монголии и активной континентальной окраины Камчатки заметно обогащены Zr (до 1800 ppm), Hf, Nb, Ta, REE, Y, Th и U, а также обеднены Ba, Sr и P. В сравнении с пантеллеритовыми трахитами и пантеллеритами петротипических вулканических комплексов о. Пантеллерия, породы исследуемого пояса близки к ним по концентрациям большинства редких элементов, но заметно обеднены Nb и Ta (рисунок 6). Выявленные геохимические особенности и условия проявления щелочно-салических магм в структуре Цагаан-уульского дайкового пояса указывают на их происхождение на постколлизиионном этапе геодинамического развития территории. При этом отсутствие в составе пояса проявлений щелочно-базитовых магм может быть объяснено их длительной дифференциацией в глубоко залегающих магматических очагах с последовательным формированием и внедрением вначале расплавов пантеллеритовых трахитов, а затем и пантеллеритов в условиях растяжения.

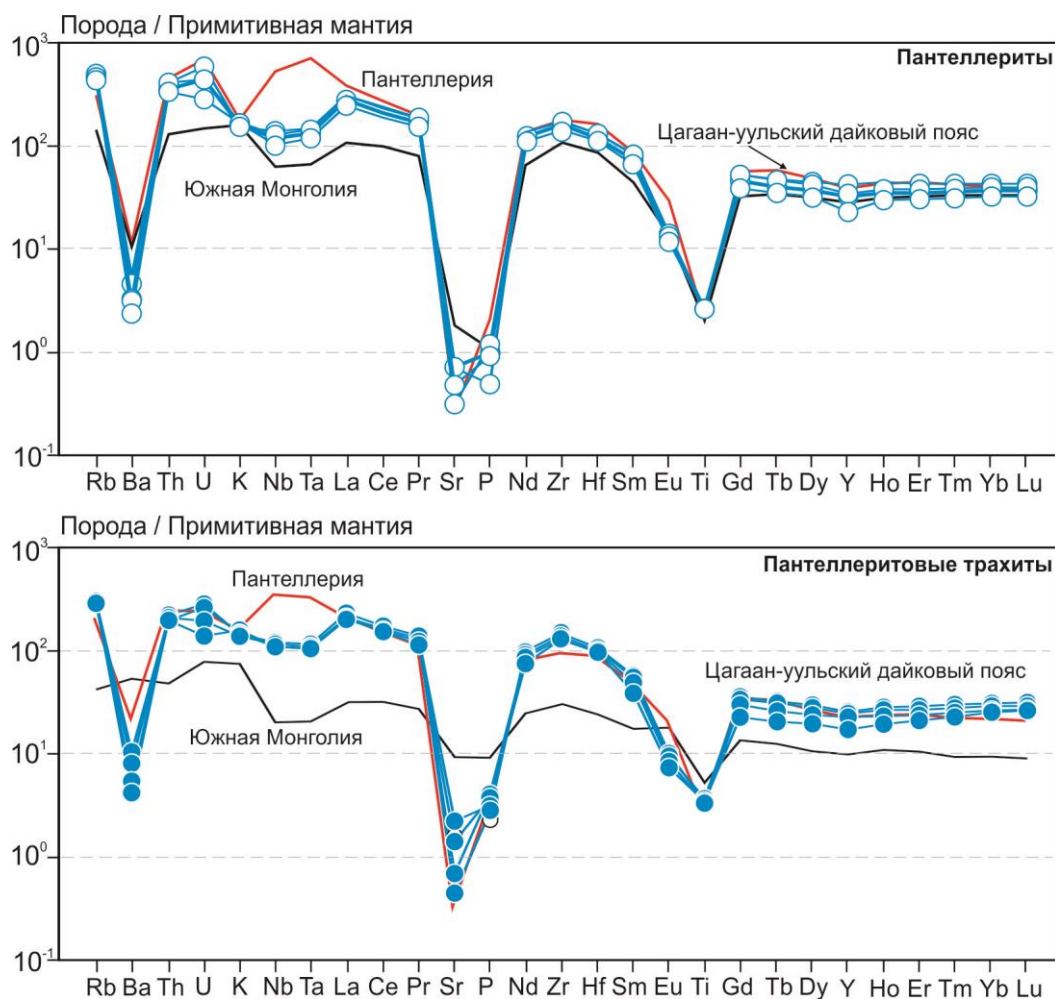


Рисунок 6 – Диаграммы распределения магматофильных элементов для пород Цагаан-уульского дайкового пояса.

### Раздел 3.1 Минералого-геохимические, изотопные характеристики и особенности кристаллизации пирогенных пород (клинкеров, паралав) в Центральной Монголии

Определены минералого-геохимические особенности и условия формирования клинкеров и паралав Нилгинского пирометаморфического комплекса в Центральной Монголии. Минеральные и фазовые ассоциации пиропород не имеют аналогов в мире. Клинкеры содержат реликты пирогенно измененных аргиллитов, кислое стекло, оплавленные зерна кварца, полевых шпатов и новообразованные микролиты (фенокристы) индиалита с краевой зоной ферроиндиалита. В расплавах паралав первыми образовались микролиты шпинели с большими вариациями содержания Fe и фенокристы анортита-битовнита, затем – фенокристы Al-клинопироксена ± мелилита и Mg-Fe оливина. Далее кристаллизовались Ca-фаялит, кирштеинит, пирротин, минералы ренит-куратитовой серии, K-Ba полевые шпаты, Fe<sup>3+</sup>-герцинит ± (самородное Fe, вюстит, Al-магнетит, фресноит), нефелин ± (кальсилит) и более поздние кальцит, сидерит, барит, целестин, гипс. В паралавах обнаружены редкие минералы ренит-куратитовой серии, новый

конечный член из подгруппы ренита  $\text{Ca}_4\text{Fe}^{2+}_8\text{Fe}^{3+}_4\text{O}_4[\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{36}]$ , тоберморитоподобный минерал  $\text{Ca}_5\text{Si}_5(\text{Al},\text{Fe})(\text{OH})\text{O}_{16}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , богатая F высокобариевая слюда  $(\text{K},\text{Ba})(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ . В паралавах встречаются реликты закаленных микроэмульсий несмешиваемых остаточных силикатных расплавов с большими вариациями содержаний Si, Al, Fe, Ca, K, Ba и Sr, сульфидных и кальцитовых расплавов, а также обогащенных водой силикатно-железистых  $\pm$  (Mn) флюидных сред.

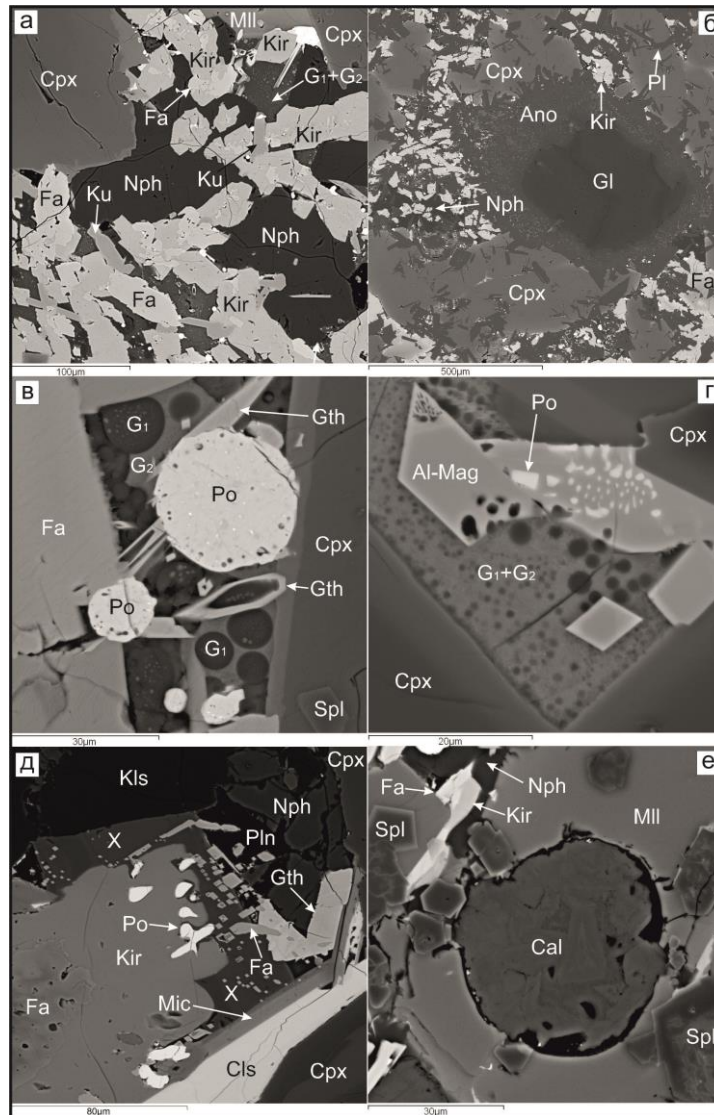


Рисунок 7 – Фрагменты матрикса клинкеров на останцах осадочной толщи Нилгинского комплекса.

(а) – обр. MN-1127 (останец Корона). Интерстиции между микрофено-кристаллами Al-клинопироксена и мелилита заполнены нефелином и стеклами с включениями куратита, Са-фаялита и кирштеинита. (б) – обр. MN-1287 (останец Корона). Обособление богатого Al стекла (расплавленный ксенолит аргиллита), окруженное каймой анортита в матриксе паралавы. (в) – обр. MN-1127 (останец Корона). Закаленная микроэмульсия двух силикатных расплавов с глобулами пирротина и включениями игольчатого гетита между

микрофенокристом Al-клинопироксена и микролитом фаялита. (г) – обр. MN-1185 (останец Малыш). Закаленная микроэмульсия богатых Ba и Sr силикатных расплавов с включениями Al-магнетита между микро-фенокристами клинопироксена. (д) – обр. MN-1180 (вблизи останца Верблюд). Микролиты и обособления минералов, в т.ч. тоберморитоподобный минерал и высокобариевая богатая F слюда между микрофенокристами Al-клинопироксена. (е) – обр. MN-1133 (останец Верблюд). Расплавное включение кальцита в микрофено-кристе мелилита. Изображения в обратно-рассеянных электронах (BSE).

Клинкеры формировались менее 2 млн. лет назад в разных частях меловой (K1) осадочной толщи Нилгинской депрессии при плавлении аргиллитов с валовым составом от дацитов до андезитов. Пиропороды андезито-базальтового состава образовались в процессе плавления карбонатно-силикатных осадочных пород при температурах, превышающих 1450°C. Кристаллизация обогащенных Ca, Fe и недосыщенных по кремнезему мафических паралав происходила в близповерхностных условиях при температурах выше 900–1100°C и летучести кислорода  $f_{O_2}$  от IW до QFM буферов. Значительные вариации валового состава, большое разнообразие минеральных и фазовых ассоциаций пиропород Нилгинского комплекса (дацитовых, андезитовых, андезито-базальтовых, базальтовых и недосыщенных по кремнезему мафических) объясняются неравновесными условиями кристаллизации расплавов, образованных при частичном либо полном плавлении глинистых и карбонатно-силикатных осадочных пород во время природных угольных пожаров.

**Раздел 3.2. Новые данные по возрасту, изотопии и геохимии магматических пород с адакитовыми характеристиками Восточного Саяна и Восточного Забайкалья, их геохимическая типизация и сравнение с классическими типами адакитов, их геодинамическая позиция**

Было проведено изучение изотопно-геохимических характеристик и определение возраста производных слэбовых магм в Усть-Карском районе Восточного Забайкалья. В результате исследований показано, что гранитоиды, пространственно ассоциирующие с золотой минерализацией, имеют раннеюрский изотопный возраст, а их образование может быть связано с процессом субдукции, протекавшим в ранней юре на южной границе Сибирского континента. Другая группа гранитоидов, непосредственно контролирующая промышленную золотую минерализацию, имеет позднеюрский возраст и могла образоваться при коллизии Сибирского и Северо-Китайского континентов. По своим геохимическим особенностям обе группы пород соответствуют производным слэбовых

магм: адакитам ( $J_1$ ) и санукитоидам ( $J_3$ ), что позволяет связать золотую минерализацию с их источником — слэбом. Контроль производными слэбовых магм золоторудной минерализации позволяет по-новому взглянуть на металлогеническое районирование Восточного Забайкалья и выделить новые площади для постановки поисковых работ. В Восточном Саяне было выполнено изотопное и геохимическое изучение серых гнейсов Гарганской глыбы, фрагмента фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента, одного из потенциальных источников вещества «коллизийных» раннепалеозойских гранитоидов с адакитовой характеристикой.

На базе полученных результатов, была создана методика оценки состава источника магм с возможностью разделения производных магм ТТГА и адакитов на «слэбовые» и «коровые». В результате ее апробации было показано, что ТТГА Гарганской глыбы наиболее соответствуют продуктам плавления базальтового слоя океанической литосферы (рисунок 8).

Помимо этого, была получена новая Sm/Nd изохронная изотопная датировка серых гнейсов Гарганской глыбы, составляющая  $2861 \pm 25$  млн. лет. Она хорошо согласуется с изотопным возрастом полученным U/Pb методом по цирконам ( $T = 2727 \pm 6$  млн. лет [20]) и может рассматриваться как достоверная.

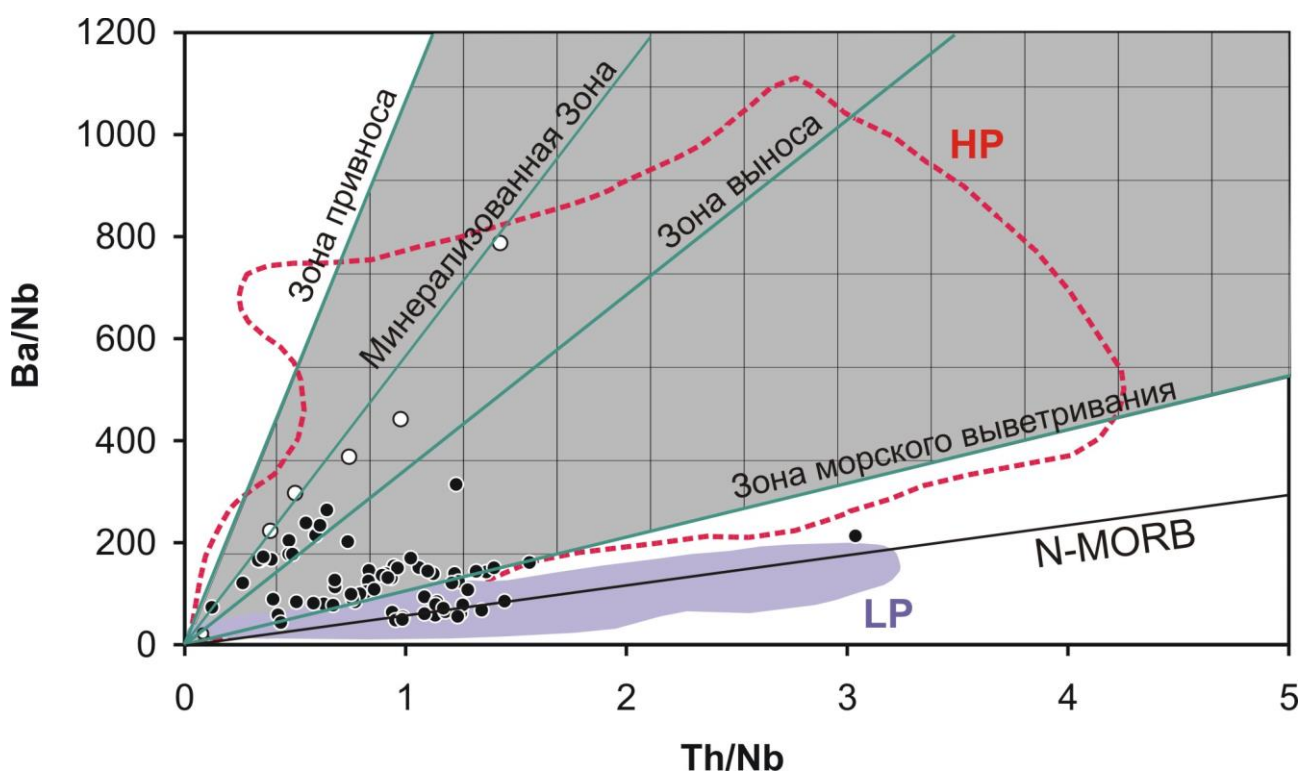


Рисунок 8 - Диаграмма Th/Nb-Ba/Nb для адакитов Андийской континентальной окраины и производных позднеархейских магм ТТГА.

Темносерое поле — низкобарические ТТГА, поле, ограниченное пунктирной линией — высокобарические ТТГА. Светлосерое поле с горизонтальной и вертикальной штриховкой

— вариации составов базальтового слоя океанической литосферы. Прямые линии — линии одинаковых отношений Th/Ua в различных геохимических резервуарах: N-MORB (нижняя кора); зона морского выветривания; зоны гидротермальных преобразований (привноса и выноса химических элементов); переходная зона. Залитые кружки — адакиты Андийской континентальной окраины. Не залитые кружки — ТТГА Гарганской глыбы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований в 2018 году получены следующие результаты:

1) Установлены минералого-геохимические характеристики основных метамагматических пород в докембрийских метаморфических комплексах Сибирского кратона и подвижных поясов его обрамления. Предложены модели формирования разновозрастных метавулканитов на завершающих этапах становления кратона (от палеоархея до неопротерозоя), определены их рудная специализация и процессы метаморфического преобразования.

2) Определены геохимические особенности сиенитов Будунского и Тажеранского массивов в Прибайкалье. Показано, что тесная пространственная сопряженность щелочных проявлений и пород основного состава, а также близость времени их формирования с синколлизийными гранитами шаранурского комплекса свидетельствуют о генетической связи изученных комплексов пород. Установлено, что в сравнении со щелочными сиенитами мантийной природы, изученные сиениты наследуют микроэлементные характеристики карбонатных (Тажеранский массив) или гнейсовых вмещающих толщ.

3) Среди коллизийных гранитоидов Прибайкалья, представленных автохтонными и аллохтонными фациями, выделены различные геохимические типы пород. В результате сравнения магматизма различных провинций выявился ряд индикаторных особенностей гранитоидов, сформированных в обстановке континентальной коллизии. Эти породы характеризуются отрицательными величинами  $\epsilon Nd$  (от -3 до -12), а также  $^{87}Sr/^{86}Sr=0,7045-0,7075$  (шаранурский комплекс, о. Ольхон), что свидетельствует о коровом источнике их расплавов. Хайдайский гранитоидный комплекс Ольхонского региона по геохимическим данным является натриевой известково-щелочной вулcano-плутонической серией. Это типичный островодужный комплекс с широким спектром дифференциатов. В среднем и позднем палеозое в Прибайкалье коллизийный режим начал сменяться внутриплитным, который широко проявлен в Забайкалье и Монголии. В Ольхонском регионе внутриплитный магматизм завершился формированием субмеридианально ориентированных редкометалльно-редкоземельных пегматитовых тел: редкометалльно-бериллоносных на о-ве Ольхон и амазонитсодержащих гранитов и пегматитов с Li-F-B минерализацией в Приольхонье

4) Выявлено, что сподуменовые пегматиты Южно-Сангиленского пояса (ЮСП) (494-483 млн. лет), к которому принадлежит крупное месторождение лития Тастыг, и распространенные в ЮСП граниты кыстарысского комплекса (489-488 млн лет)



пегматиты Центрально-Сангиленского пегматитового пояса (ЦСП) сформировались на завершающем этапе раннепалеозойского коллизионного орогенеза. В отличие от них, редкометальные пегматиты Центрально-Сангиленского пегматитового пояса (ЦСП) сформировались в пермское время (292-272 млн лет) в анорогенной обстановке с большим отрывом по времени от момента образования в ЦСП как коллизионных гранитных комплексов (492 и 471 млн лет), так и интрузивных пород щелочного состава (378 и 180 млн лет).

5) В составе позднепалеозой-раннемезозойской Северо-Монгольской рифтовой зоны обнаружен и исследован крупный Цагаан-уульский пантеллеритовый дайковый пояс. Минералого-геохимические особенности установленных в строении пояса пантеллеритов и пантеллеритовых трахитов указывают на специфические условия образования и кристаллизации проявленных здесь щелочно-салических магм. Отсутствие здесь проявлений щелочно-базитовых магм объясняется их длительной дифференциацией в глубоководных магматических очагах с последовательным формированием и внедрением вначале расплавов пантеллеритовых трахитов, а затем и пантеллеритов на постколлизионном этапе геодинамического развития территории.

6) Определены минералого-геохимические характеристики, особенности кристаллизации и условия формирования клинкеров и паралав Нилгинского пирометаморфического комплекса в Центральной Монголии. Показано, что минеральные парагенезисы изученных пиропород не имеют аналогов в мире.

7) В паралавах обнаружены редкие минералы ренит-куратитовой серии, новый конечный член из подгруппы ренита  $\text{Ca}_4\text{Fe}^{2+}_8\text{Fe}^{3+}_4\text{O}_4[\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{36}]$ , тоберморитоподобный минерал  $\text{Ca}_5\text{Si}_5(\text{Al,Fe})(\text{OH})\text{O}_{16}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и богатая F высокобариевая слюда  $(\text{K,Ba})(\text{Mg,Fe})_3(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ . В паралавах встречаются реликты закаленных микроэмульсий несмешиваемых остаточных силикатных расплавов, сульфидных и кальцитовых расплавов, а также обогащенных водой силикатно-железистых  $\pm (\text{Mn})$  флюидных сред.

8) Выполнен анализ изотопно-геохимических характеристик и определение возраста производных слэбовых магм в Усть-Карском районе Восточного Забайкалья. Показано, что гранитоиды с ассоциирующей золотой минерализацией имеют раннеюрский изотопный возраст, а их образование может быть связано с процессом субдукции, протекавшим в ранней юре на южной границе Сибирского континента. Другая группа гранитоидов непосредственно контролирует промышленную золотую минерализацию, имеет позднеюрский возраст и могла образоваться при коллизии Сибирского и Северо-Китайского континентов. По своим геохимическим особенностям обе группы пород соответствуют производным слэбовых магм: адакитам ( $J_1$ ) и

санукитоидам (J<sub>3</sub>), что позволяет связать золотую минерализацию с их источником — слэбом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.

1. Савельева В.Б., Ущাপовская З.Ф., Медведева Т.И., Колосницына Т.И. Русакова В.А. Новое проявление фельдшпатоидных пород в Приольхонье (Западное Прибайкалье) // Геология и геофизика - 1994. – Т.35. – № 6. – С. 41-49.
2. Контактный метаморфизм и метасоматоз в ореоле Тажеранской щелочной интрузии / Конев А.А., Самойлов В.С. – Новосибирск: Наука, 1974. – 246 с.
3. Склярлов Е.В., Федоровский В.С., Котов А.Б., Лавренчук А.В., Мазукабзов А.М., Левицкий В.И., Сальникова Е.Б., Старикова А.Е., Яковлева С.З., Анисимова И.В., Федосеенко А.М. Карбонатиты в коллизионных обстановках и квазикарбонатиты раннепалеозойской ольхонской коллизионной системы // Геология и геофизика – 2009. – Т. 50. – № 12. – С. 409-427.
4. Геохимия и петрология метаморфических и магматических пород Ольхонского региона Прибайкалья / Макрыгина В.А., Антипин В.С. – Новосибирск: «Гео», – 2018. – 248 с.
5. Федоровский В.С., Склярлов Е.В., Изох А.Э., Котов А.Б., Лавренчук А.В., Мазукабзов А.М. Сдвиговый тектогенез и щелочно-основной магматизм в коллизионной системе каледонид Западного Прибайкалья // Геология и геофизика – 2010. – Т. 51. – №5. – С. 682-700.
6. Антипин В.С., Перепелов А.Б. Позднепалеозойский редкометалльный гранитоидный магматизм Южного Прибайкалья // Петрология – 2011. – Т.19. – №4. – с. 386-398.
7. Континентальная кора, ее состав и эволюция / Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. – Москва: Мир, 1988. – 379 с.
8. Макрыгина В.А., Конева А.А. Геохимия переотложенных и непереотложенных древних кор выветривания, Прибайкалье // Геохимия. – 2010. – № 8. – С. 815-828.
9. Carn S.A. & Pyle D.M. Petrology and Geochemistry of the Lamongan Volcanic field, East Java, Indonesia: Primitive Sunda arc magmas in an extensional tectonic setting // J. Petrology. – 2001. – V.42. – No. 9. – P. 1643-1683.
10. Andal E. S., Yumul Ir., G.P., Listanco E.L., Tamayo, Ir., R.A., Dimalanta C., B. and Teruaki Ishii Characterization of the Pleistocene Volcanic Chain of the Bicol Arc, Philippines: implication for Geohazard Assessment // TAO – 2005. – V.16. – No. 4. – P. 865-883.

11. Макрыгина В.А., Петрова З.И., Сандимирова Г.П., Пахольченко Ю.А. Rb-Sr систематика гранитоидов разных комплексов Приольхонья и о-ва Ольхон (Зап. Прибайкалье) // Геол. и геофизика. – 2000. – Т. 41. – № 5. – С. 679-685.
12. Коваленко В.И., Костицын Ю.А., Ярмолук В.В., Будников С.В., Ковач В.П., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Антипин В.С. Источники магм и изотопная (Sr, Nd) эволюция редкометалльных Li-F гранитоидов // Петрология. – 1999. – Т. 7. – № 4. – С. 401-429.
13. Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V., Kravchinsky V.A. Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province // Earth Science Rev. – 2010. – V. 102. No. 1—2. – P. 29—59.
14. Борисов А.А. Экспериментальное исследование распределения К и Na между смешивающимися жидкостями // Петрология. – 2008. – Т.16. – № 6. – С. 593-605.
15. Ярмолук В.В., Кузьмин М.И. Позднепалеозойский и раннемезозойский редкометалльный магматизм Центральной Азии: этапы, области и обстановки формирования // Геология рудных месторождений. – 2012, – Т. 54, – № 5, – С. 375—399.
16. Kuznetsova L.G., Shokalsky S.P., Sergeev S.A. Rare-element pegmatites and pegmatite-bearing granites in the Sangilen mountain area: age, petrogenesis, and tectonic setting // Contributions to the International symposium: Large igneous provinces of Asia: mantle plumes and metallogeny. (20-23 August 2011). Irkutsk – 2011. – P. 138-141
17. Кузнецова Л.Г., Шокальский С.П. Месторождения лития в редкометалльных пегматитах Республики Тыва // Материалы всероссийского научно-практического совещания: Литий России. Новосибирск. Изд-во СО РАН. – 2011. – С. 65-70.
18. Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. A-type granites. Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // Contrib. Mineral. Petrol. – 1987, – V. 95. – P. 407-419.
19. Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism // Geological Society. London. Special Publications. – 1986. – V. 19. – P. 67-81.
20. Анисимова И.В., Левицкий И.В., Котов А.Б., Левицкий В.И., Резницкий Л.З., Ефремов С.В., Великославинский С.Д., Бараш И.Г., Федосеенко А.М. Возраст фундамента Гарганской глыбы (Восточный Саян): результаты U-Pb геохронологических исследований // Изотопные системы и время геологических процессов: Мат. IV Рос. конф. по изотопной геохронологии. СПб. ИГГД РАН – 2009. – Т. 1. – С. 34–35.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Список основных публикаций по результатам проекта в 2018 г. Статьи (WoS)

1. Антипин В.С., академик Кузьмин М.И., Одгэрэл Д., Куш Л.В., Перепелов А.Б. Геохимическая эволюция и рудоносные метасоматиты Бага-Газрынского многофазного массива редкометалльных Li-F гранитов (Монголия) // Доклады Академии наук – 2018. – Т. 483. – №3. – С. 1468-1472.
2. Антипин В.С., Куш Л.В., Шептякова Н.В., Владимиров А.Г. Геохимическая эволюция раннепалеозойского коллизионного магматизма от автохтонных мигматитов и гранитоидов до многофазных гранитных интрузий (шаранурский и аинский комплексы Прибайкалья) // Геология и геофизика – 2018. – Т.59. – №12. – С. 2027-2039.
3. Ефремов С.В., Спиридонов А.М., Горячев Н.А. Слэбовый расплав как потенциальный источник профилирующих элементов месторождений золота и тяжёлых металлов // Доклады Академии наук – 2018 – Т. 479. – № 5. – С. 551–555.
4. Кузнецова Л.Г., Шокальский С.П., Сергеев С.А. Возраст, состав и геодинамические условия формирования гранитов и богатых литием редкометалльных пегматитов Хусуингольского поля (Сангиленское нагорье) // Доклады Академии наук – 2018. Т.482. – № 4. – С. 439-443.
5. 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. – Т. 59. – № 12. – С. 2079-2100.
6. Геохимия и петрология метаморфических и магматических пород Ольхонского региона Прибайкалья. Новосибирск / Макрыгина В.А., Антипин В.С. – ГЕО, – 2018. – 248 с.
7. Макрыгина В.А., Суворова Л.Ф., Антипин В.С., Макагон В.М. Редкометалльные пегматоидные граниты - маркеры начала внутриплитного этапа развития в Ольхонском региона, Прибайкалье // Геология и геофизика – 2018, – Т.59, – №12. – С. 2040-2054.
8. 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.
9. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Карманов Н.С., Дмитриева А.С. Несмесимость фторидно-кальциевого и силикатного расплавов в трахириолитовой магме: данные

изучения кислых вулканитов Нилгинской депрессии в Центральной Монголии // Петрология – 2018. – Т. 26. – № 4, – С. 400-425.

10. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Дриль С.И. Трахибазальт-трахит-трахириолитовый раннемеловой вулканизм Нилгинской депрессии (Центральная Монголия): источники и эволюция состава магм в условиях континентального рифтогенеза // Геология и геофизика – 2018. – № 12. – С. 2101- 2128.

11. Davydova V.O., Plechov P.Yu., Shcherbakov V.D., Perepelov A.B. High-K basaltic trachyandesite xenoliths in pyroclastic deposits from the Bezymianny volcano (Kamchatka) // Russian Geology and Geophysics – V. 59. – Issue. 9. – P. 1087-1099.

12. Ignatiev Alexander V, Velivetskaya Tatiana A., Budnitskiy Sergey Y., Vysotskiy Sergey V., Levitskii Valery I. Precision analysis of multisulfur isotopes in sulfides by femtosecond laser ablation GC-IRMS at high spatial resolution // Chemical Geology – 2018. – V. 493. – P. 316-326.

13. Ivanov A.V., Demonterova E.I., Savatenkov V.M., Perepelov A.B., Ryabov V.V., Shevko A.Y. Late Triassic (Carnian) lamproites from Noril'sk, polar Siberia: Evidence for melting of the recycled Archean crust and the question of lamproite source for some placer diamond deposits of the Siberian Craton // Lithos – 2018. – V. 296-299. – P. 67-78.

14. Levitskiy V. I., Solodilova V. V., Zavadich N. S., Pavlova L. A., and Levitskiy I. V. Genetic Nature of Mineralization with Native and Intermetallic Compounds in the Bobruisk Ring Structure (Republic of Belarus) // Doklady Earth Sciences – 2018, – V. 481. P. 859–863.

### **Монография**

Макрыгина В.А., Антипин В.С. Геохимия и петрология метаморфических и магматических пород Ольхонского региона Прибайкалья / Новосибирск. «ГЕО» – 2018, – 248 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Список опубликованных тезисов и докладов на конференциях

1. Алферьева Я.О., Новикова А.С., Дмитриева А.С. Экспериментальное изучение фазовых отношений при кристаллизации онгонитового расплава массива Ары-Булак // Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ВЭСЭМПГ-218) / г. Москва, ГЕОХИ РАН. – С. 93-96.
2. Антипин В.С., Одгэрэл Д., Куц Л.В., Белозерова О.Ю. Минералогическо-геохимические особенности эволюции многофазных редкометалльных гранитных массивов раннемезозойского ареала магматизма (Монголия) // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). / г. Иркутск, ИЗК СО РАН, (16-19 октября 2018 г.). – № 16.– С. 15-17.
3. Высоцкий С.В., Левицкий В. И., Левицкий И. В., Игнатьев А.В., Веливецкая Т.А., Мехоношин А.С. О сохранности изотопных меток при метаморфизме (на примере черемшанской свиты Шарыжалгайского краевого выступа Сибирского кратона // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). / г. Иркутск, ИЗК СО РАН, (16-19 октября 2018 г.). – № 16.– С. 58-61.
4. Ефремов С.В., Горячев Н.А., Дриль С.И., Герасимов Н.С., Левицкий И.В. Оценка роли процессов субдукции при неорархейском корообразовании (на примере серых гнейсов Гарганской глыбы, Восточный Саян) // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). / г. Иркутск, ИЗК СО РАН, (16-19 октября 2018 г.). –№ 16. – С.102.
5. Ефремов С.В., Спиридонов А.М., Горячев Н.А., Будяк А.Е. Использование мелкомасштабных геохимических съемок для расшифровки эволюции рудно-магматических систем Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). / – ИЗК СО РАН, г. Иркутск. (16-19 октября 2018 г.). –№ 16. – С.103.
6. Канева Е.В., Левицкий И.В. Особенности определения минерального состава пород метаморфических и магматических комплексов Присяянского выступа Сибирского кратона и его складчатого обрамления методом рентгеновской дифракции // IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» / г. Владивосток, Дальнаука. (17-23 Сентября 2018г.). – С. 166-169.

7. Кузнецова Л.Г., Шокальский С.П., Сергеев С.А., Дриль С.И. Возрастные рубежи формирования и особенности состава редкометальных гранитно-пегматитовых систем нагорья Сангилен. Монгуш А.А. (ред.) Геология, магматизм и металлогения центра Азии. 2018: Рудно-магматические системы Сангилена (щелочные интрузивы, карбонатиты) // Материалы I Всероссийской полевой конференции с международным участием / г. Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, (14-30 Август 2018 г.). – С. 57-66.

8. Кузнецова Л.Г., Дриль С.И. Sm-Nd изотопные характеристики источников раннепалеозойских коллизионных гранитоидов в поясах редкометальных пегматитов Сангиленского нагорья. Методы и геологические результаты изучения изотопных геохронометрических систем минералов и пород. // Материалы 7-ой Российской конференции по изотопной геохронологии / г. Москва, Изд-во ИГЕМ РАН, (5-7 июня 2018 г.). – С. 59-60.

9. Левицкий В.И., Павлова Л.А., Левицкий И.В. Породообразующие минералы ассоциаций с самородными и интерметаллическими соединениями в Бобруйском выступе фундамента Восточно-Европейской платформы // Материалы международной научно - практической конференции «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ)» / г. Москва, МГРИ–РГГРУ (4–6 апреля 2018 г.). – Т. 1. – С. 178-180.

10. Левицкий В.И., Левицкий И.В., Павлова Л.А. Обстановки и условия формирования основных и кислых магматитов с самородной и интерметаллической минерализацией в восточной части фундамента Восточно-Европейской платформы // IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» / г. Владивосток: Дальнаука. (17-23 Сентября 2018г.). – С. 186-189.

11. Левицкий И.В., Левицкий В.И. Петрогеохимическая специфика основного магматизма в метаморфических комплексах докембрия и фанерозоя северо-запада России и Восточной Сибири // IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» / г. Владивосток, Дальнаука. (17-23 Сентября 2018г.). – С 189-192.

12. Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Плечов П.Ю., Цыпукова С.С., Дриль С.И., Щербаков Ю.Д. Природа обогащенной мантии Камчатки и её роль в образовании магм «внутриплитного» геохимического типа в тыловой зоне активной окраины // IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» / г. Владивосток, Дальнаука. (17-23 Сентября 2018г.). – С. 203-204.



13. Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Цыпукова С.С., Чащин А.А., Плечов П.Ю., Щербаков Ю.Д., Давыдова В.О. Магнезиальный андезитовый и НЕВ-адакитовый вулканизм Камчатки // Материалы I Всероссийской конференции по петрологии и геохимии зон перехода «океан-континент» «Волынцовские чтения» / г. Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН. (Сентябрь 2018 г.). – С. 30-31.
14. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Дмитриева А.С. Распределение РЗЭ и Y между фторидно-кальциевым и силикатным несмесимыми расплавами в онгонитовой и обогащенной фтором трахириолитовой магмах // Конференция по термобарогеохимии, ТБГ-ХVIII / г. Москва, 2018 г. – С. 107-109.
15. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Котельников А.Р., Сук Н.И. Особенности распределения элементов-примесей между фторидно-кальциевым и трахириолитовым несмесимыми расплавами // Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ВЭСЭМПГ-2018) / г. Москва, ГЕОХИ РАН. – С. 125-128.
16. Савина Е.А., Перетяжко И.С., Дмитриева А.С. Фторидно-кальциевый расплав в трахириолитовой магме и процессы его преобразования во флюорит // Конференция по термобарогеохимии, ТБГ-ХVIII / г. Москва, 2018 г., С. 116-118.
17. Цыпукова С.С., Перепелов А.Б., Энхбат Д.-Э., Щербаков Ю.Д. Первые данные Lc-Ne- и кальцит-доломит-содержащим базальтам и фонотефритам позднелейстоценового вулканического центра Бодь-уул (Северная Монголия) // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 45-летию Геологического института СО РАН «Геодинамика и минерагения Северной и Центральной Азии» / г. Улан-Удэ, Изд-во Бурятского госуниверситета. 2018 г. – С. 386-388.
18. Цыпукова С.С., Перепелов А.Б., Энхбат Д.-Э., Щербаков Ю.Д., Дриль С.И. Вещество субдуцированной океанической литосферы в формировании внутриплитных щелочно-базальтовых магм и Grt-Cpx-Kfs-Ilm ассоциации мегакристаллов (вулкан Угумуур, Северная Монголия) // IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» / г. Владивосток, Дальнаука. (17-23 Сентября 2018г.). – С. 222-225.
19. Щербаков Ю.Д., Перепелов А.Б., Цыпукова С.С., Пузанков М.Ю. Первые данные по Цагаан-Уульскому пантеллеритовому дайковому поясу (Северная Монголия) // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-

Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). / г. Иркутск, ИЗК СО РАН, (16-19 октября 2018 г.). –№ 16. – С. 296-297