

Федеральное агентство научных организаций

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 550.4

№ госрегистрации 01201351649

Инв. № _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН

И.С. Шацкий



2016 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ГЕОХИМИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ И ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА
УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
СИБИРСКОГО КРАТОНА И ЕГО СКЛАДЧАТОГО ОБРАМЛЕНИЯ
(заключительный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО 0350-2014-0007

Приоритетное направление: VIII.71. Закономерности формирования минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов.

Программа ФНИ СО РАН VIII.71.1. Процессы мантийно-корового взаимодействия и изотопно-геохимические индикаторы рециклирования элементов.

Протокол Ученого совета ИГХ СО РАН
№ 7 от « 21 » декабря 2016 г.

Руководитель проекта
д.г.-м.н.

21.12.2016 *AM*

А.Я. Медведев

(подпись, дата)

Иркутск 2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы,
д-р геолого-минералогических наук 21.12.2016  А.Я. Медведев
подпись, дата

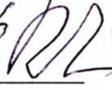
Ответственные исполнители
темы:

д-р геолого-минералогических наук 21.12.16  А.Я.Медведев (раздел 1)
подпись, дата

д-р геолого-минералогических наук 21.12.16  А.А.Воронцов (раздел 2)
подпись, дата

кандидат геолого-минералогических наук 21.12.16  А.С.Мехоношин (раздел 3)
подпись, дата

д-р геолого-минералогических наук 21.12.16  М.А. Горнова (раздел 4)
подпись, дата

д-р геолого-минералогических наук 21.12.16  С.И.Костровицкий (раздел 5)
подпись, дата

УДК 550.4

Реферат

Отчет включает 39 стр., 22 ист.

Ключевые слова: геохимия изотопов, геохимия отдельных элементов, абсолютный возраст.

Цели исследования: выявление устойчивых геохимических характеристик ультраосновных и основных магматических пород в различных условиях их формирования при разных флюидных режимах и в разных геодинамических обстановках; использование геохимических и изотопных данных (в комплексе с данными других областей геологических знаний) для расшифровки эволюции складчатых поясов, подвижных зон и областей проявления внутриплитного магматизма, источников вещества и энергии процессов, генезиса магм и их рудоносности.

Содержание

Введение	6
Раздел 1. Выявление геохимических особенностей, определение абсолютного возраста вулканитов Тунгусской синеклизы и Западно-Сибирской плиты, определение источников вещества и процессов контаминации	7
Раздел 2. Изучение геологических, геохронологических, геохимических и изотопных характеристик постаккреционного (ранне-среднепалеозойского) магматизма северо-восточной части Алтае-Саянской складчатой области с целью выделения основных этапов его развития, оценки состава источников и геодинамических механизмов магмообразования	10
Раздел 3. Выявление роли мантийных и коровых процессов на генезис ультрабазитов и связанных с ними Pt-Cu-Ni месторождений в пределах Алхадырского, Канского террейнов и Шарыжалгайского выступа в юго-западном обрамлении Сибирского кратона	14
Раздел 4. Исследование процессов плавления и миграции расплавов в надсубдукционных зонах на основе геохимических особенностей офиолитовых комплексов складчатого обрамления Сибирского кратона	20
Раздел 5. Исследование петрогенеза кимберлитов Якутской провинции – минералогическое, петрохимическое и изотопно-геохимическое обоснование роли астеносферно-литосферного взаимодействия при становлении кимберлитовых пород. Уточнение эпох кимберлитового вулканизма	25
Основные результаты проведённого исследования	30
Список использованных источников	34
Приложение. Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в соответствии с государственным заданием	38

Введение

Исследование предполагает изотопно-геохимическое и петрологическое изучение структурно-вещественных комплексов в отдельных блоках коры Сибирской платформы, складчатого обрамления с целью геохимического обоснования особенностей их формирования в связи со сменой геодинамических обстановок. Сюда входят доколлизийный (дометаморфический) этап развития (становление кратона и формирование коры Палеоазиатского океана), этап коллизии – аккреции складчатых блоков к кратону (синметаморфический) и этапы более позднего рифтогенеза и внутриплитного магматизма.

Раздел 1. Выявление геохимических особенностей, определение абсолютного возраста вулканитов Тунгусской синеклизы и Западно-Сибирской плиты, определение источников вещества и процессов контаминации

В 2016 г. планировалось изучение пород вулканогенно-осадочной толщи юго-западной части Западно-Сибирской плиты.

Исследованы щелочные породы, встреченные в пермотриасовом вулканогенно-осадочном комплексе Западно-Сибирской плиты. Данные породы отмечены только в одной скважине, пробуренной в бортовой части Колтогорско-Уренгойского палеорифта, где они залегают совместно с субщелочными базальтами. Это первая находка щелочных пород, отнесенных нами к тефрифенолитам, на исследуемой территории. Эти породы не имеют аналогов среди пермотриасовых вулканитов Западно-Сибирской плиты. По своим геохимическим характеристикам они близки к фенолитам Восточно-Африканского рифта, тефритам Хилокско-Ингодинской впадины (Западное Забайкалье) и фенолитам банки Горриндж [Кузьмин, 1985; Чернышева, Матвеев, Медведев, 2012]. Отмечается практически полное сходство распределения РЗЭ исследованных тефрифенолитов как с фенолитами, так и с тефритами. Еще более отчетливо это подтверждается данными по распределению редких элементов. Показано, что изученные нами тефрифенолиты по своим геохимическим характеристикам соответствуют базальтоидам океанических островов (ОИВ). Это еще раз подтверждает внутриплитный характер пермотриасового магматизма Западной Сибири. Данные по изотопии стронция и неодима позволяют предположить о том, что составы тефрифенолитов сдвинуты в более радиогенную область по сравнению с базальтоидами N-MORB Тихого, Атлантического и Индийского океанов, одновозрастными с траппами Восточной Сибири, а также базальтами Исландии [Mertz et al., 1991, Дриль и др., 2004, Дриль и др., 2012]. Фактически намечается линия смешения между производными истощенного источника DM и мантийного источника с высоким отношением U/Pb - HIMU. В связи с тем, что генерация щелочных

магм происходит на большой глубине с невысокой степенью плавления, возможна ассимиляция корового материала в процессе продвижения магматической колонны к поверхности. Этим можно объяснить повышенное отношение изотопов стронция в тефрифенолитах относительно ниже залегающих субщелочных базальтов из этой же скважины. Однако следует подчеркнуть, что сдвиг изотопных составов Sr в сторону обогащения коровым компонентом, в некоторой степени может быть обусловлен влиянием на породы вторичных аутометасоматических изменений, существование которых фиксируется петрографическими наблюдениями в исследованных щелочных породах.

Получены первые данные о содержании ЭПГ в пермотриасовых вулканитах Западной Сибири. Определено, что в большинстве исследованных пород изученные элементы находятся на кларковом уровне. Предположено, что повышенные концентрации суммы ЭПГ, платины и палладия связаны с воздействием вещества плюма. Магматический тренд распределения ЭПГ подтверждает сделанный ранее вывод о мантийном происхождении изученных пород [Медведев и др., 2003].

На основе полученных геохимических данных по распределению ЭПГ в базальтоидах, связанным с пермотриасовым Сибирским плюмом показано, что для раннего рифтового этапа в центральной части Сибирской LIP характерны низкие содержания ЭПГ, тогда, как для пикритов и толеитовых базальтов покровных фаций, высокие их концентрации. Для периферийных областей, как для рифтовых (Семейтау), так и покровных этапов (траппы Кузбасса), характерны крайне низкие концентрации ЭПГ. Высокими содержаниями платиноидов в магмах в области головы плюма обусловлена высокая продуктивность сопряженного с траппами ультрамафит-мафитового магматизма. Повышенная калиевость магм и высокие концентрации ЭПГ в голове глубинного мантийного плюма вероятно обусловлены поступлением глубинного вещества с границы ядро-нижняя мантия, что вытекает из термохимической модели Сибирского плюма [Добрецов и др., 2010].

Из серии разрезов колонковых скважин в юго-западной части ЗСГ (север Тюменско-Кустанайского прогиба) отобраны скважины, в которых Ar-Ar методом установлен каменноугольный возраст вулканитов. На основе детального седиментологического, петрологического и геохимического изучения разрезов реконструированы палеогеографические и палеогеодинамические обстановки формирования каменноугольных отложений. Характерные седиментологические признаки карбонатных, терригенных и вулканогенно-осадочных отложений свидетельствуют о преобладании морских обстановок седиментации с изменяющимися во времени глубинами отдельных частей бассейна. Максимальные глубины за всю историю существования бассейна характерны для визейского времени на территории Валерьяновской зоны. Островная вулканическая дуга служила барьером, благодаря которому в изолированных от открытого океанического пространства участках происходило формирование карбонатных платформ и приостровных рифов. Их деструкция привела к появлению шлейфов обломочного материала, которые в итоге и сформировали мощные толщи обломочных карбонатных пород. Обломочный силикокластический материал в качестве примеси в карбонатных осадках, а также в виде самостоятельных слоев возникал за счет отложения и перемыва тефры различного состава и разрушения островных вулканических построек. Среди эффузивов преобладали подводные потоки. Описанные в отдельных работах континентальные обстановки на территории Тюменско-Кустанайского прогиба в раннем карбоне, по-видимому, скорее свидетельствуют о разрастании или появлении новых островных вулканических построек с субаэральными обстановками формирования отложений и только начиная со среднекаменноугольного времени в результате общей регрессии моря появились крупные участки суши, принадлежащие Казахстанскому палеоконтиненту.

Для отложений качарской серии описанных разрезов скважин (северная часть Тюменско-Кустанайского прогиба) устанавливаются

сравнительно глубоководные обстановки их формирования со сложным рельефом дна бассейна, с возникновением крупных олистолитов, содержащих более древнюю фауну сравнительно с вмещающими илами.

Геохимические индикаторные характеристики вулканитов – содержания высокозарядных некогерентных элементов Ti, Nb, Ta, Th, Hf близки к содержаниям их в андезитоидах островных дуг, активных континентальных окраин андийского типа и в современных андезитах Курило-Камчатской зоны и на порядок меньше, чем в подобных вулканитах континентальных рифтов, к которым некоторые исследователи относят вулканиты Валерьяновской зоны. Содержания Ni, Co, V также близки к содержаниям их в андезитах островных дуг и в частности Курило-Камчатской области. Отношения Ba/Ta и Ba/La, а также соотношения Th, Hf и Ta на диаграмме Д. Вуда для андезитоидов валерьяновской и качарской серий также отвечают индикаторным характеристикам вулканитов островных дуг и активных континентальных окраин. Кремнекислые породы качарской серии по соотношению Rb/Zr-Nb, Fe-Nb, а также Rb-(Y+Nb) близки к подобным породам зрелых островных дуг и активных континентальных окраин. Графики распределения несовместимых элементов и графики распределения РЗЭ вулканитов валерьяновской и качарской серий характерны для вулканитов островных дуг и в частности для вулканитов Курило-Камчатской зоны.

Индикаторные геохимические особенности состава вулканитов и их петрология, а также седиментационные обстановки формирования ранне-, среднекаменноугольных отложений свидетельствуют в целом о принадлежности изученного вулканогенно-осадочного комплекса к активной континентальной окраине андийского типа (западная окраина Казахского палеоконтинента).

Раздел 2. Изучение геологических, геохронологических, геохимических и изотопных характеристик постаккреционного (ранне-среднепалеозойского) магматизма северо-восточной части Алтае-Саянской складчатой области с целью выделения основных этапов его развития, оценки состава источников и геодинамических механизмов магмообразования

В 2016 г. планировалось провести определение этапов мезозойского вулканизма в Удино-Еравнинской рифтовой зоне Западного Забайкалья.

Обобщены результаты исследований девонского магматизма Минусинской котловины, которая является одним из крупнейших элементов Алтае-Саянской рифтовой области (АСРО). На основе геологических данных, геохимических и изотопных (Sr, Nd, O) параметров вулканических ассоциаций Минусинской котловины рассмотрены основные закономерности развития ее вулканизма, охарактеризован состав магматических источников и реконструированы геодинамические механизмы их вовлечения в рифтогенез.

Минусинская котловина отличается от других прогибов АСРО субизометричной формой, напоминающей структуру “песочных часов”, и двухэтапным развитием. Ранний этап характеризовался активным вулканизмом. Котловина заполнялась в основном дифференцированными и бимодальными вулканическими комплексами с участием базитовых силлов. На позднем этапе магматическая активность была подавлена и в котловине накапливались только терригенные отложения.

Породы с содержанием SiO_2 от 43 до 53 мас. % обогащены редкими литофильными элементами и близки по составу к внутриплитным базальтам типа OIB. В то же время они характеризуются положительными аномалиями Ba (для некоторых пород - Sr), резкими минимумами Nb, Ta и Ti, менее выраженными минимумами Rb и Th, а также слабой обогащенностью тяжелыми редкими землями ($7 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 17$), что является признаком флюидонасыщенных магм, образующихся в надсубдукционных условиях. В отличие от магматических ассоциаций других сегментов АСРО, в

Минусинской котловине отсутствуют высокотитанистые (более 2 мас. % TiO_2) базиты, геохимическая их неоднородность выражена менее ярко. Изотопные составы Sr и Nd для этих базитов отклоняются от мантийного ряда в сторону составов с повышенными содержаниями радиогенного стронция. Характер зависимостей между редкими несовместимыми элементами свидетельствует о ведущей роли кристаллизационной дифференциации при формировании пород с содержанием SiO_2 от 53 до 77 мас. %.

Предложена модель формирования первичных расплавов Минусинской котловины при одновременном участии источников магматизма двух типов: плюмовых и водонасыщенных надсубдукционных, располагающихся под активной континентальной окраиной. Установлено, что вулканы Минусинской котловины обладают рядом особенностей. Главными из них являются отсутствие высокотитанистых (более 2 мас. % TiO_2) базитов, слабые геохимические различия в породах по площади котловины и близкие изотопные составы Sr и Nd для пород из разных сегментов котловины, удаленных друг от друга на значительные (десятки и сотни км) расстояния. Подобные особенности состава базитов, характеризующих материнские источники, объяснимы тем, что Минусинская котловина не принадлежит ни к одной из ветвей тройного соединения, удалена от него на значительное расстояние (от 300 до 500 км) и, следовательно, состав первичных магм под ней в минимальной степени зависит от влияния “головы” мантийного плюма на формирование источников первичных расплавов. Этот же фактор является причиной нетипичного для рифтогенных структур площадного прогибания литосферы в условиях регионального ее растяжения. По своим изотопно-геохимическим характеристикам базиты близки к тем первичным расплавам, которые образуются в водонасыщенной надсубдукционной мантии, предварительно обогащенной редкими литофильными элементами. Заражение радиогенным Sr базальтов является результатом ассимиляции

материнскими расплавами древних карбонатсодержащих осадков, проникших в область магмообразования в ходе субдукции.

Вулканиды с содержанием кремнезема более 53 мас. %, вероятно, были образованы при комбинации процессов ассимиляции расплавами вещества коры и кристаллизационной дифференциации магм основного состава, что доказывается трендами распределения некогерентных редких элементов в разных типах пород ассоциаций.

Приведена характеристика магматизма Удинского сектора Западно-Забайкальской рифтовой области (ЗЗРО). В нем выделяется 7 этапов раннемезозойского-кайнозойского вулканизма в интервале 174-51 млн лет. На рубеже около 135 млн лет происходят наиболее значимые изменения в характере вулканизма: резкое уменьшение объемов вулканических пород, переход от дифференцированных ассоциаций к базальтоидным с исчезновением вулканидов с содержанием SiO_2 более 54 мас. %, появление в ассоциациях щелочных базальтоидов наряду с субщелочными и затем увеличение их доли к поздним этапам. Геохимические особенности вулканидов Удинского сектора обусловлены участием в их образовании мантийного источника, близкого по составу к источнику с параметрами OIB и обеспечившего высокие концентрации некогерентных элементов в магматических продуктах. Изотопные характеристики пород свидетельствуют о соответствии этого источника мантии с варьирующими характеристиками между EMII и PREMA при усилении роли последнего во времени. В базальтоидах начальных этапов отмечается дефицит Ti, Nb, Ta, что объясняется участием в магмообразовании водонасыщенной литосферной мантии. Основные особенности составов вулканидов Удинского сектора и закономерности их изменчивости во времени соответствуют таковым для ЗЗРО, а также для других позднемезозойских-кайнозойских рифтовых областей Центральной Азии. Это позволяет предполагать для них одинаковые геодинамические условия формирования и развитие процессов рифтогенеза в результате воздействия на литосферу региона длительно

развивающегося мантийного плюма. Магматизм Удинского сектора, как и всей ЗЗРО резко отличается от магматических процессов, протекавших на конвергентных границах Монголо-Охотского пояса, продукты которых представлены дифференцированными магматическими ассоциациями с геохимическими характеристиками, типичными для пород надсубдукционных зон.

Раздел 3. Выявление роли мантийных и коровых процессов на генезис ультрабазитов и связанных с ними Pt-Cu-Ni месторождений в пределах Алхадырского, Канского террейнов и Шарыжалгайского выступа в юго-западном обрамлении Сибирского кратона

В 2016 г. планировалось изучение геохимии, петрологии и рудоносности основных-ультраосновных массивов центральной части Восточного Саяна (Медвежий Лог, Нерсинский).

Проблема выделения индикаторных комплексов при палеореконструкциях на протяжении многих лет вызывает пристальный интерес исследователей. В этом плане производные пикритовых и пикробазальтовых магм являются одними из показательных образований, на примере которых можно проследить эволюцию развития крупных регионов, проводить геодинамические построения. И особо важным моментом является то, что с этими комплексами могут быть связаны месторождения медно-никелевых и платиновых руд.

В Западном Прибайкалье ультрабазитовые массивы локализованы в структурах выступа фундамента Сибирского кратона и прослеживаются в виде серий интрузий, ориентированных в северо-восточном направлении. Ширина выходов на поверхность тел ультрабазитов составляет 50-200 м, при протяженности до 2 км. На Онгуренском участке наблюдаются несколько линзообразных крутопадающих тел ультрабазитов, секущих гранитоиды приморского комплекса. В отличие от ранее изученных массивов Улан-Хан и Зундук, интрузии на Онгуренском участке гипабиссальные, недифференцированные и сложены порфировидными пикритами. Порфиновые вкрапленники сложены главным образом оливином, основная масса сильно преобразована вторичными процессами и чаще всего представляет собой серпентин-хлоритовый агрегат. Агрегаты сульфидов пентландит-пирротинового состава образуют редкую вкрапленность.

По петрографическим характеристикам ультрабазиты Онгуренского участка наиболее близки к породам Морянского массива. Для них характерен высокий уровень содержаний MgO (28-35 мас. %), при этом концентрации Ni

и Sr изменяются в достаточно узком диапазоне (1200-1400 и 2000-4000 г/т, соответственно). Наблюдаемые различия в петрографическом и петрохимическом составе ультрабазитов Западного Прибайкалья обусловлены, по-видимому, глубиной становления интрузий и, вследствие этого, разной степенью дифференциации исходной магмы. Но в целом, как нам представляется, все ультраосновные массивы данного региона можно объединить в единый магматический комплекс. В пользу этого предположения свидетельствует также однотипное распределение редкоземельных элементов, со значительным обогащением лёгкими РЗЭ по отношению к тяжёлым - $(Ce/Yb)_N = 2.6-5.8$ и средним - $(La/Nd)_N = 1,7-4$.

Состав породообразующих минералов, высокая магнезиальность пород свидетельствуют о том, что родоначальная магма для ультрабазитовых массивов Западного Прибайкалья имела ультраосновной (пикритовый) состав. Повышенные содержания лёгких и средних редкоземельных элементов и ряда крупноионных литофильных элементов вероятно связаны с частичной контаминацией исходной магмы коровым материалом.

В тектоническом строении Хамсаринской коллизионной зоны участвует Ашкасокский прогиб, который является составной частью крупной рифтогенной структуры, заложившейся в раннем протерозое как проторифтовый прогиб и продолжавший унаследовано развиваться до верхнего рифея. Внутреннее строение прогиба характеризуется развитием куполовидных складчатых структур и линейно-овальных в плане синклиналей. Развита интенсивные разрывные дислокации. Ашкасокский прогиб сложен биотит-амфиболовыми гнейсами, амфиболитами, гранат-двуслюдянными сланцами, мраморами, кальцифирами магдасской серии нижнего протерозоя и графит-слюдито-кварцевыми сланцами, кварцитами, известняками, туфогенными породами демирлыгской свиты и тагулдинской серии рифея. Широко представлены ультрабазит-базитовые образования раннепротерозойских ханского и чатырлыгского комплексов и кембрийских шиндинского, хойтоокинского и казырского комплексов, нередко в виде

довольно крупных дифференцированных массивов (Ханский, Чело-Монго и др.).

Крупный Ханский габбронорит-пироксенит-лерцолитовый массив площадью около 180 км² находится в междуречье правых притоков р. Уды, Хана и Кастормы. Он залегает среди вулканогенно-осадочной хангорокской толщи, имеет по отношению к ней рвущие контакты и содержит многочисленные ксенолиты вмещающих пород. Массив сложен, в основном, слабодифференцированными габброидами с линзами и прослоями пироксенитов, а также лерцолитами, которые присутствуют в виде крупных ксенолитов или блоков, размер которых составляет 1-2 км². Габброиды являются по отношению к лерцолитам более поздними образованиями.

Лерцолиты состоят из оливина (30-50 %), авгита (до 20 %) и бронзита (15 %), вторичные минералы – амфибол, хлорит, карбонаты и серпентин. Акцессорные минералы представлены хромшпинелидом и хроммагнетитом, которые замещаются магнетитом. В них постоянно присутствует мелкая сульфидная вкрапленность и редкие сульфидные агрегаты, размер которых достигает 1-1,5 мм. Пирротин и пентландит находятся почти в равных количествах, халькопирит очень редок.

Химический состав лерцолитов отличается высокой магниальностью, низкими концентрациями Ti, Ca и Al. Содержание Ni колеблется в пределах 0,15-0,3 %.

Кривые распределения редкоземельных элементов в лерцолитах в целом пологие ($La_N/Yb_N \sim 1$), уровень содержания близок к хондритовому.

Внутри толщи амфиболитов хангорокской серии присутствуют пласты сагвандитов, содержание Ni в которых превышает таковое лерцолитов Ханского массива.

Кроме того, среди амфиболитов встречаются довольно мощные горизонты вкрапленных колчеданных руд, иногда с повышенной золотоносностью. Показана потенциальная рудоносность (Ni, Cu, платиноиды) лерцолитов и золотоносность амфиболитов.

Базит-ультрабазитовые интрузии встречаются в различных тектонических обстановках и их петрогенезис предоставляет важную информацию для понимания процессов эволюции земной коры. Так, ультраосновные реститовые массивы и расслоенные габброидные интрузии являются составной частью офиолитовых комплексов, образование дунит-пироксенит-габбровых интрузий урало-аляскинского типа связывается с островодужным магматизмом и т. д. Поэтому определение природы базит-ультрабазитовых комплексов, понимание их генезиса и тектонического положения является одним из условий построения региональных геодинамических моделей.

В центральной части Восточного Саяна широко развиты базит-ультрабазитовые интрузии различной формационной принадлежности. Наиболее часто встречаются массивы дунит-перидотит-габбровой и дунит-гарцбургитовой (реститовой) формации. Массив Медвежий Лог относится к первому типу формаций, массивы которой являются потенциально рудоносными. Он сложен дунитами, верлитами и плагиоверлитами. Переходы между петрографическими разностями пород постепенные, преимущественным распространением пользуются верлиты. Все породы в различной степени изменены с образованием серпентина, амфибола и хлорита. Структура пород средне- и крупнозернистая, реликтовые первичные микроструктуры – кумулятивные, гипидиоморфнозернистые. В плагиоверлитах часто на границах зерен оливина и плагиоклаза, а также оливина и клинопироксена образуются реакционные каймы зонального состава. Редкая сульфидная вкрапленность, обнаруженная в верлитах, представлена пирротин-пентландитовыми и, реже, пирротин-халькопиритовыми агрегатами.

Оливин является главным пороодообразующим минералом, он образует идиоморфные и гипидиоморфные зерна, размером 3-5 мм. Состав оливина варьирует от Fo_{92} в дунитах до Fo_{86} в плагиоверлитах. При этом содержания NiO в оливинах уменьшаются с 0.5 до 0.3 мас. %, а MnO растут от 0.1 до 0.24

мас. %. Клинопироксен присутствует в виде ксеноморфных и пойкилитовых зерен. По составу он соответствует субкальциевому авгиту или хромдиопсиду с содержаниями TiO_2 – 0.1-0.6 мас. %, Al_2O_3 – 0.5-6.0 мас. %, Cr_2O_3 – 0.7-1.7 мас. %. Ортопироксен достаточно редкий минерал. Чаще всего он встречается в реакционных каймах вокруг оливина в плагиоверлитах. Плагиоклаз в плагиоверлитах ксеноморфный, выполняет интерстиции среди зерен оливина и клинопироксена и меняет состав от битовнита (An_{80}) до лабрадора (An_{62}). Хромшпинелиды – хромпикотиты, содержания TiO_2 в них невысокие (до 0.36 мас. %), при близкой величине коэффициента хромистости ($Cr\#$ - 50-52 %) для хромшпинелидов плагиоверлитов характерна более низкая магнезиальность. Магнезиальная роговая обманка в верлитах присутствует в виде включений в хромшпинелидах, иногда совместно с энстатитом, роговая обманка и тремолит замещают клинопироксен. В плагиоперидотитах кроме того амфибол обнаружен в реакционных каймах.

Породы массива характеризуются значительными вариациями содержаний главных петрогенных компонентов: SiO_2 – 38-45 мас. %, MgO – 30-50 мас. %, Al_2O_3 – 0.7-8 мас. %, CaO – 0.05-8 мас. %, им присущи низкие содержания TiO_2 – 0.03-0,4 мас. % и $Na_2O+K_2O < 1$ мас. %. Содержания Ni не превышают 3500 г/т, вариации которого в породах обусловлены, главным образом, вхождением никеля в силикаты (прежде всего в оливин). Несмотря на то, что содержания меди в породах невысокие (50-200 г/т), прослеживается четкая тенденция их увеличения от дунитов к плагиоперидотитам.

Кривые распределения редкоземельных элементов во всех типах пород пологие, без экстремумов. Содержания в дунитах ниже или близки таковым в хондрите, в перидотитах и плагиоперидотитах в 2-10 раз выше, чем в хондрите.

Установленные закономерности распределения петрогенных, редких и редкоземельных элементов в породах массива Медвежий Лог

свидетельствуют о том, что их образование происходило, главным образом, в результате фракционирования оливина. Расчет состава «законсервированного» внутри хромшпинелидов расплава и модельные расчеты расплава по составу наиболее магнезиального оливина (Fo_{92}) показали, что содержание MgO в расплаве варьировало в диапазоне от 20 до 15 %. Это согласуется с данными, полученными ранее для Тартайского [Подлипский и др., 2015] и Медекского массивов [Бенедюк и др., 2015].

Таким образом, установлено, что состав исходного расплава для пород массива Медвежий Лог был близок к пикритовому. Наблюдаемое сходство в минералого-геохимических характеристиках рудоносных Тартайского и Медекского массивов и пород массива Медвежий Лог позволяет рассматривать его в качестве перспективного для обнаружения Ni-Cu оруденения.

Раздел 4. Исследование процессов плавления и миграции расплавов в надсубдукционных зонах на основе геохимических особенностей офиолитовых комплексов складчатого обрамления Сибирского кратона

В 2016 г. планировалось изучение особенности микроструктур, состава минералов и пород (расслоенный комплекс, вулканиты) офиолитовой ассоциации обрамления Гарганской глыбы (Восточный Саян).

Проведено минералого-геохимическое изучение гипербазитов Улан-Сарьдагского, Хара-Нурского и Оспинского массивов Восточного Саяна, впервые описанных как офиолитовые комплексы Н.Л. Добрецовым с соавторами [Добрецов и др., 1985]. Предполагается, что офиолиты формировались в Дунжугурской островной дуге 1020-1040 млн лет назад и в виде единого покрова были обдуцированы на Гарганскую глыбу во время столкновения островной дуги и микроконтинента [Кузьмичев, 2004; Khain et al., 2002]. В настоящее время массивы сложены несколькими тектоническими чешуями и находятся в опрокинутом залегании. Породы автохтона – карбонатно-терригенные отложения иркутной и ильчирской свит метаморфизованы в зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. Офиолиты прорываются или окружены тоналитами сумсунурского комплекса с возрастом 790 млн лет [Кузьмичев, 2004]. Петрографические особенности пород и состав минералов исследованы на рентгеновском микроанализаторе Superprobe JXA-8200, содержания главных и редких элементов в породах определены методами рентгенофлуоресцентного и масс-спектрометрического анализа с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS).

Мантийная секция офиолитов в настоящее время представлена серпентинитами и метаперидотитами. В Хара-Нурском и Оспинском массивах, кроме того, сохраняются блоки гарцбургитов без признаков корового метаморфизма и со следами взаимодействия с расплавами в условиях мантии.

В серпентинитах Оспинского и Хара-Нурского массивов присутствуют участки полиминеральной ассоциации: клинопироксен + оливин + серпентин ± карбонаты ± брусит ± хроммагнетит, имеющие форму зерен пироксена, и области развития тонковолокнистых серпентина и талька, которые замещают оливин. Метаперидотиты Улан-Сарьдагского и Оспинского массивов сложены оливином с включениями «перьев» серпентина и, часто, мелких зерен Cr-магнетита. Кроме того, в породах присутствуют участки развития талька, серпентина, тремолита и эденита, похожие на псевдоморфозы по пироксену.

Оливины в пределах образца характеризуются широкими вариациями магнезиальности и содержаний NiO, MnO и не соответствует составу реститовых мантийных оливинов. Пироксены имеют высокую магнезиальность и низкие содержания Al₂O₃, Cr₂O₃, Na₂O. Петрографические особенности и составы оливина и пироксенов говорят об их метаморфической природе. По данным порошкового дифракционного анализа серпентин представлен антигоритом, в некоторых образцах с примесью лизардита. Тремолиты имеют низкое содержание Na₂O, характерное для тремолитов проградного метаморфизма [Nozaka, 2005]. В эденитах концентрации Al₂O₃ варьируют и максимальны в метаперидотитах Оспинского массива.

Шпинели серпентинитов и метаперидотитов Улан-Сарьдагского массива имеют метаморфическую зональность: ядра Al-Cr шпинели окружены каймой ферритхромита и затем Cr-магнетита. Ядра наиболее крупных зерен неоднородны по составу, от центра к краю в них наблюдается уменьшение магнезиальности и рост хромистости и содержаний MnO, ZnO. По сравнению с ядром, ферритхромитовые каймы характеризуются еще более низкой магнезиальностью, высокими хромистостью и содержанием Fe³⁺, MnO, TiO₂, V₂O₃, NiO. В метаперидотитах Улан-Сарьдагского массива шпинель обрастает симплектитовым проращением с хлоритом. Шпинели метаперидотитов Оспинского массива характеризуются высокой

хромистостью (0.67-0.87) и повышенным содержанием $MnO \sim 0.5-0.6$ вес.%. По периферии зерен присутствуют блоки более высокохромистой и низкомагнезиальной шпинели с низким содержанием Fe^{3+} . Хроммагнетитовые оторочки обычно образуются при серпентинизации, а феррит-хромит появляется при более высокотемпературном метаморфизме. Появление зон разного состава (алюмошпинель – феррит-хромит) в шпинелях возможно в результате несмесимости этих фаз в интервале температур $\sim 600-500$ °C [Sack and Ghiorso, 1991]. Увеличение хромистости без роста Fe_2O_3 характерно для верхних температур амфиболитовой фации метаморфизма [Müntener et al., 2000]. При метаморфизме шпинелей гипербазитов от зеленосланцевой до среднеамфиболитовой фации состав двухвалентных катионов – Mn, Zn, Fe, Mg изменяется быстрее, чем трехвалентных – Al, Cr, и ядра сохраняют первичную хромистость. При более высоких температурах амфиболитовой фации шпинели редко сохраняют первичную хромистость [Santti et al., 2006]. Состав шпинели и ассоциирующих минералов в серпентинитах Хара-Нурского и Оспинского массивов соответствует метаморфизму зеленосланцевой – эпидот-амфиболитовой, в метаперидотитах Улан-Сарьдагского массива – нижним T амфиболитовой, а в метаперидотитах Оспинского массива – верхним T амфиболитовой фаций. Петрографические наблюдения и составы тремолитов согласуются с проградным типом метаморфизма серпентинитов и их трансформацией в метаперидотиты.

Гарцбургиты Хара-Нурского и Оспинского массивов имеют порфиробластовые структуры. В крупных зернах ортопироксена присутствуют клинопироксеновые структуры распада. Присутствие в породах крупных и мелких зерен ортопироксена, реликтов оливина в крупных ортопироксенах, прожилков ортопироксена мощностью в первые сантиметры, а также уменьшение содержания Al_2O_3 и Cr_2O_3 от центра к краю крупных зерен и к мелким зернам Орх – все это свидетельствует о взаимодействии пород с расплавами. Оливин и ортопироксен имеют составы,

характерные для реститовых мантийных перидотитов. Шпинели гарцбургитов не имеют метаморфической зональности, по соотношению хромистости и магнезиальности, низким концентрациям ZnO и MnO они подобны шпинелям альпинотипных перидотитов.

Во всех массивах первичная хромистость шпинели варьирует от 0.52 до 0.65, что соответствует реститам ~ 25-30% плавления ДМ (деплетированная мантия- источник N-MORB). Высокая степень истощенности пород отражается и в низких концентрациях Ti и Yb. Перидотиты имеют кривые распределения редких элементов, характерные для надсубдукционных перидотитов: U-образные формы, максимумы Sr и Pb, обедненность HREE и обогащенность элементами группы LIL. Они могут быть комплементарны бонинитам, которые присутствуют в Дунжугурском офиолитовом комплексе [Добрецов и др., 1985; Кузьмичев, 2004].

Таким образом, мантийные гипербазиты офиолитов обрамления Гарганской глыбы сформировались в результате следующих процессов: 1) частичное плавление в надсубдукционной зоне; 2) низкотемпературная серпентинизация при контакте с морской водой; 3) проградный метаморфизм до амфиболитовой фации, по-видимому, во время обдукции гипербазитов на Гарганскую глыбу; 4) повторная серпентинизация и формирование тальк-карбонатных пород по периферии массивов под влиянием тоналитов сумсунурского комплекса.

Изучен состав минералов и пород кумулятивного комплекса офиолитов Восточного Саяна, обрамляющих раннедокембрийскую Гарганскую глыбу Тувино-Монгольского микроконтинента (Центрально-Азиатский складчатый пояс). Возраст плагиогранитов из офиолитов составляет 1020 млн лет [Khain et al., 2002], возраст прорывающих офиолиты тоналитов сумсунурского комплекса – 790 млн лет [Кузьмичев, 2004]. Офиолиты Восточного Саяна содержат все члены офиолитовой последовательности – мантийные перидотиты, основные-ультраосновные кумуляты, комплекс параллельных даек, лавы. Присутствие вулканитов и даек бонинитовой серии указывает на

формирование офиолитовых комплексов в обстановке юной островной дуги [Добрецов и др., 1985].

Кумуляты представлены серией от перидотитов (гарцбургитов, верлитов) до пироксенитов (вебстеритов, ортопироксенитов) и габбро-норитов. Вследствие метаморфизма эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фации из магматических минералов сохранились клинопироксен и Cr-шпинель; оливин, ортопироксен и клинопироксен замещены вторичными минералами. Установлен порядок кристаллизации минералов Ol (Cr-Sp) – Орх – Срх – Pl. Поздняя кристаллизация плагиоклаза характерна для островодужных водосодержащих магм.

Изученные кумуляты обладают широкими вариациями MgO (9-42%) и низкими содержаниями TiO₂ (< 0.15%). Редкоэлементные спектры пород показывают минимумы Nb, Zr, Hf, Ti, свойственные островодужным породам. Спектры REE показывают различные картины от обеднения LREE или плоского спектра до обогащения LREE или U-образного распределения LREE.

Изучена Nd-Sr систематика кумулятов Оспинского и Ильчирского массивов. Rb-Sr изотопная система нарушена в большинстве изученных образцов в результате метаморфизма. Полученные данные согласуются с Nd-изотопной систематикой лав и даек преимущественно андезитового и бонинитового состава, а также габбро Дунжугурского массива, которые обладают $\epsilon\text{Nd}(1020)$ в интервале -1.0...+2.8 [Скляр и др., 2016].

Современные модели предполагают формирование ряда супрасубдукционных офиолитов при зарождении зон субдукции и последовательной эволюции магматизма от островодужных толеитов (или преддуговых базальтов, FAB) к бонинитам. В дальнейшем эти зоны становятся преддуговыми областями (как преддуговая область Идзу-Бонин-Марианской дуги), а при закрытии океанических бассейнов включаются в состав складчатых поясов в виде офиолитов с эволюцией магматизма от IAT к бонинитам [Dilek, Thy, 2009]. В офиолитах Восточного Саяна вероятно

зафиксирован подобный процесс смены IAT и IAT-кумулятов бонинитами и бонинитовыми кумулятами по мере прогрессивного частичного плавления мантийного клина и участия все более обогащенных субдукционных компонентов (в том числе расплавов осадков) на ранних стадиях развития островодужной системы.

Раздел 5. Исследование петрогенеза кимберлитов Якутской провинции – минералогическое, петрохимическое и изотопно-геохимическое обоснование роли астеносферно-литосферного взаимодействия при становлении кимберлитовых пород. Уточнение эпох кимберлитового вулканизма

В 2016 г. планировалось проведение исследования по корреляции кимберлитового и базитового вулканизма в пределах Якутской кимберлитовой провинции.

В 2013-2015 гг изучался минералогический, химический, микроэлементный и Sr-Nd изотопный состав кимберлитов Куойкского поля, являющегося одним из самых насыщенных трубками полей в Якутской провинции. Здесь известно 99 кимберлитовых тел, в том числе 62 трубки и 27 даек. Кимберлиты Куойкского поля представлены типичными для Якутской провинции структурно-текстурными разновидностями – кимберлитовыми брекчиями и порфиоровыми кимберлитами с массивной текстурой (в отличие от южных алмазоносных полей последние доминируют).

На основе минералогической паспортизации кимберлитовых тел Куойкского поля были получены следующие выводы: 1) Распределения составов пикроильменита из разных трубок, принадлежащих разным кустам, демонстрируют на графиках $MgO-Cr_2O_3$ определенную индивидуальность, что позволит использовать их при поисковых работах для расшифровки коренного источника ильменита из вторичных ореолов рассеяния. 2) Данные по составам граната и шпинелидов (отсутствие минералов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса) указывают на бесперспективность дальнейших поисков промышленно алмазоносных трубок. 3) Изучение состава оливина из макрокристов и основной массы кимберлитов, их сравнение с составом оливина из мантийных ксенолитов показало, что если в кимберлитовых брекчиях оливин имеет ксеногенное происхождение, то в массивных разновидностях кимберлита часть оливина, как макрокристового, так и из основной массы, является фенокристовыми образованиями (кристаллизовалась из кимберлитового расплава).

Кимберлиты Куойкского поля характеризуются широкими вариациями химического состава. В пределах этого поля получили распространение петрохимические типы, встречаемые как в южных алмазоносных полях, так и в северных. Жильные и дайковые тела выполнены преимущественно высоко-Fe и высоко-Ti кимберлитами. Когерентные элементы (например, Ni, Co) значимо корреляционно связаны с силикатной составляющей, то большинство некогерентных элементов (в частности, Sr, REE, U, Th, Sc) тесно связаны с карбонатной компонентой. CaO+CO₂, MnO, P₂O₅ образуют парагенетически связанную группу оксидов, с которой связан перенос большинства некогерентных элементов. Еще одна группа оксидов (FeO_{total}, TiO₂ и, возможно, +K₂O) генетически связана с такими микроэлементами, как V, Sc, Zr, Nb, Cu, Zn. Спайдерграмма распределения редких элементов, построенная для кимберлитов Куойкского поля, показывает, что поля составов для относительно магнезиальных кимберлитов совпадает с полем распределения редких элементов, характерным для алмазоносных кимберлитов из южных полей Якутской провинции. Спайдерграмма для кимберлитов, с повышенным содержанием FeO_{total}, TiO₂ и K₂O (4-й и 5-й петрохимические типы) характеризуется в целом более высоким уровнем содержания некогерентных элементов. Общее снижение уровня содержания некогерентных элементов для магнезиальных кимберлитов связано с увеличением в этих кимберлитах относительного объема силикатной компоненты и связанным с этим падением содержания карбоната – одного из основных минералоносителей некогерентных элементов.

Особенностью распределения как редких несовместимых элементов, так и изотопных составов Sr, Nd и Hf для кимберлитов из Куойкского поля и алмазоносных кимберлитов южных полей Якутской провинции является их практически полное сходство. Это тем более удивительно, поскольку изученные кимберлитовые тела разных полей были сформированы в разные эпохи активности кимберлитового вулканизма – девон-карбон (южные поля) и юра-мел (Куойкское поле). Сходство изотопно-геохимической систематики

для кимберлитов на значительной территории Якутской провинции (от месторождения Мир до Куойкского поля около 1000 км) свидетельствует о высокой степени однородности астеносферного источника под Сибирским кратоном, существовавшей значительное время.

В 2016 г. проведено обобщение исследований по теме: «Корреляция кимберлитового и базитового вулканизма». Были использованы собственные и, в основном, литературные данные. Якутская кимберлитовая провинция представлена четырьмя этапами кимберлитового вулканизма: 1) 429-408 Ma; 2) 369-344 Ma; 3) 228-217 Ma; 4) 175-147 Ma (Sun et al., 2014). Для 1-го и 4-го этапов в пределах Сибирского кратона проявления базитового вулканизма с близким возрастом активности не были установлены. Четкая временная и пространственная связь устанавливается между кимберлитами 2-го этапа и верхнедевонскими щелочными базитами (360-370 Ma). Базальты среднепалеозойского возраста в значительной своей части контролируются [Масайтис, 1965; Олейников, 1979; Брахфогель, 1984] Виллойско-Мархинской зоной разломов. Характерно, что разломы данной зоны, явившиеся подводными каналами для трапповых интрузий, контролируют также [Харькив и др., 1998; Томшин и др., 1998, 2004; Зинчук и др., 2004; Матросов, 2007] кимберлитовый магматизм Мирнинского и Накынского полей. О временных взаимоотношениях кимберлитов и базитов свидетельствуют частые находки ксенолитов базитов в кимберлитовых трубках Мир, Интернациональная, Нюрбинская, непосредственный прорыв трубкой Мир долеритового силла на глубине 500-600 метров [Томшин и др., 1998; Костровицкий и др., 2015]. Среднепалеозойский базитовый магматизм опережал кимберлитовый, вероятно, не более, чем на 10-15 млн.лет. Становление кимберлитов 3-го этапа активности (228-217 Ma) произошло после катастрофического вторжения траппов (250 Ma), спустя примерно 25 Ma. Этот относительно длительный промежуток времени, по-видимому, нельзя считать корректным для заключения о существовании генетической связи между кимберлитами и базитами. тем более, что проявления кимберлитового и базитового вулканизма соответствующих эпох внедрения

пространственно разобщены. В целом, можно заключить, что ни один из 4-х этапов кимберлитового вулканизма Сибирского кратона не сопровождался трапповым магматизмом.

Проведено сопоставление U-Pb возрастов ксеногенных цирконов из кимберлитовых трубок Куойкского (северо-восток Сибирской платформы) и Ары-Мастахского (восточный склон Анабарского щита) полей Якутской кимберлитовой провинции с возрастными террейнами, в пределах которых находятся данные поля. Цирконы из кимберлитов Куойкского поля имеют в основном раннепротерозойский возраст, соответствующий возрасту вмещающего их Биректинского террейна. Палеозой-позднепротерозойский возраст значительной части цирконов из трубок Куойкского поля отражает высокий уровень магматической активности базитового и щелочно-карбонатитового магматизма на севере Сибирской платформы в это время. Цирконы из трубок Ары-Мастахского поля, расположенного в пределах Хапчанского террейна, характеризуются как раннепротерозойскими, так и архейскими возрастными. Максимальное значение полученных возрастов для Хапчанского террейна 3734 Ma. Таким образом, выделение Хапчанского террейна, охватывающего восточный склон Анабарского щита, как раннепротерозойского, настоящими исследованиями ставится под сомнение. Предполагается, что Анабарский щит представляет собой единый архейский террейн, а его блоковая структура вероятно является результатом вертикального вздымания, неодинакового по амплитуде в разных частях щита. Более существенная амплитуда подъема западного (Маганского) и центрального (Далдынского) блоков привела к эрозии и денудации не только палеозойских, но и протерозойских пород.

Полученные результаты предполагают, что широко используемая террейновая модель структуры Сибирского кратона требует определенной доработки с привлечением более представительных возрастных данных. К настоящему моменту рекомендуется ограничиться выделением крупных провинций.

Основные результаты проведённого исследования

Щелочные породы, встреченные в пермотриасовом вулканогенно-осадочном комплексе Западно-Сибирской плиты не имеют аналогов среди пермотриасовых вулканитов Западно-Сибирской плиты. По своим геохимическим характеристикам они близки к фонолитам Восточно-Африканского рифта, тефритам Хилокско-Ингодинской впадины (Западное Забайкалье) и фонолитам банки Горриндж [Кузьмин, 1985; Чернышева, Матвеевков, Медведев, 2012].

Получены первые данные о содержании ЭПГ в пермотриасовых вулканитах Западной Сибири. Определено, что в большинстве исследованных пород изученные элементы находятся на кларковом уровне. Предположено, что повышенные концентрации суммы ЭПГ, платины и палладия связаны с воздействием вещества плюма. Магматический тренд распределения ЭПГ подтверждает сделанный ранее вывод о мантийном происхождении изученных пород [Медведев и др., 2003].

На основе полученных геохимических данных по распределению ЭПГ в базальтоидах, связанных с пермотриасовым Сибирским плюмом, показано, что для раннего рифтового этапа в центральной части Сибирской LIP характерны низкие содержания ЭПГ, тогда как для пикритов и толеитовых базальтов покровных фаций высокие их концентрации. Высокими содержаниями платиноидов в магмах в области головы плюма обусловлена высокая продуктивность сопряженного с траппами ультрамафит-мафитового магматизма.

Ar-Ar методом установлен каменноугольный возраст вулканитов. На основе детального седиментологического, петрологического и геохимического изучения разрезов реконструированы палеогеографические и палеогеодинамические обстановки формирования каменноугольных отложений. Геохимические особенности состава вулканитов и их петрология, а также седиментационные обстановки формирования ранне-, среднекаменноугольных отложений свидетельствуют в целом о

принадлежности изученного вулканогенно-осадочного комплекса к активной континентальной окраине андийского типа (западная окраина Казахского палеоконтинента).

В Удинском секторе Западно-Забайкальской рифтовой области (ЗЗРО) выделяется 7 этапов раннемезозойского-кайнозойского вулканизма в интервале 174-51 млн лет. На рубеже около 135 млн лет происходят наиболее значимые изменения в характере вулканизма: резкое уменьшение объемов вулканических пород, переход от дифференцированных ассоциаций к базальтоидным с исчезновением вулканитов с содержанием SiO_2 более 54 мас. %, появление в ассоциациях щелочных базальтоидов наряду с субщелочными и затем увеличение их доли к поздним этапам.

В 2013-2016 годах проводилось минералого-геохимическое изучение базит-ультрабазитовых массивов как в выступе фундамента Сибирского кратона (Приморский хребет, массивы Улан-Хан и Онгурены), так и в складчатом обрамлении (Хамсаринский террейн (Ханский массив) и Алхадырский террейн (массивы Медвежий Лог и Нерсинский)). Установлено, что все массивы, кроме Нерсинского, имеют магматическую природу и были образованы в результате дифференциации высокомагнезиальной пикритовой магмы. Характерные для массивов Приморского хребта повышенные содержания лёгких и средних редкоземельных элементов и ряда крупноионных литофильных элементов, вероятно, связаны с частичной контаминацией исходной магмы коровым материалом. Наблюдаемое сходство в минералого-геохимических характеристиках рудоносных Тартайского и Медекского массивов и пород массива Медвежий Лог позволяет рассматривать его в качестве перспективного для обнаружения Ni-Cu оруденения. Массив Нерсинский относится к дунит-гарцбургитовой формации реститового типа и не является рудоносным.

Мантийные гипербазиты офиолитов обрамления Гарганской глыбы (Восточный Саян) сформировались в результате следующих процессов: 1)

20-35% частичное плавление ДММ в надсубдукционной зоне; 2) низкотемпературная серпентинизация образовавшихся реститов при контакте с морской водой; 3) проградный метаморфизм до амфиболитовой фации, по-видимому, во время обдукции гипербазитов на Гарганскую глыбу; 4) повторная серпентинизация и формирование тальк-карбонатных пород по периферии массивов под влиянием тоналитов сумсунурского комплекса. Ультраосновные-основные кумуляты офиолитов могли кристаллизоваться из IAT и бонинитоподобных расплавов, о чем свидетельствуют порядок кристаллизации минералов, их состав, геохимические характеристики пород и их Nd-Sr систематика.

На основе минералогической паспортизации кимберлитовых тел Куойкского поля были получены следующие выводы: 1) Распределения составов пикроильменита из разных трубок, принадлежащих разным кустам, демонстрируют на графиках MgO-Cr₂O₃ определенную индивидуальность, что позволит использовать их при поисковых работах для расшифровки коренного источника ильменита из вторичных ореолов рассеяния. 2) Данные по составам граната и шпинелидов (отсутствие минералов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса) указывают на бесперспективность дальнейших поисков промышленно алмазоносных трубок. 3) Изучение состава оливина из макрокристов и основной массы кимберлитов, их сравнение с составом оливина из мантийных ксенолитов показало, что если в кимберлитовых брекчиях оливин имеет ксеногенное происхождение, то в массивных разновидностях кимберлита часть оливина, как макрокристового, так и из основной массы, является фенокристными образованиями (кристаллизовалась из кимберлитового расплава).

Выделяется 4 этапа кимберлитового вулканизма: 1) 429-408 Ma; 2) 369-344; 3) 228-217 Ma; 4) 175-147 Ma (Sun et al., 2014). Сделано заключение о том, что ни один из 4-х этапов кимберлитового вулканизма Сибирского кратона не сопровождался трапповым магматизмом.

Проведено сопоставление U-Pb возрастов ксеногенных цирконов из кимберлитовых трубок Куойкского (северо-восток Сибирской платформы) и Ары-Мастахского (восточный склон Анабарского щита) полей Якутской кимберлитовой провинции с возрастными террейнов, в пределах которых находятся данные поля. Выделение Хапчанского террейна, как раннепротерозойского, входящего в состав раннепротерозойской Оленекской провинции, настоящими исследованиями ставится под сомнение. Предполагается, что Анабарский щит представляет собой единый архейский террейн, а его блоковая структура, вероятно, является результатом вертикального вздымания, неодинакового по амплитуде в разных частях щита.

Список использованных источников

1. Бенедюк Ю.П., Симонов В.А., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б., Ступаков С.И., Дорошков А.А. Условия формирования ультрабазитов алхадырского террейна по результатам комплексного изучения состава хромшпинелидов // Геология и геофизика, 2015, № 9, с. 1308-1321.
2. Добрецов Н.Л., Конников Э.Г., Медведев В.Н., Скляр Е.В. Офиолиты и олистостромы Восточного Саяна // В кн.: «Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии». Новосибирск: Наука. 1985. С. 34–58.
3. Добрецов Н.Л., Пархоменко Н.И., Скляр Е.В. Особенности геохимии офиолитов южного обрамления Сибирской платформы. В кн.: Микропримеси в гипербазитах. Новосибирск: Ин-т геологии и геофизики, 1985, С. 27-39.
4. Добрецов Н.Л., Борисенко А.С., Изох А.Э., Жмодик С.М. Термохимическая модель пермотриасовых мантийных плюмов Евразии как основа для выявления закономерностей формирования и прогноза медно-никелевых, благородно- и редкометалльных месторождений // Геология и геофизика, 2010, Т. 51 № 9, С. 1159-1187.
5. Дриль С. И., Медведев А. Я., Альмухамедов А. И., Сандимирова Г. П., Елизарова М. В., Ронкин Ю. Л. Sr-Nd изотопная характеристика пермотриасовых вулканитов Западной Сибири // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Иркутск, 2004, вып. 2, Т. 1, С. 126-128. Из-во Института географии СО РАН.
6. Дриль С. И., Медведев А. Я., Кузьмин М. И., Герасимов Н. С., Владимирова Т. А. Sr-Pb изотопная систематика и источники вещества пермотриасовых рифтогенных вулканитов Западной Сибири // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Иркутск, 2012, вып. 10, Т. 1, С. 92-94. Из-во Института географии СО РАН.
7. Костровицкий С.И., Специус З.В., Яковлев Д.А., Фон-дер-Флаасс Г.С., Суворова Л.Ф., Богуш И.Н. (2015) Атлас коренных месторождений алмаза Якутской кимберлитовой провинции. Отв. редактор ак. Н.П. Похиленко. г. Мирный: типография ООО «МГП». 480 с.
8. Кузьмин М. И. Геохимия магматических пород фанерозойских подвижных поясов // Новосибирск: Наука, 1985, 200 с.
9. Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М.: ПРОБЕЛ, 2004, 192 с.
10. Медведев А. Я., Альмухамедов А. И., Рейчов М. К., Сандерс А. Д., Вайт Р. В., Кирда Н. П. Абсолютный возраст базальтов доюрского основания

Западно-Сибирской плиты (по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ данным)// Геология и геофизика, 2003, Т. 44, № 6, С. 617-620.

11. Подлипский М.Ю., **Мехоношин А.С.**, Толстых Н.Д., Вишневский А.В., Поляков Г.В. Минералого-геохимические особенности Тартайского массива, Восточно-Сибирская металлогеническая провинция // Геол. рудн. мест., 2015, Т. 57, № 3, С. 195-220.

12. Склярв Е.В., Ковач В.П., Котов А.Б., и др. Бониниты и офиолиты: проблемы их соотношения и петрогенезиса бонинитов // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 163-180.

13. Томшин М.Д., Фомин А.С., Корнилова В.П., Черный С.Д., Яныгин Ю.Т. Особенности магматических кимберлитовых формаций Накынского поля Якутской провинции. Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 12. С. 1693-1703.

14. Чернышева Е.А., Матвеевков В.В., Медведев А.Я. Два типа щелочных вулканитов в районе юго-западной окраины Иберии: причины разнообразия//Океанология, 2012, Т. 52, № 5, С. 733-743.

15. Dilek Y., Thy P. Island arc tholeiite to boninitic melt evolution of the Cretaceous Kizildag (Turkey) ophiolite: Model for multi-stage early arc-forearc magmatism in Tethyan subduction factories // Lithos. 2009. V. 13. P. 68-87.

16. Khain E.V., Bibikova E.V., Kroner A., Zhuravlev D.Z., Sklyarov E.V., Fedotova A.A., Kravchenko-Berezhnoy I.R. The most ancient ophiolite of the Central Asian fold belt: U-Pb and Pb-Pb zircon ages for the Dunzhugur Complex, Eastern Sayan, Siberia, and geodynamic implications // Earth and Planetary Science Letters. 2002. V. 199. P. 311-325.

17. Mertz D. F., Devey C. W., Todt W., Stoffer P., Hofmann A. W. Sr-Nd-Pb isotope evidence against plum-asthenosphere mixing north of Iceland //Earth and Planet Science Letter, 1991, V. 107, № 2, P. 243-255.

18. Müntener, O., Hermann, J., Trommsdorff, V., Cooling history and exhumation of lower-crustal granulite and upper mantle (Malenco, eastern central Alps) // Journal of Petrology. 2000.V.41. P. 175-200.

19. Nozaka T. Metamorphic history of serpentinite mylonites from the Happo ultramafic complex, central Japan // Journal of Metamorphic Geology. 2005. V. 23. P. 711-723.

20. Sack, R. O., and Ghiorso, M. S. Chromian spinels as petrogenetic indicators: Thermodynamic and petrological applications // American Mineralogist. 1991. V. 76. P. 827-847.

21. Santi J., Kontinen A., Sorjonen-Ward P., Johanson B., Pakkanen L. Metamorphism and chromite in serpentinitized and carbonate-silica-altered

peridotites of the Paleoproterozoic Outokumpu-Jormua ophiolite belt, eastern Finland // International Geology Review. 2006. V. 48. P. 494–546.

22. Sun J., Liu C.-Z., Tappe S., Kostrovitsky S. I., Wu Fu-Yuan, Yakovlev D., Yang Yue-Heng, Yang Jin-Hui. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: insights from *in situ* U-Pb and Sr-Nd perovskite isotope analysis//. Earth and Planetary Science Letters. 2014, V. 404. P. 283–295.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в соответствии с государственным заданием

индикатор	Ед. измерения	Всего за 2013-2016 гг.	2013	2014	2015	2016
Количество публикаций в ведущих российских и международных журналах по результатам исследований, полученных в процессе реализации проекта	единиц	43	14	9	10	10
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science)	единиц	42	14	8	10	10
Число тезисов в конференциях	единиц	84	19	20	25	20
Число охраняемых объектов интеллектуальной собственности: зарегистрированных патентов в России зарегистрированных патентов за рубежом	единиц единиц	0	0	0	0	0

Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в 2016 г.

1. Ernst R.E., Hamilton M.A., Söderlund U., Hanes J.A., Gladkochub D.P., Okrugin A.V., Kolotilina T., Mekhonoshin A.S., Bleeker W., LeCheminant A.N., Buchan K.L., Chamberlain K.R. and Didenko A.N. Long-lived connection between southern Siberia and northern Laurentia in the Proterozoic // *Nature Geoscience*, 2016, V. 9, № 6, p. 464-469.
2. Kostrovitsky S.I., Skuzovatov S.Yu., Yakovlev D.A., Sun J., Nasdala L., Fuyuan Wu. Age of Siberian craton crust beneath the northern kimberlite fields: insights to the craton evolution // *Gondwana Research*, 2016, V. 39, P. 365-385.
3. Pashkova G.V., Aisueva T.S., Finkelshtein A.L., Ivanov E.V., Shchetnikov A.A. Analytical approaches for determination of bromine in sediment core samples by X-ray fluorescence spectrometry // *Talanta*, 2016, V.160, P. 375-380
4. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В., Комарицына Т.Ю. Позднемезозойский-раннекайнозойский рифтогенный магматизм Удинского сектора (Западное Забайкалье)// *Геология и геофизика*, 2016, Т. 57, № 5. С. 920-946.
5. Изох А. Э., Медведев А. Я., Федосеев Г. С., Поляков Г. В., Николаева И. В., Палесский С. В. Распределение элементов платиновой группы в пермотриасовых базальтах Сибирской крупной изверженной провинции// *Геология и геофизика*, 2016, Т. 57, № 5. С. 1028-1042.
6. Колотилина Т.Б., Мехоношин А.С., Орсов Д.А. Распределение элементов платиновой группы в сульфидных рудах ультрабазитовых массивов центральной части Восточного Саяна (юг Сибири, Россия) // *Геология рудных месторождений*, 2016, Т. 58, № 1, С. 23-40.
7. Мехоношин А.С., Эрнст Р., Сёдерлунд У., Гамильтон М., Колотилина Т.Б., Изох А.Э., Поляков Г.В., Толстых Н.Д. Связь платиноносных ультрамафит-мафитовых интрузивов с крупными изверженными провинциями (на примере Сибирского кратона) // *Геология и геофизика*, 2016, Т. 57, № 5. С. 1043-1057.
8. Сараев С.В., Батурина Т.П., Медведев А.Я., Травин А.В. Каменноугольные отложения в фундаменте Западно-Сибирской

геосинеклизы (Курганская область) // Геология и геофизика, 2016, Т. 57, № 8, С. 1455-1476.

9. Хлебопрос Р.Г., Захватаев В.Е., Слепков В.А., Кузьмин М.И. О возможности фазовых переходов с образованием пероксидных форм SiO_2 в мантии Земли и их влиянии на мантийную конвекцию // Журнал структурной химии. 2016. Т. 57. № 2. С. 430-434.

10. Chubarov V.M., Aisueva T.S., Finkelshtein A.L. Determination of Sulfide and Total Sulfur in Ore by Wavelength-Dispersive X-Ray Fluorescence // Analytical Letters. 2016. V. 49, №13, P. 2099-2107.