

Федеральное агентство научных организаций

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

Инв. № _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН

д.г.-м.н. _____

_____ А.Б. Перепелов

« _____ » _____ 2018 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

ПРОЦЕССЫ МАНТИЙНО-КОРОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ИСТОЧНИКИ
ВЕЩЕСТВА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КИСЛЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ И
МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СКЛАДЧАТОГО ОБРАМЛЕНИЯ И
ВЫСТУПОВ ФУНДАМЕНТА СИБИРСКОГО КРАТОНА
(промежуточный)

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 программы: XI.129.1.

Шифр темы: 0350-2017-0029

Протокол Ученого Совета _____
№ 1 от «16» января 2018 г.

Руководитель темы

Доктор геолого-минералогических наук

_____ В.С.Антипин
(подпись, дата)

Иркутск, 2018

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, доктор геолого-минералогических наук	_____	В.С. Антипин
	подпись, дата	
Ответственные исполнители темы:		
доктор геолого-минералогических наук	_____	В.И. Левицкий (раздел 1.1)
	подпись, дата	
доктор геолого-минералогических наук	_____	В.А. Макрыгина (раздел 2)
	подпись, дата	
доктор геолого-минералогических наук	_____	В.С. Антипин, (раздел 2)
	подпись, дата	
доктор геолого-минералогических наук	_____	А.Б. Перепелов (раздел 3)
	подпись, дата	
доктор геолого-минералогических наук	_____	И.С. Перетяжко (раздел 3.1)
	подпись, дата	
доктор геолого-минералогических наук	_____	С.В.Ефремов (раздел 3.2)
	подпись, дата	
кандидат геолого-минералогических наук	_____	Л.Г. Кузнецова (раздел 2.1)
	подпись, дата	

Реферат

Отчет 29 с., 6 рис., 19 источников

МАГМАТИЗМ, ПЕТРОЛОГИЯ, ИЗОТРОПНОЕ ДАТИРОВАНИЕ, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ГРАНИТОИДЫ, ВУЛКАНИТЫ, АДАКИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ, ОЛЬХОНСКИЙ РЕГИОН, КАМЧАТКА, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ САНГИЛЕН

Целью проекта является установление закономерностей развития метаморфических и разновозрастных кислых магматических комплексов в Сибирском кратоне и в коллизионных зонах обрамляющих складчатых поясов. Выполнено петролого-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение докембрийских метаморфических и метасоматических пород и руд Сибирского кратона (шарьжалгайского и китойского гранулитовых комплексов) и фанерозойского (сланянский комплекс) подвижного пояса. На лазуритовых месторождениях открыт и утвержден КНМН IMA новый минерал сульфгидрилбыстрит. Обнаружение галита, сильвина и барита позволяет обосновать источники вещества при формировании месторождений лазурита Прибайкалья.

Согласно выявленным геохимическим особенностям, метаграувакки (гнейсы) и кварцевые породы ольхонской и ангинской толщ относятся к *разным геохимическим типам*. В ольхонской серии они имеют ванадиевую специфику с необычно высоким для этого типа пород валовым содержанием Cr и V и возникновением собственно Cr-V акцессорной минерализации. Помимо Cr и V, кварцевые породы ольхонской серии резко обогащены C, Mo, Ag, реже Ni, Zn и Sr, что характерно для кремнисто-углеродистой формации. Для пород ангинской свиты характерна марганцовистая специфика, вплоть до появления гондитов. Среди палеозойских магматических пород Прибайкалья выделены породы различной щелочности. По изотопно-геохимическим данным K-Na гранитоиды относятся к образованиям S-типа, имеют коровый источник расплавов и формировались в коллизионной обстановке, что подтверждается сравнением их с коллизионными гранитоидами Гималаев и Центральной Испании. Прослеживается связь состава гранитоидов с вмещающими их тектоническими пластинами. Выделены и изучены редкометалльно-редкоземельные пегматоидные граниты двух геохимических типов: Li-F-B амзонитсодержащие в ангинской толще и Rb-Be-Nb типа в ольхонской. Появление редкометалльных гранит-пегматитов с возрастом 390 млн лет и иной тектонической ориентацией означает начало нового герцинского внутриплитного этапа развития Ольхонского региона.

Изотопно-геохимические исследования (SHRIMP-II, U-Pb; Sr-Nd) показали, что формирование двух наиболее крупных жильных серий редкометалльных пегматитов Сольбельдерского поля произошло в пермский период (292 и 272 млн лет) с большим отрывом от времени образования двух гранитных (492 и 471 млн лет) и щелочных комплексов (378 и 182 млн

лет). Редкометалльные пегматиты представляют автономный магматизм проявления гранитных пегматитов Сольбельдерского поля Центрального Сангилен (Тыва).

В 2017 году продолжены минералого-геохимические и изотопно-геохронологические исследования кислого магматизма Камчатки на примере неоген-четвертичного умеренно-щелочного вулканизма тылового пояса Срединного хребта активной окраины Камчатки и неогеновой андезит-адакитовой ассоциации южного фланга Центральной Камчатской депрессии (ЦКД). Главным итогом исследований явилось получение доказательств участия в их образовании высокобарически преобразованного и рециклированного вещества океанической литосферы. Несмотря на то, что кислые умеренно-щелочные породы Срединного хребта отличаются от IAB относительным обогащением LILE и HFSE компонентами, а породы андезит-адакитовой ассоциации имеют близкие к IAB редкоэлементные характеристики, но более высокую степень фракционирования REE, Sr, Y, и те и другие обладают геологическими и парагенетическими элементами сходства. Они близки по возрасту и структурно-геологическим условиям их проявлений, а также в связи с развитием в составе их парагенезисов высокониобиевых (HNB) и Nb обогащенных базальтоидов (NEB).

Получены новые изотопно-геохимические и минералого-геохимические данные по вулканитам трахибазальт-трахит-трахириолитовой серии в Нилгинской рифтогенной впадине (депрессии) Центральной Монголии. Основные вулканиты соответствуют высококалийным трахиандезибазальтам. На спайдер-диаграммах наблюдаются минимумы Nb, Ta, Sr, Zr, Hf, Ti, Y и максимумы Ba, La, Pb, P, Nd, Gd, Ho. По начальному изотопному отношению $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$, породы ТТР серии разделяются на три группы: базальтоиды 0.7053–0.7057, трахиты-трахириодациты 0.7066–0.7073, трахириолиты 0.7079–0.7092. Все породы имеют близкие значения $\epsilon\text{Nd}(T)$ от 0 до -1.53.

При изучении гранитоидного магматизма Усть-Карского района объектом исследований были гранитоиды, отнесенные в предшествующих работах к раннему протерозою. Датирование первой фазы комплекса AR/AR методом показало, что они имеют раннеюрский возраст. Выполненная геохимическая типизация позволила отнести эти гранитоиды к ассоциации NEB (высокониобиевые базиты) – адакиты, встречающихся только в пределах островных дуг и активных континентальных окраин. Это позволило связать их образование с процессом субдукции, протекавшим на южной границе Сибирского континента.

Содержание

Введение	6
Раздел 1 Петролого-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение процессов метаморфизма и метасоматоза, коровые и мантийные источники вещества при формировании гранитоидов в раннем докембрии и фанерозое на юге Сибирского кратона и подвижных поясах его обрамления.	8
Раздел 2 Изотопно-геохимическое обоснование условий седиментации вулканогенно-осадочных толщ Ольхонского региона. Изучение процессов образования и особенностей вещественного состава редкометалльных гранитно-пегматитовых систем Восточной Сибири, сформированных в условиях различных геодинамических режимов.	10
Раздел 2.1 Изучение возрастных взаимоотношений и геохимии модельных объектов гранитов и редкометалльных пегматитов различной специализации (Li, Li-Cs-Ta) Сольбельдерского пегматитового поля Центрального Сангилена (Тыва).	14
Раздел 3 Определение источников вещества, условий образования и эволюции кислых магм различной щелочности в обстановках континентального рифтогенеза и конвергенции литосферных плит (Монголия, Камчатка).	
3.1 Выявление минералого-геохимических особенностей и анализ условий образования кислых магм Срединного хребта и Южной Камчатки.	14
3.2 Установление минералого-геохимических и изотопных характеристик трахибазальтов, трахитов и трахириолитов в Центральной Монголии.	17
3.3 Установление вещественных особенностей и геодинамической позиции мезозойского адакитового магматизма Восточного Забайкалья.	20
Заключение	21
Список материалов, опубликованных по теме отчета	23
Список использованных источников	28

Введение

При выполнении геологических и петролого-геохимических исследований по проекту основное внимание уделялось анализу источников при формировании разновозрастных кислых магматических и метаморфических комплексов и расшифровке процессов мантийно-корового взаимодействия на примере складчатого обрамления и выступов фундамента Сибирского кратона. Выполнено петролого-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение докембрийских метаморфических и метасоматических пород и руд Сибирского кратона (шарыжалгайского и китойского гранулитовых комплексов) и фанерозойского (сланянский комплекс) подвижного пояса.

Определены геохимические особенности метаграувакков (гнейсы) и кварцевых пород ольхонской и ангинской толщ, которые относятся к разным геохимическим типам. В ольхонской серии они имеют ванадиевую специфику с необычно высоким для этого типа пород валовым содержанием Cr и V и возникновением собственно Cr-V акцессорной минерализации. Для пород ангинской свиты характерна марганцовистая специфика, вплоть до появления гондитов. По изотопно-геохимическим данным раннепалеозойские K-Na гранитоиды относятся к образованиям S-типа, имеют коровый источник расплавов и формировались в коллизионной обстановке, что подтверждается сравнением их с коллизионными гранитоидами Гималаев и Центральной Испании. Прослеживается связь состава гранитоидов с вмещающими их тектоническими пластинами. Выделены и изучены редкометалльно-редкоземельные пегматоидные граниты двух геохимических типов: Li-F-B амазонитсодержащие в ангинской толще и Rb-Be-Nb типа в ольхонской. Появление редкометалльных гранит-пегматитов с возрастом 390 млн лет и иной тектонической ориентацией означает начало нового герцинского внутриплитного этапа развития Ольхонского региона. Выполнены изотопно-геохимические исследования (SHRIMP-II, U-Pb; Sr-Nd), которые показали, что формирование жильных серий редкометалльных пегматитов Сольбельдерского поля произошло в пермский период (292 и 272 млн лет) с большим отрывом от времени образования двух гранитных (492 и 471 млн лет) и щелочных комплексов (378 и 182 млн лет). Это подчеркивает автономный магматизм проявления гранитных пегматитов Сольбельдерского поля Центрального Сангилен (Тыва).

В 2017 году продолжены минералого-геохимические и изотопно-геохронологические исследования кислого магматизма Камчатки на примере неоген-четвертичного умеренно-щелочного вулканизма тылового пояса Срединного хребта активной окраины Камчатки и неогеновой андезит-адакитовой ассоциации южного фланга Центральной Камчатской депрессии. Главным итогом исследований явилось получение доказательств участия в их образовании высокобарически преобразованного и рециклированного вещества океанической литосферы.

Получены новые изотопно-геохимические и минералого-геохимические данные по вулканитам трахибазальт-трахит-трахириолитовой серии в Нилгинской рифтогенной впадине (депрессии) Центральной Монголии. Установлено, что основные вулканиты соответствуют высококалиевым трахиандезибазальтам. По геохимическим данным наблюдаются минимумы концентраций Nb, Ta, Sr, Zr, Hf, Ti, Y и максимумы - Ba, La, Pb, P, Nd, Gd, Ho. По начальному изотопному отношению $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$, породы исследуемой серии разделяются на три группы: базальтоиды 0.7053–0.7057, трахиты-трахириодациты 0.7066–0.7073, трахириолиты 0.7079–0.7092. Все породы имеют близкие значения $\epsilon\text{Nd}(T)$ от 0 до -1.53.

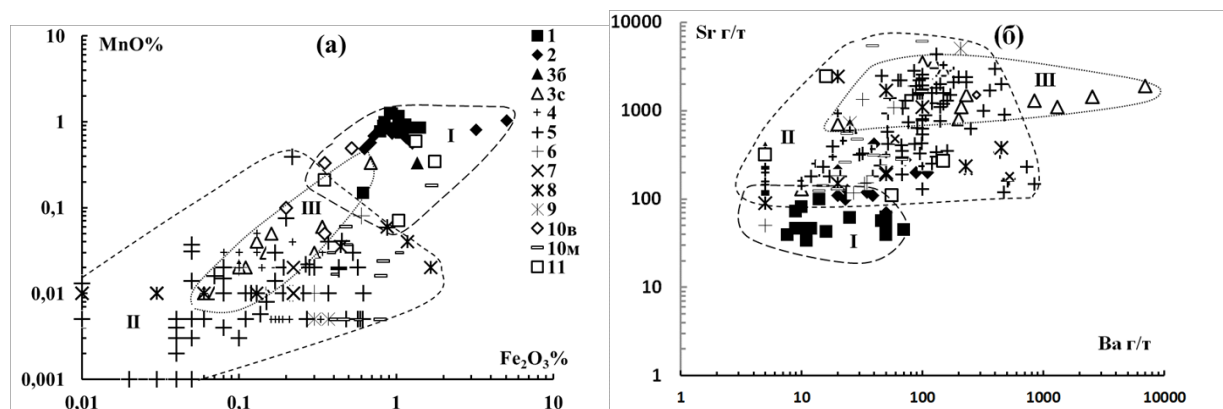
При изучении гранитоидного магматизма Усть-Карского района Восточного Забайкалья объектом исследований были гранитоиды, отнесенные в предшествующих работах к раннему протерозою. Датирование первой фазы комплекса AR/AR методом показало, что они имеют раннеюрский возраст. Выполненная геохимическая типизация позволила отнести эти гранитоиды к ассоциации NEB (высокониобиевые базиты) – адакиты, встречающихся только в пределах островных дуг и активных континентальных окраин. Это дает возможность связать их образование с процессом субдукции, протекавшем на южной границе Сибирского континента.

Раздел 1 Петролого-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение процессов метаморфизма и метасоматоза, коровые и мантийные источники вещества при формировании гранитоидов в раннем докембрии и фанерозое на юге Сибирского кратона и подвижных поясах его обрамления

Для протолитов высококалиевых метавулканитов в докембрийских (шарыжалгайский, китойский) и фанерозойских (слюдянский) гранулитовых комплексах выявлены масштабы их распространения, проведена систематизация по составу, геодинамическим обстановкам формирования, районам распространения и обоснованием ведущей их роли как субстрата при гранитообразовании. Среди ранее изученных нами палеопротерозойских высоко- и неметаморфизованных основных пород впервые обнаружены габбро-диабазы дайкового комплекса с повышенными содержаниями Mg (8-15%) и K (до 3%), с аномально высокими концентрациями LILE, REE, HFSE, с возрастом 1,864 млрд лет (U-Pb метод по цирконам). Породы с таким возрастом и составом сформировались на завершающих этапах становления Сибирского кратона при участии глубинных мантийных источников.

Выполнено изучение вещественных характеристик мраморов метаморфических комплексов докембрия и фанерозоя. Мраморы и кальцифиры докембрийских комплексов по сравнению с фанерозойскими, обогащены железом, Mn и обеднены Sr, Ba, в соответствии с рисунком 1.

при низком уровне содержаний REE. В архее обогащение железом, Mn протолитов мраморов и кальцифиров обусловлено доминированием основных и ультраосновных пород в питающих провинциях. В палеопротерозое по сравнению с фанерозоем доля железа, Mn в карбонатных породах уменьшилась, а Al, K, Ba, Sr возросла за счет участия в формировании их протолитов гранитно-метаморфического слоя Земли. Распределение петрогенных и редких элементов в мраморах и кальцифирах определяется формами их нахождения: 1) в изоморфных рядах Ca-Mg карбонатов с примесью Fe, Mn, Ba, Sr, REE; 2) присутствием в мраморах минералов Na, K, Ba, Sr; 3) наличием тонких (в мраморах) и крупных (в кальцифирах) фракций минералов, содержащих железо, Mn, Al, Ti, Zr, Cr, V, Ni, S. По выполненным палеореконструкциям (распределение REE) в архее и палеопротерозое доминировали интракратонные мелкие моря. Открытые океаны появились на рубеже 2-1,9 млрд лет, но широкое развитие карбонатные породы получили в мезо-неопротерозое, фанерозое.



1-3с, 10в – докембрийские (поле I): китайский (1) и шарыжалгайский (2) комплексы; беломорский и лапландский пояса (3б), сортавальская свита (3с, поле III), ваханский комплекс (10в). 4-10м – фанерозойские (поле II): ольхонский (4), слюдянский (5), святоносский (6), дербинский (8), музкольский (10м); иркутская (7) и алхадырская (9) свиты. 11 – разновозрастные породы Енисейского кряжа (енисейская серия, юдинская свита, Памибинско-Рыбинский пояс).

Рисунок 1 - Соотношение Fe_2O_3 -MnO (а), Ba-Sr(б) в кальцитовых мраморах метаморфических комплексов.

В раннедокембрийских комплексах Фенно-Скандинавского щита и Северо-Азиатского кратона выявлены аномалии изотопов S^{33} в сульфидах, фиксирующие формирование их протолитов в условиях бескислородной атмосферы раннего докембрия (древнее 2,4 млрд лет). Отклонения $\delta^{33}S\%$ от нуля в породах Фенноскандинавского щита однозначно указывают на процессы первично осадочного накопления сульфидов и служат уникальной меткой, которая может являться трассером последующих преобразований пород. Знак значений $\Delta^{33}S$ может быть использован в качестве индикаторов источников серы (сульфидной, сульфатной) в осадочных породах архея и поэтому соотношения мультиизотопов серы ($^{33}S/^{32}S$ и $^{34}S/^{32}S$) приобретают фундаментальное значение для исследований пород архея и проведения палеореконструкций. В Сибирском кратоне (черемшанская свита шарыжалгайского комплекса) обнаружены редкие для раннего докембрия позднеархейские стратиформные колчеданно-полиметаллические руды. Мультиизотопный состав серы из сульфидов этих руд и вмещающих пород однозначно отражает их образование из серы (сульфатной) неархейского периода, прошедшей цикл атмосферных преобразований с высокими положительными аномалиями изотопов ^{33}S .

На лазуритовых месторождениях открыт и утвержден КНМН ИМА новый минерал сульфгидрилбыстрит. Обнаружение галита, сильвина и барита позволяет обосновать источники вещества при формировании месторождений лазурита Прибайкалья. Обоснован эндогенный внешний источник лазуритообразования, связанный с поступлением K, Na, Cl с глубинными флюидами, местный Ba и S – из барита мраморов. Внешние источники обусловили на ранних этапах в слюдянском комплексе формирование мигматитов и гранитов и позже на постмагматическом этапе – флогопитовых и лазуритовых месторождений. Обнаружение галита и сильвина размерами до 10 мкм, отражает существенную роль наноструктур в петрогенезисе, включая высокотемпературные образования глубокометаморфизованных комплексов, причиной

которых было поступление высококонцентрированных, высокощелочнометалльных флюидов с хлоридами Na и K.

Раздел 2 Изотопно-геохимическое обоснование условий седиментации вулканогенно-осадочных толщ Ольхонского региона. Изучение процессов образования и особенностей вещественного состава редкометалльных гранитно-пегматитовых систем Восточной Сибири, сформированных в условиях различных геодинамических режимов

Согласно выявленным геохимическим особенностям, метаграувакки (гнейсы) и кварцевые породы ольхонской и ангинской толщ относятся к *разным геохимическим типам*. В ольхонской серии они имеют ванадиевую специфику с необычно высоким для этого типа пород валовым содержанием Cr и V и возникновением собственно Cr-V акцессорной минерализации. Помимо Cr и V, кварцевые породы ольхонской серии резко обогащены C, Mo, Ag, реже Ni, Zn и Sr, что характерно для кремнисто-углеродистой формации. Для пород ангинской свиты характерна марганцовистая специфика, вплоть до появления гондитов. Породы ангинской свиты, помимо Mn, имеют повышенные содержания P, F и Ba.

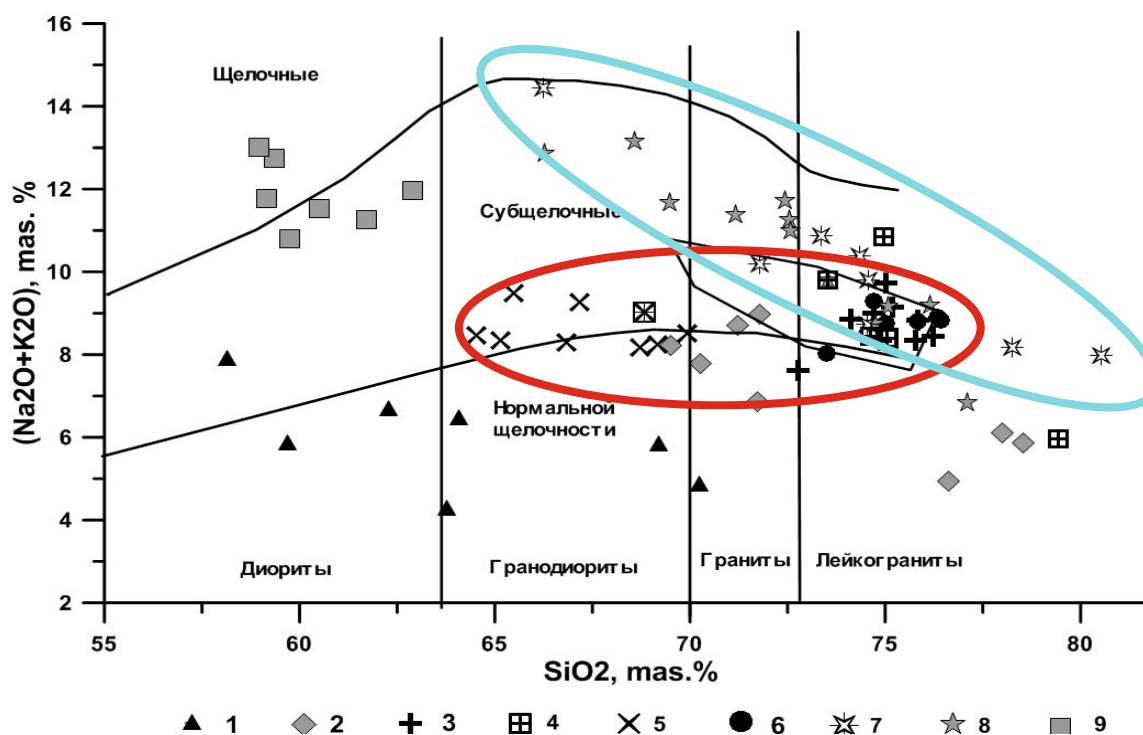
Поэтому логичен вывод о формировании исходных осадков ольхонской и ангинской толщ в бассейнах с разными условиями седиментации. Геохимические особенности свидетельствуют о застойном, восстановительном режиме мелководного задугового бассейна при отложении ольхонской серии и окислительного – ангинской толщи. Карбонатные породы ангинской серии, практически не содержат графита, имеют низкие концентрации Zn, Cr, V, но высокие - Mn, P, F, как и другие метаосадочные породы этой серии [1]. Метакарбонатные и метатерригенные породы ольхонской серии переслаиваются с метатолитами окраинно-морского типа, а ангинской - с геохимическими аналогами андезито-базальтов [2]. Присутствие в ангинской и ольхонской толщах одних и тех же петротипов пород, близкий план деформаций и наличие метаосадочных пород с промежуточными геохимическими характеристиками приводят к выводу об одновременном их отложении в сопряженных обстановках островной дуги и задугового бассейна.

Во время каледонской коллизии на этапе покровно-надвиговых деформаций породы претерпели зональный прогрессивный метаморфизм гранулитовой – амфиболитовой фации при температурах 780-850°C и давления 8-10 кбар [3], со снижением параметров до 650-600°C и 4-6 кбар на юге территории. При переходе к этапу сдвиговых деформаций происходит второй этап метаморфизма в условиях амфиболитовой - эпидот-амфиболитовой фации, при более низких температурах от 650 до 500°C, и при более низких давлениях, особенно флюидного, с неполной перекристаллизацией минералов, когда в метавулканитах ангинской свиты сосуществуют диопсид и эпидот и сохраняются реликты порфириковых структур.

Изучение изотопии углерода и кислорода подтвердило, что в мраморах, содержащих две углеродистых фазы – графит и кальцит, наблюдается явная зависимость перераспределения тяжелого изотопа С из кальцита в графит с ростом температуры. При этом значения $\delta^{13}\text{C}$ в графите увеличивается от -12‰ в эпидот-амфиболитовой фации до $-2,43\text{‰}$ в гранулитовой. В сосуществующих кальцитах этот показатель снижается от 2,3 до 1,89‰. В кварцитах этих же фаций, где углерод представлен одной фазой – графитом, $\delta^{13}\text{C}$ сохраняется на уровне обычных для осадочных пород величин. Таким образом, анализ изотопного состава С и О в графитовых мраморах и кварцитах Ольхонского региона показал, с одной стороны, несомненный биогенный источник углерода в мраморах и кварцитах и сильное влияние высоких температур на изотопный обмен углерода при наличии в породе двух фаз – графита и карбоната. Данные выводы не противоречат тому, что наложенная графитизация на граниты и метасоматиты Чернорудско-Баракчинской зоны может иметь глубинный источник.

Третьим компонентом триады осадочных пород ольхонской толщи являются диопсид-плагиоклазовые и диопсид-скаполитовые сланцы. По составу они близки ольхонским metabазальтам, но содержат графит и примеси кварца и кальцита, реликты пирокластических структур, и развиты, в основном, в ольхонской серии. Это еще одно подтверждение того, что протолитом их служили пирокластические выбросы базальтов спрединговых зон задугового бассейна. Вследствие большой вязкости андезитовых расплавов развитые островные дуги сопровождаются очень большими объемами выбросов пирокластике среднего состава в преддуговой части и меньшего объема пирокластике основного состава в задуговых бассейнах что подтверждается на примере Ангино-Таланчанской островной дуги в Прибайкалье.

В Ольхонском регионе магматизм очень разнообразен, но подчиняется определенной зональности, обусловленной тектоническим развитием данного участка коры и связанным с ним зональным метаморфизмом. В пределах главной сдвиговой зоны на метаморфические породы наложены два этапа амфиболитовой фации, что приводит к широкому развитию мигматизации с последующим анатексисом. Детально рассмотрены процессы гранитообразования от метаморфической гранитизации, вплоть до анатексиса с формированием в Прибайкалье синколлизонных гранитов шаранурского комплекса и островодужных массивов хайдайского комплекса.



1 – гнейсы и сланцы; 2 – плагиомигматиты и плагиограниты; 3-4, 6 - К-На граниты и др. разновидности гранитоидов шаранурского комплекса (красный контур); 5 – граносиениты; 7 – амазонитовые и 8 - Rb- Nb- Ве Ташкинейское тело (голубой контур). Черный контур – поле синколлизийных гранитов Гималаев.

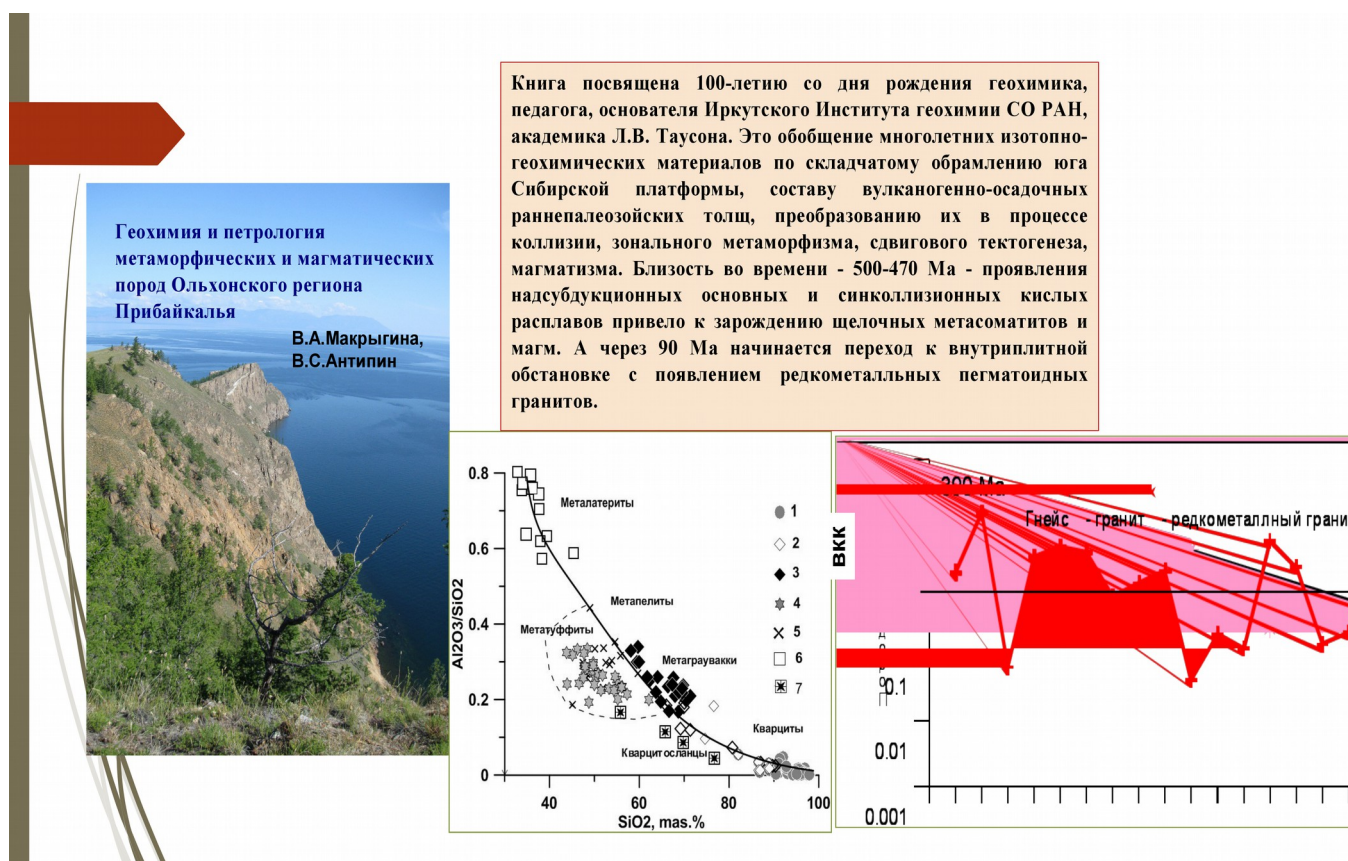
Рисунок 2 - Породы Ольхонского региона на диаграмме TAS.

Коллизийные гранитоиды близки к среднему составу верхней континентальной коры, их состав и геохимические особенности определяются составом корового протолита в соответствии с рисунком 2.

Шаранурский комплекс сопровождается серией перемещенных жил пегматоидных гранитов, а на завершающем этапе появляется серия интрузивных среднезернистых биотитовых гранитных жил и небольших массивов, близких по геохимическим характеристикам и возрасту шаранурским гранитам. Внутриплитные редкометалльные граниты в периферических зонах ареалов магматизма в значительной мере обогащены литофильными и высокозарядными элементами (Li, Rb, Sn, W, Ta, Nb, F), которые интенсивно накапливаются в процессе флюидно-магматической дифференциации и нередко содержат концентрированную редкометалльную минерализацию, в соответствии с рисунком 3.

История развития Ольхонского региона, характеризуется совмещением в сравнительно непродолжительном геологическом времени (20-28 млн лет) многих геодинамических обстановок: каледонских аккреционных событий, покровно-надвигового и сдвигового тектогенеза, проявления островодужного, а также габброидного мантийного магматизма и синколлизийного гранитоидного корового анатексиса, и, наконец, начало нового средне- позднепалеозойского

внутриплитного этапа. Он выражается в цепочке редкометалльных амазонитовых и бериллиево-ниобиевых пегматоидных гранитоидов и жильных тел пегматитов.



В 2017 году написана монография, посвященная 100-летию со дня рождения геохимика, педагога, основателя ИГХ СО РАН, академика Л. В. Таусона:

Макрыгина В.А., Антипин В.С. Геохимия и петрология метаморфических и магматических пород Ольхонского региона Прибайкалья.

Рисунок 3 – Монография.

Она является обобщением многолетних геохимических и геологических материалов по складчатому обрамлению юга Сибирской платформы, составу и взаимоотношениям вулканогенно-осадочных раннепалеозойских толщ, преобразованию их в процессе коллизии, зонального метаморфизма, сдвигового тектогенеза. Наиболее подробно рассмотрены процессы гранитообразования от метаморфической гранитизации, вплоть до анатексиса с формированием синколлизийных гранитов шаранурского комплекса, многофазные островодужные массивы хайдайского комплекса. Выделены и изучены редкометалльно-редкоземельные пегматоидные граниты двух геохимических типов: Li-F-B амазонитсодержащие в ангинской толще и Rb-Be-Nb типа в ольхонской. Появление редкометалльных гранит-пегматитов с возрастом 390 млн лет и иной тектонической ориентацией означает начало нового герцинского внутриплитного этапа развития Ольхонского региона.

Раздел 2.1 Изучение возрастных взаимоотношений и геохимии модельных объектов гранитов и редкометалльных пегматитов различной специализации (Li, Li-Cs-Ta) Сольбельдерского пегматитового поля Центрального Сангилен (Тыва)

Изотопно-геохимические исследования (SHRIMP-II, U-Pb; Sr-Nd) показали, что формирование двух наиболее крупных жильных серий редкометалльных пегматитов Сольбельдерского поля произошло в пермский период (292 и 272 млн лет) с большим отрывом от времени образования двух гранитных (492 и 471 млн лет) и щелочных комплексов (378 и 182 млн лет). Геохимическая эволюция выделенных интрузивных комплексов указывает на отсутствие их генетической связи с пегматитами, которые представляют автономный магматизм проявления редкометалльных гранитных пегматитов Сольбельдерского поля Центрального Сангилен.

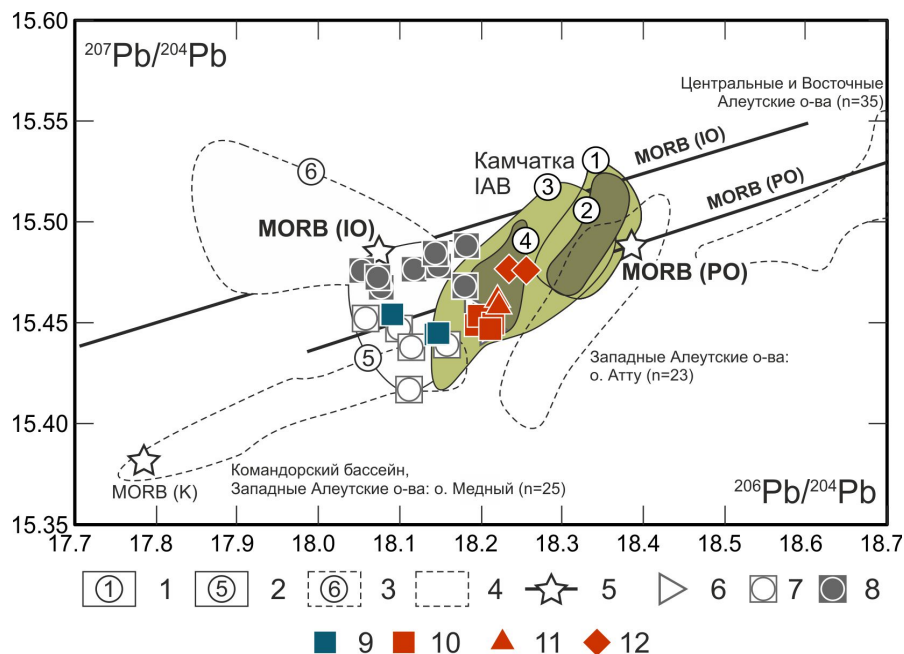
Раздел 3 Определение источников вещества, условий образования и эволюции кислых магм различной щелочности в обстановках континентального рифтогенеза и конвергенции литосферных плит (Монголия, Камчатка)

3.1 Выявление минералого-геохимических особенностей и анализ условий образования кислых магм Срединного хребта и Южной Камчатки

В 2017 году продолжены минералого-геохимические и изотопно-геохронологические исследования кислого магматизма Камчатки на примере неоген-четвертичного умеренно-щелочного вулканизма тылового пояса Срединного хребта активной окраины Камчатки и неогеновой NEB-Mg#-андезит-адакитовой ассоциации южного фланга Центральной Камчатской депрессии (ЦКД). Главным итогом исследований явилось получение доказательств участия в их образовании высокобарически преобразованного и рециклированного вещества океанической литосферы. Несмотря на то, что кислые умеренно-щелочные породы Срединного хребта отличаются от IAB относительным обогащением LILE и HFSE компонентами, а породы Mg#-андезит-адакитовой ассоциации имеют близкие к IAB редкоэлементные характеристики, но более высокую степень фракционирования REE, Sr, Y, и те и другие обладают геологическими и парагенетическими элементами сходства. Они близки по возрасту и структурно-геологическим условиям их проявлений, а также в связи с развитием в составе их парагенезисов высокониобиевых (HNB) и Nb обогащенных базальтоидов (NEB).

В структурно-геологическом плане неоген-четвертичные умеренно-щелочные магмы Срединного хребта проявлены в вулканическом поясе в пределах протяженных кулисообразно расположенных зонах и имеют признаки происхождения в области деструкции литосферы или на начальной стадии рифтогенеза (рис. 4). По данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования возраст их проявлений в ассоциации с базальтоидами HNB и NEB типа заключен в интервале 2.3-0.9 млн лет, а с учетом сведений по сопряженным районам Западной Камчатки проявлен начиная с раннего плиоцена (3.8

млн лет) [4]. NEB-Mg#-андезит-адакитовый магматизм южного фланга ЦКД развивался в средне-позднеплиоценовое время (3.4 – 2.0 млн лет) вблизи северных границ Малко-Петропавловской зоны поперечных разломных дислокаций и также обнаруживает связь с областью деструкции литосферы.



1 – поля изотопных характеристик базальтов и андезитов IAB типа для вулканических поясов Камчатки; цифры в кружках обозначают поля изотопных характеристик пород вулканических поясов: 1 – Восточной Камчатки, 2 – Южной Камчатки, 3 – Центральной Камчатской депрессии, 4 – Срединного хребта; 2 – поле изотопных характеристик пород позднеплиоцен-раннеплейстоценовой умеренно-щелочной серии Срединного хребта Камчатки; 3 – поле составов позднемиоцен-раннеплиоценовых щелочных базальтоидов Восточной Камчатки по данным [5-7]; 4 – поля составов базальтов и андезитов Командорского бассейна [8-10; 11; 12]; 5 – тренды эволюции и средние значения изотопных характеристик для базальтов срединно-океанических хребтов Индийского MORB-(IO) и Тихого океанов MORB-(PO), по [13], MORB (K) – базальтов Командорского бассейна [8]. Точки изотопных характеристик вулканических пород Срединного хребта: 6 – плиоценовые базальты и андезиты IAB типа, 7 – средне-позднеплейстоценовые умеренно-щелочные базальтоиды, 8 – позднеплиоцен-раннеплейстоценовые трахибазальты, трахиандезиты, трахиты и комендиты умеренно-щелочной серии. Точки изотопных характеристик вулканических пород NEB-Mg#-андезит-адакитовой ассоциации южного фланга Центральной Камчатской депрессии: 9 – базальтоиды NEB и HNB типа, 10 – Mg# андезибазальты, андезиты и адакиты HSA типа, 11 – Pl-Crx адакиты LSA типа, 12 – Amph-Crx-Ol адакиты LSA типа.

Рисунок 4 - Изотопные характеристики $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ пород умеренно-щелочной серии Срединного хребта Камчатки и NEB-Mg#-андезит-адакитовой ассоциации южного фланга Центральной Камчатской депрессии.

В сравнении с IAB Камчатки в целом, и вулканического пояса Срединного хребта в частности, изотопные составы пород умеренно-щелочной серии этого вулканического пояса в координатах $^{206-207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ образуют тренд между источником, близким по составу к деплетированной мантии MORB типа Командорского бассейна, и источником MORB «индийского» типа, смещаются в область наименее радиогенных изотопных составов для вулканических пород этой активной окраины в соответствии с рисунком. 4. В координатах $^{206-}$

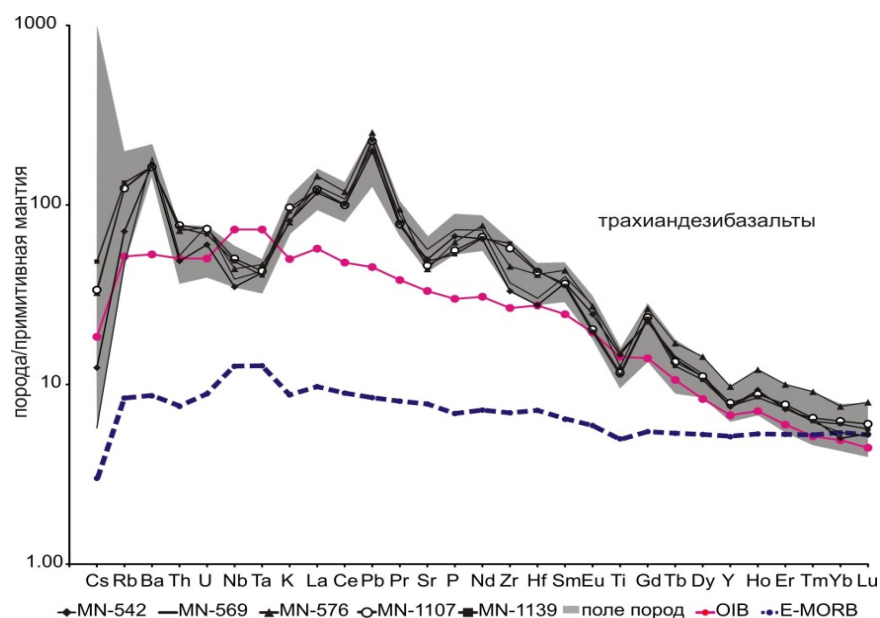
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ также наблюдается расположение изотопных меток IAB Камчатки между деплетированным источником типа «командорского» MORB или MORB Тихого океана и океаническим осадочным компонентом. Из анализа изотопных данных следует, что изотопные источники вещества, участвующие в формировании умеренно-щелочной серии пород Срединного хребта имеют признаки гетерогенности, а кислые расплавы в составе этой серии обнаруживают наиболее яркие характеристики в подтверждение участия в магмообразовании рециклированного вещества «индийского» MORB типа.

Изотопные характеристики магм Mg#-андезит-адакитовой ассоциации, проявленных на южном фланге ЦКД, свидетельствуют о том, что они близки к установленным для продуктов вулканизма IAB типа Срединного хребта и Центральной Камчатской депрессии. При этом они отличаются от вулканических пород Южной и Восточной Камчатки менее радиогенным составом Pb и Nd (Рис. 4). Анализ комплекса данных по изотопным системам $^{206-208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, dO^{18} для пород NEB-Mg#-андезит-адакитовой ассоциации так же, как и для умеренно-щелочных магм Срединного хребта, показал, что в магмообразовании и эволюции примитивных кислых и обогащенных HFSE магм участвуют два главных источника вещества. Базальтоиды HNB и в меньшей степени NEB типа этой ассоциации имеют признаки участия в их образовании древней рециклированной океанической литосферы «индийского» MORB типа, а адакитовые магмы низкокремнистого (LSA) и высококремнистого (HAS) типов формируются, вероятно, с участием первичных примитивных кислых расплавов, источником которых служила эклогитизированная океаническая литосфера Командорского или Тихоокеанского MORB типа.

Ведущая роль в NEB-Mg#-андезит-адакитовом магмогенезе южного фланга ЦКД и умеренно-щелочном магмообразовании Срединного хребта вещества эклогитизированной океанической литосферы, помимо других редкоэлементных и изотопных характеристик, подтверждается данными о распределении в породах этого типа элементов платиновой группы (ЭПГ). Все исследованные породы NEB-Mg#-андезит-адакитовой ассоциации и умеренно-щелочной серии Срединного хребта обладают заметно меньшими концентрациями Pt и Pd в отличие от вулканических пород IAB типа Камчатки, что согласуется с установленными закономерностями по обеднению этими элементами базальтоидов и габбро субдуцированной океанической литосферы в процессе их эклогитизации [14].

3.2 Установление минералого-геохимических и изотопных характеристик трахибазальтов, трахитов и трахириолитов в Центральной Монголии

Получены новые изотопно-геохимические и минералого-геохимические данные по вулканитам трахибазальт-трахит-трахириолитовой серии в Нилгинской рифтогенной впадине (депрессии) Центральной Монголии. Основное внимание было уделено анализу источников мантийного вещества для базальтоидных расплавов, изучению минералого-геохимических особенностей пород серии и реликтов фторидно-кальциевого и силикатного несмесимых расплавов в трахириолитах. Основные вулканиты содержат от 50 до 56 мас.% SiO_2 при сумме щелочей $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 5.6-6.6 мас.% и концентрации K_2O 2-3.2 мас.%, что соответствует высококалийевым трахиандезибазальтам. Они имеют также высокие концентрации (в мас.%) TiO_2 (2-3.3), Fe_2O_3 (8.6-12.6), P_2O_5 (1.1-1.7) и LOI (2-3) при относительно небольшом содержании MgO (< 4) и Al_2O_3 (<17.5). На спайдер-диаграммах наблюдаются минимумы Nb, Ta, Sr, Zr, Hf, Ti, Y и максимумы Ba, La, Pb, P, Nd, Gd, Ho (в соответствии с рисунком 5). Относительно базальтов OIB-типа трахиандезибазальты обогащены Cs, Ba, K, REE, Pb, Sr, P, Zr, Hf, имеют близкие концентрации Ti. Среди REE значительно преобладают LREE при нормированном к хондриту отношении $\text{La}/\text{Yb}(n)$ 20-31, а на спектрах REE слабо выражен минимум Eu. Форма спайдер-диаграммы на рисунке 5 с небольшим минимумом Nb-Ta, выпуклым относительно базальтов OIB-типа спектром распределения элементов от K до Y при значительном максимуме Pb является типичной для меловых базальтоидов из многих рифтовых областей Монголии и Забайкалья.



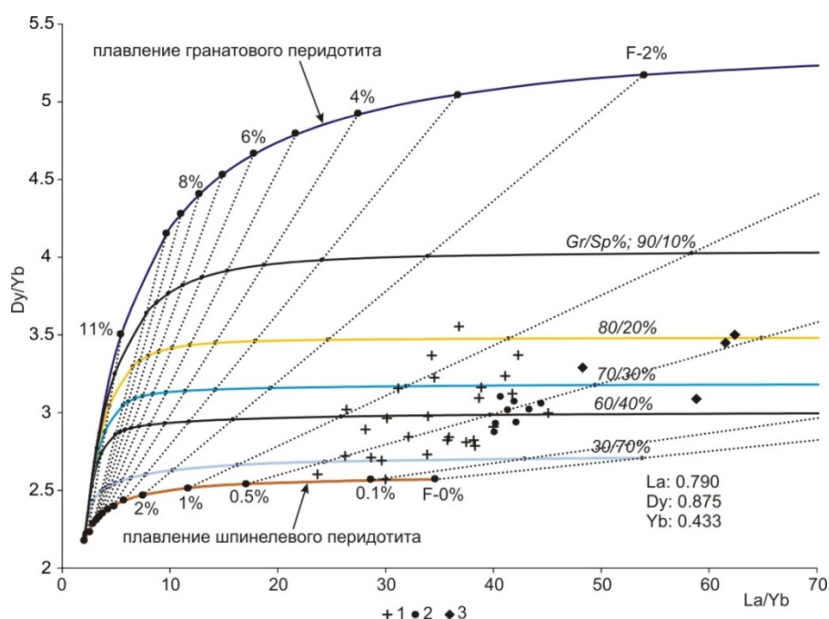
Концентрации элементов нормированы на значения в примитивной мантии по [15].

Рисунок 5 - Мультиэлементные диаграммы трахиандезибазальтов Нилгинской депрессии.

Кислые вулканиты имеют диапазон содержаний SiO_2 от 66 до 80 мас.%, сумму щелочей $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 7-9 мас.%, что по TAS классификации соответствует трахитам, трахидацитам, трахириодацитам и трахириолитам. Трахитам-трахириодацитам характерны наибольшие вариации

содержаний петрогенных оксидов. Трахириолиты имеют обогащенные калием составы (в мас.%): SiO₂ 75-80, K₂O 4.8–5.3, Na₂O 2.7–3.6, H₂O⁺ 0.4–0.6. Форма спектров распределения элементов на спайдер-диаграммах пород ТТР серии закономерно изменяется. Относительно трахиандезибазальтов в трахитах-трахидацитах появляются минимумы Sr, P, Ti, более сильные положительные максимумы K, Pb при большой дисперсии содержаний Ba, Zr, Hf. В трахириодацитах сильнее проявлены отрицательные аномалии Ba, Sr, P, Zr, Hf, Ti, значительно повышаются концентрации REE и углубляется минимум Eu.

Высокие концентрации Ti в трахиандезибазальтах, а также схожесть их геохимических характеристик с базальтами зон субдукции (в частности, Nb-Ta минимум) и OIB-типа мы связываем с глубинным воздействием обогащенного вещества плюма на мантийный протолит, метасоматизированный и гидратированный в ходе предшествующих субдукционных процессов. Расплавы с необычно высоким отношением LREE/HREE, как в трахиандезибазальтах Нилгинской депрессии, могут формироваться при низкой степени плавления протолита в P-T условиях стабильности граната. Это предположение согласно [16] согласуется с высоким значением Tb/Yb(n) > 1.8 в трахиандезибазальтах и результатами численного моделирования в соответствии с рисунком 6.



F – степень плавления протолита. Gr/Sp% - процентное соотношение гранатового и шпинелевого перидотитов в мантийном протолите. 1-3 – трахиандезибазальты: 1 – Нилгинской депрессии, 2 – Ингодинской, 3 – Усуглинской впадин Восточного Забайкалья.

Рисунок 6 - Моделирование плавления мантийных источников, отвечающих по составу гранатовому и шпинелевому перидотиту. Используются коэффициенты распределения из [17;18], концентрации La, Dy и Yb в обогащенном мантийном источнике.

По начальному изотопному отношению ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr₀, рассчитанному на возраст трахириолитов 120 млн лет, породы ТТР серии разделяются на три группы: базальтоиды 0.7053–0.7057, трахиты-трахириодациты 0.7066–0.7073, трахириолиты 0.7079–0.7092. Все породы имеют близкие значения

$\epsilon\text{Nd}(T)$ от 0 до -1.53. Наименьшее количество тяжелого изотопа кислорода имеют трахиандезибазальты – $\delta^{18}\text{O}$ 7.5-8.5 ‰. Трахиты, трахидациты, трахириодациты и трахириолиты обогащены $\delta^{18}\text{O}$ (9.4-10.9 ‰) относительно трахиандезибазальтов. Максимальные значения $\delta^{18}\text{O}$ (до 15 ‰) имеют трахириолиты, обогащенные флюоритом. Трахиандезибазальты Нилгинской депрессии и других меловых основных вулканитов рифтовых областей Забайкалья на диаграмме $\epsilon\text{Nd}(T) - {}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}_0$ образуют компактную группу в поле базальтоидов Центрально-Азиатского складчатого пояса [19], что позволяет предполагать формирование трахиандезибазальтов Нилгинской депрессии и других рифтогенных основных пород позднепалеозойского-мезозойского возраста Сибирского региона из единого мантийного источника, сформированного при участии обогащенной мантии типа EM-II.

В покрове меловых трахириолитов (120±5 млн]. лет) изучался участок площадью около 0.5 км², сложенный обогащенными флюоритом породами с аномально высокими концентрациями CaO (1.2– 25.7 мас.%) и F (0.6–15 мас.%). Структурно-текстурные признаки пород указывают на их образование при закаливании фторидно-кальциевого (F-Ca) и трахириолитового несмесимых расплавов. Предполагается, что повышение концентрации F в локальной области трахириолитового расплава до 1.5-2 мас.% привело к его ликвации и образованию F-Ca жидкой фазы. При этом произошло перераспределение элементов-примесей между несмесимыми жидкостями. REE, Y, Sr, P накапливались в F-Ca, а Zr, Hf, Ta, Nb – в силикатных расплавах. F-Ca жидкость содержала кислород, водный флюид и находилась в подвижном (текущем) состоянии до стеклования трахириолитовой магмы. Процессы образования флюорита из обогащенной кислородом F-Ca фазы происходили в интервале температур 780-570°C при сильных окислительных условиях (летучести кислорода $\Delta\text{lgf}_{\text{O}_2} \text{NNO} = 0.9-1.7$), что нашло свое отражение в минералогическо-геохимических особенностях пород (кристаллизуются ферро-ильменит, As-содержащие минералы группы монацита, церианит, по титаномагнетиту развивается гематит). В нормированных к хондриту спектрах REE пород появляется положительная аномалия Y и прогиб W-типа от Gd до Ho. Остаются неясными причины подвижного состояния F-Ca расплава в интервале кристаллизации трахириолитовой магмы. Возможно, этому препятствовал входивший в его состав кислород и водный флюид. Существование обогащенного O, REE, Y и другими элементами-примесями F-Ca расплава до субсолидусных температур следует учитывать при изучении пород и руд, обогащенных флюоритом.

3.3 Установление вещественных особенностей и геодинамической позиции мезозойского адакитового магматизма Восточного Забайкалья

При изучении гранитоидного магматизма Усть-Карского района объектом исследований были гранитоиды, отнесенные в предшествующих работах к раннему протерозою. Датирование

первой фазы комплекса AR/AR методом показало, что они имеют раннеюрский возраст. Выполненная геохимическая типизация позволила отнести эти гранитоиды к ассоциации NEB (высокониобиевые базиты) – адакиты, встречающихся только в пределах островных дуг и активных континентальных окраин. Это позволило связать их образование с процессом субдукции, протекавшим, в указанное время, на южной границе Сибирского континента.

Анализ мелкомасштабных геодинамических схем, описывающих развитие Монголо-Охотского океана, показал, что на период магмогенерации между активной континентальной окраиной Сибирского континента и Ононской островной дугой существовала зона спрединга (срединно-океанический рифт). Согласно современным генетическим представлениям, адакиты образуются в зоне субдукции, при плавлении молодой, горячей океанической коры, в связи с чем, появление адакитов вблизи от центра ее генерации не вызывает сомнения. Полученные результаты позволяют детализировать историю геологического развития региона.

Заключение

Для протолитов высококалиевых метавулканитов в докембрийских (шарыжалгайский, китойский) и фанерозойских (слюдянский) гранулитовых комплексах выявлены масштабы их распространения, проведена систематизация по составу, геодинамическим обстановкам формирования, районам распространения и обоснованием ведущей их роли как субстрата при гранитообразовании. На лазуритовых месторождениях открыт и утвержден КНМН ИМА новый минерал сульфгидрилбыстрит. Обнаружение галита, сильвина и барита позволяет обосновать источники вещества при формировании месторождений лазурита Прибайкалья.

Согласно выявленным геохимическим особенностям, метаграувакки (гнейсы) и кварцевые породы ольхонской и ангинской толщ Прибайкалья относятся к разным геохимическим типам. В ольхонской серии они имеют ванадиевую специфику с необычно высоким для этого типа пород валовым содержанием Cr и V и возникновением собственно Cr-V акцессорной минерализации. Помимо Cr и V, кварцевые породы ольхонской серии резко обогащены C, Mo, Ag, реже Ni, Zn и Sr, что характерно для кремнисто-углеродистой формации. Для пород ангинской свиты характерна марганцовистая специфика, вплоть до появления гондитов. Породы ангинской свиты, помимо Mn, имеют повышенные содержания P, F и Ba. Сделан вывод о формировании исходных осадков ольхонской и ангинской толщ в бассейнах с разными условиями седиментации.

Детально рассмотрены процессы гранитообразования от метаморфической гранитизации, вплоть до анатексиса с формированием в Прибайкалье синколлизонных гранитов шаранурского комплекса и островодужных массивов хайдайского комплекса. История развития Ольхонского региона, характеризуется совмещением в сравнительно непродолжительном геологическом времени (20-28 млн лет) многих геодинамических обстановок: каледонских аккреционных событий, покровно-надвигового и сдвигового тектогенеза, проявления островодужного, а также габброидного мантийного магматизма и синколлизонного гранитоидного корового анатексиса, и, наконец, начало нового средне- позднепалеозойского внутриплитного этапа. Он выражается в цепочке редкометалльных амазонитовых и бериллиевого-ниобиевых пегматоидных гранитоидов и жильных тел пегматитов. Изотопно-геохимические исследования (SHRIMP-II, U-Pb; Sr-Nd) показали, что формирование двух наиболее крупных жильных серий редкометалльных пегматитов Сольбельдерского поля произошло в пермский период (292 и 272 млн лет) с большим отрывом от времени образования двух гранитных (492 и 471 млн лет) и щелочных комплексов (378 и 182 млн лет) Центрального Сангилена (Тыва).

В 2017 году продолжены минералого-геохимические и изотопно-геохронологические исследования кислого магматизма Камчатки на примере неоген-четвертичного умеренно-щелочного вулканизма тылового пояса Срединного хребта активной окраины Камчатки и неогеновой NEB-Mg#-андезит-адакитовой ассоциации южного фланга Центральной Камчатской

депрессии (ЦКД). Главным итогом исследований явилось получение доказательств участия в их образовании высокобарически преобразованного и рециклированного вещества океанической литосферы.

Получены новые изотопно-геохимические и минералого-геохимические данные по вулканитам трахибазальт-трахит-трахириолитовой серии в Нилгинской рифтогенной впадине (депрессии) Центральной Монголии. Основные вулканиты соответствуют высококалиевым трахиандезибазальтам. На спайдер-диаграммах наблюдаются минимумы Nb, Ta, Sr, Zr, Hf, Ti, Y и максимумы Ba, La, Pb, P, Nd, Gd, Ho. По начальному изотопному отношению $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$, породы ТТР серии разделяются на три группы: базальтоиды 0.7053–0.7057, трахиты-трахириодациты 0.7066–0.7073, трахириолиты 0.7079–0.7092. Все породы имеют близкие значения $\epsilon\text{Nd}(T)$ от 0 до -1.53.

При изучении гранитоидного магматизма Усть-Карского района объектом исследований были гранитоиды, отнесенные в предшествующих работах к раннему протерозою. Датирование первой фазы комплекса AR/AR методом показало, что они имеют раннеюрский возраст. Выполненная геохимическая типизация позволила отнести эти гранитоиды к ассоциации NEB (высокониобиевые базиты) – адакиты, встречающихся только в пределах островных дуг и активных континентальных окраин. Это позволило связать их образование с процессом субдукции, протекавшем на южной границе Сибирского континента.

Список материалов, опубликованных по теме отчета

Статьи

- 1 Глуховский М.З., Кузьмин М.И., Баянова Т.Б., Лялина Л.М., Макрыгина В.А., Щербакова Т.Ф. О первой находке циркона гадея в гранатовых гранулитах на р. Сутам (Алданский щит)/ М.З Глуховский., М.И. Кузьмин, Т.Б. Баянова, Л.М. Лялина, В.А. Макрыгина, Т.Ф. Щербакова // Доклады Академии Наук - 2017 - Т. 476 - № 1 - С. 76-82.
- 2 Давыдова В.О., Щербаков В.Д., Плечов П.Ю., Перепелов А.Б. Петрологическая характеристика мафических включений в продуктах современных извержений вулкана Безымянный, Камчатка, 2006-2012 гг. / В.О.Давыдова, В.Д. Щербаков, П.Ю. Плечов, А.Б. Перепелов // Петрология – 2017. - Т. 25 - № 6 - С. 609-634.
- 3 Ефремов С.В., Бибитов А.Г., Гиёсов М.Я., Минкевич Д.С., Цыдыпова С.Б. Оценка флангов рудных месторождений с помощью геохимических съемок по первичным и вторичным ореолам. Первичные ореолы / С.В.Ефремов, А.Г. Бибитов, М.Я. Гиёсов, Д.С. Минкевич, С.Б. Цыдыпова // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2017. - Т. 40. - № 2 (59). - С. 36-49.
- 4 Перепелов А.Б., Кузьмин М.И., Цыпукова С.С., Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Щербаков Ю.Д., Пузанков М.Ю., Одгэрэл Д., Бат-Улзий Д. Эклогитовый след в эволюции позднекайнозойского щелочно-базальтового вулканизма юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны – геохимические признаки и геодинамические следствия / А.Б. Перепелов, М.И. Кузьмин, С.С. Цыпукова, Е.И. Демонтерова, А.В. Иванов, Ю.Д. Щербаков, М.Ю. Пузанков, Д. Одгэрэл, Д. Бат-Улзий. // Доклады Академии наук. – 2017. - Т. 476 - № 5 - С. 553-558.
- 5 Перетяжко И.С., Савина Е.А. Процессы образования муджиеритовой и бенморейтовой магм вулкана Немрут (Восточная Турция) / Перетяжко И.С., Савина Е.А. // Доклады Академии наук. – 2017. - Т. 474. - № 1 - С. 73-80.
- 6 Школьник С.И., Макрыгина В.А. Геохимия и изотопный состав метатерригенных отложений Хамардабанской серии (Центрально-Азиатский складчатый пояс) / С.И. Школьник, В.А. Макрыгина // Геология и геофизика. – 2017.- Т. 58 - № 10 - С. 1500-1513.
- 7 Ivanov A.V., Levitsky I.V., Levitsky V.I., Demonterova E.I., Reznitsky L.Z. Paleoproterozoic mafic rocks of the Southwestern Siberian craton: preliminary geochronology and geochemical characterization / A.V. Ivanov, I.V. Levitsky, V.I. Levitsky, E.I. Demonterova, L.Z. Reznitsky // Geodynamics & Tectonophysics. – 2017. - Т. 8 - № 3 - С. 477-480. doi:10.5800/GT-2017-8-3-0267. (Scopus).
- 8 Peretyazhko I.S., Savina E.A., Khromova E.A. Minerals of the Rhönite-Kuratite series in paralaivas from a new combustion metamorphic complex of Choir-Nyalga Basin (Central Mongolia):

chemistry, mineral assemblages, and formation conditions / I.S. Peretyazhko, E.A. Savina, E.A. Khromova // *Mineralogical Magazine*. – 2017. – V. 81 - N 4 - P. 949–974.

9 Sapozhnikov A.N., Kaneva E.V., Suvorova L.F., Levitsky V.I., Ivanova L.A. Sulfhydrylbystrite, $\text{Na}_5\text{K}_2\text{Ca}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{S}_5)(\text{SH})$, a new mineral with the LOS framework, and re-interpretation of bystrite: Cancrinite-group minerals with novel extra-framework anions / A.N. Sapozhnikov, E.V. Kaneva, L.F. Suvorova, V.I. Levitsky, L.A. Ivanova // *Mineralogical Magazine*. – 2017 - V. 81 - № 2 - P. 383-402.

10 Антипин В.С., Одгэрэл Д., Куш Л.В., Перепелов А.Б. Геохимические особенности редкометалльных гранитов в центральной (Бага-Хэнтэй) и периферической (Бага-Газрын, Абдар) зонах раннемезозойского ($T_3 - J_1$) ареала магматизма (Монголия) / В.С. Антипин, Д. Одгэрэл, Л.В. Куш, А.Б. Перепелов // *Mongolian Geoscientist. Geology & Metallogeny of Central Asia. Ulaanbaatar* - 2017. - V. 45 - P. 108-114.

11 Одгэрэл Д., Санчир Д., Баярхуу Ц., Антипин В.С., Перепелов А.Б. Хэнтий-Даурын бусийн Бага-Хэнтий батолитын туруу мезозойн ховор металл гранитоидын геохимии ба геохронологии / Д. Одгэрэл, Д. Санчир, Ц. Баярхуу, В.С. Антипин, А.Б. Перепелов // *Mongolian Geoscientist. Geology & Metallogeny of Central Asia. Ulaanbaatar*. - 2017. - V. 45 - P. 115-120.

Тезисы

1. Антипин В.С., Шептякова Н.В. Эволюция гранитоидов, формирующихся в различных геодинамических обстановках и роль процессов мантийно-корового взаимодействия (Прибайкалье, Монголия). Материалы III Международной геологической конференции «Граниты и эволюция Земли: мантия и кора в гранитообразовании». Екатеринбург, 2017. С. 23-24.

2. Высоцкий С.В., Игнатьев А.В., Веливецкая Т.А., Левицкий И. В., Мехоношин А.С. Источник серы сульфидных руд в архейских толщах Шарыжалгайского выступа фундамента Сибирского кратона по мультиизотопным данным. Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту, 17-20 октября 2017 г., ИЗК СО РАН, Иркутск)». Иркутск: ИЗК СО РАН, с. 46-48.

3. Канева Е.В., Сапожников А.Н., Левицкий И.В. Сравнительный структурный анализ образцов кубического лазурита // Строение литосферы и геодинамика (Материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции с участием исследователей из других стран Иркутск, 22–28 мая), 2017, С. 113-114.

4. Канева Е.В. Левицкий И.В. Уточнение средней структуры лазурита фиолетовой окраски из Тултуйского месторождения (Международная научная конференция «Юбилейный съезд Российского минералогического общества «200 лет РМО»), С-Пб 10-13 октября 2017 г. Материалы конференции). СПб: авторы и РМО. 2017, .

5. Канева Е.В., Левицкий И.В., Сапожников А.Н., Суворова Л.Ф. Кристаллохимические особенности высокосернистого кубического лазурита из Мало-Быстринского месторождения (ЮЗ Прибайкалье, Россия) // XIV Международная конференция «МОЛОДЕЖЬ В НАУКЕ 2017», Минск 30 октября – 2 ноября, 2017 г. - 2017.

6. Кузнецова Л.Г. Особенности редкометальной специализации сподуменовых пегматитов Южного Сангилены, сформированных в сложной палеогеодинамической обстановке // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Современные направления развития геохимии», посвященной 60-летию Института геохимии СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. 18-23 сентября 2017 г. г. Иркутск. С. 61.

7. Куц Л.В., Шептякова Н.В. Сравнительная геохимия гранитоидов Ольхонского региона и особенности их генезиса (шаранурский и аинский комплексы) // Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвящённой 60-летию Института геохимии СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л. В. Таусона 18–23 сентября 2017 г. г. Иркутск, с.62-63.

8. Левицкий В.И. Классификация и рациональное использование уникальных геологических объектов //Всероссийская научная конференция. «Фундаментальные проблемы экологии России». Иркутск: Институт географии СО РАН, 2017. С. 110

9. Левицкий В.И., Левицкий И.В. Уникальные геологические объекты Восточной Сибири// Всероссийская научная конференция. «Фундаментальные проблемы экологии России». Иркутск: Институт географии СО РАН, 2017. С 111.

10. Левицкий В.И. Павлова Л.А., Левицкий И.В. Самородные и интерметаллические соединения в метаморфических и магматических комплексах западной части фундамента Восточно-Европейской платформы (республика Беларусь) //(Международная научная конференция «Юбилейный съезд Российского минералогического общества «200 лет РМО»), СПб 10-13 октября 2017 г. Материалы конференции) СПб: авторы и РМО. 2017г . Т. 2, с. 252-254. PMS DPI 2017-1-258-0/ [http //www.minsok.ru/2017-1-258-0/](http://www.minsok.ru/2017-1-258-0/)

11. Левицкий И.В, Канева Е.В., Левицкий В.И., Сапожников А.Н., Суворова Л.В. Минералы-индикаторы источников вещества при формировании лазуритовых месторождений Прибайкалья. (Международная научная конференция «Юбилейный съезд Российского минералогического общества «200 лет РМО»), Материалы конференции) СПб: авторы и РМО. 2017г . Т. 1, с. 262-264. PMS DPI 2017-1-168-0/ [http //www.minsok.ru/2017-1-168-0](http://www.minsok.ru/2017-1-168-0/)

12. Левицкий И.В., Канева Е.В., Сапожников А.Н., Суворова Л.Ф. Галит, сильвин, барит в лазуритовых месторождениях Прибайкалья - индикаторы источников вещества// XIV Международная конференция «МОЛОДЕЖЬ В НАУКЕ», 2017», г. Минск 30 октября – 2 ноября 2017 г. Ivanov A.V., Levitsky I.V., Levitsky V.I., Demonterova E.I., Reznitsky L.Z. Paleoproterozoic mafic rocks of the Southwestern Siberian craton: preliminary geochronology and geochemical

characterization // *Geodynamics & Tectonophysics*, 2017, Т. 8, № 3, С. 477-480. doi:10.5800/GT-2017-8-3-0267. (Scopus).

13. Макрыгина В.А., Антипин В.С., Суворова Л.Ф., Макагон В.М. Два геохимических типа редкометалльных пегматоидных гранитов Ольхонского региона – переход к Герцинской внутриплитной обстановке. Материалы Всероссийской конференции «СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОХИМИИ», посвященной 60-летию Института геохимии СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. Иркутск, 2017. С. 63.

14. Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю. Высококиобиевый базальтоидный вулканизм Камчатки – индикатор смены геодинамических режимов в развитии активной континентальной окраины // Материалы Всероссийской конференции «Современные направления развития геохимии». ИГХ СО РАН. Иркутск. 2017. С. 27-28.

15. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Дриль С.И. Петрология трахибазальт-трахит-трахириолитовой серии Нилгинской депрессии в Центральной Монголии // Всероссийская конференция с международным участием «Современные направления развития геохимии», посвященная 60-летию ИГХ СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона, 2017 г. ИГХ СО РАН, г. Иркутск, Материалы конференции. С. 28-29.

16. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Хромова Е.А. Процессы образования уникальных по минеральному составу клинкеров и паралав Нилгинского пирометаморфического комплекса в Центральной Монголии // Байкальская научная конференция по геологии и геофизике. Материалы IV Всероссийской научной конференции. ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, 21-26 августа 2017 г. С. 4.

17. Пузанков М.Ю., Базанова Л.И., Дирксен О.В., Перепелов А.Б., Москалева С.В., Карташева Е.В. Конус Бастион (Жупановская группа вулканов) // Материалы XX региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский. 2017. С. 74-77.

18. Щербаков Ю.Д., Перепелов А.Б., Цыпукова С.С., Пузанков М.Ю., Давыдова В.О., Брянский Н.В. Высококремнистые адакиты горы Оленья (южный фланг Центральной Камчатской депрессии) – минералого-геохимические особенности и петрогенетические выводы // Материалы Всероссийской конференции «Современные направления развития геохимии». ИГХ СО РАН. Иркутск. 2017. С. 42-43.

19. Davydova V.O., Shcherbakov V.D., Plechov P.Yu., Perepelov A.B. Mechanism of copper enrichment of mafic enclaves at arc setting: insight from sulfide mineralogy of Bezymianny volcano (Ramchatka) // *Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits. Proceedings of XXXIV International Conference*. Editors V.A. Zaitsev, V.N. Ermolaeva. 2017. С. 55-57.

20. Kuznetsova Lyudmila Sources of rare element pegmatites with mixed LCT-NYF characteristics of the South Sangilen pegmatite belt, Tyva Republic, Russia // *Abstracts and Proceedings of the*

Geological Society of Norway. 8-th International Symposium on granitic pegmatites PEG2017. Norsk Geologisk Forening (NGF), Number 2, 2017, P. 68-71.

21. Shcherbakov Yu. D., Perepelov A. B., Puzankov M. Yu. Bimodal alkaline magmatism of Kamchatka's active continental margin: Magma sources and geodynamic settings // International conference in memory of Prof. Bor-Ming Jahn «Asian Orogeny and Continental Evolution: New Advances from Geologic, Geophysical and Geochemical Perspectives». Taipei. Taiwan. 6th – 7th November 2017, Academia Sinica, National Taiwan University. 2017. P. 71-72.

Список использованных источников

- 1 Петрова З.И., Макрыгина В.А. Геохимия гранат-биотитовых и биотитовых плагиосланцев Приольхонья и о-ва Ольхон / З.И. Петрова, В.А. Макрыгина // Геохимия. - 1994. - № 5 - С.659-670.
- 2 Макрыгина В.А., Петрова З.И., Конева А.А. Геохимия метакарбонатных пород Приольхонья и о-ва Ольхон (Западное Прибайкалье) / В.А. Макрыгина, З.И. Петрова, А.А. Конева // Геохимия.- 1994. - № 10 - С.1437-1450.
- 3 Петрова З.И., Левицкий В.И. Петрология и геохимия гранулитовых комплексов Прибайкалья./ З.И. Петрова, В.И. Левицкий // Новосибирск: Наука. - 1984. - 200 с.
- 4 Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Иванов А.В., Философова Т.М., Демонтерова Е.И., Смирнова Е.В., Чувашова Л.А., Ясныгина Т.А. Неогеновые базаниты Западной Камчатки: минералого-геохимические особенности и геодинамическая позиция / А.Б. Перепелов, М.Ю. Пузанков, А.В. Иванов, Т.М. Философова, Е.И. Демонтерова, Е.В. Смирнова, Л.А. Чувашова, Т.А. Ясныгина // Петрология. – 2007.-. Т. 15 - № 5 - С. 524-546.
- 5 Dale C.W., Burton K.W., Pearson D.G. Gannoun A., Alard O., Argles T.W., Parkinson I.J. Highly siderophile element behaviour accompanying subduction of oceanic crust: Whole rock and mineral-scale insights from a high-pressure terrain / C.W. Dale, K.W. Burton, D.G. Pearson, A. Gannoun, O. Alard, T.W. Argles, I.J. Parkinson // Geochim. et Cosmochim. Acta. - 2009. - V. 73 - P. 1394–1416.
- 6 Волынец О.Н. Колосков А.В., Виноградов В.И., Ягодзински Дж.М., Покровский Б.Г., Григорьев В.С. Изотопный состав стронция и кислорода в позднекайнозойских щелочных базальтах внутриплитного геохимического типа, Камчатка./ О.Н. Волынец, А.В. Колосков, В.И. Виноградов, Дж.М. Ягодзински, Б.Г. Покровский, В.С. Григорьев // Петрология. - 1995. - Т.3 - № 2 - С. - 207-213.
- 7 Волынец О.Н., Карпенко С.Ф., Колосков А.В., Ляликов А.В., Спиридонов В.Г. Первые данные об изотопном составе неодима в позднекайнозойских К-На щелочных базальтах Камчатки / О.Н. Волынец, С.Ф. Карпенко, А.В. Колосков, А.В. Ляликов, В.Г. Спиридонов // Доклады РАН. - 1996. - Т.350 - № 2 - С. 239-241.
- 8 Волынец О.Н., Карпенко С.Ф., Лэй Р.У., Горринг М. Изотопный состав поздненеогеновых К-На щелочных базальтоидов Восточной Камчатки: отражение гетерогенности мантийного источника магм. / О.Н. Волынец, С.Ф. Карпенко, Р.У. Лэй, М. Горринг // Геохимия. - 1997. - № 10 - С. 1005-1018.
- 9 Yagodziniski G.M., Rubenstone J.L., Kay S.M., Kay R.W. Magmatic and tectonic development of the Western Aleutians - fn oceanic arc in a strike-slip setting / G.M. Yagodziniski, J.L. Rubenstone, S.M. Kay, R.W.Kay // J. Geophysical Research. - 1993. - V. 98 - N B7 - P. 11807-11834.

- 10 Yogodzinski G.M., Volynets O.N., Koloskov A.V., Seliverstov N.I., Matvenkov V.V. Magnesian andesites and the subduction component in a strongly calc-alkaline series at Piip Volcano, FarWestern Aleutians / G.M. Yogodzinski, O.N. Volynets, A.V. Koloskov, N.I. Seliverstov, V.V. Matvenkov // *J. Petrology*. - 1994. - V. 35 - P. 163-204.
- 11 Yogodzinski G.M., Kay R.W., Volynets O.N., Koloskov A.V., Kay S.M. Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region: implications for slab melting and processes in the mantle wedge / G.M. Yogodzinski, R.W. Kay, O.N. Volynets, A.V. Koloskov, S.M. Kay // *Geological Society of America Bulletin*. - 1995. - V. 107 - P. 505-519.
- 12 Jicha B.R, Singer B.S, Brophy J.G, Fournelle J.H, Johnson C.M, Beard B.L, Lapen T.J, Mahlen N.J. Variable impact of the subducted slab on Aleutian island arc magma sources: evidence from Sr, Nd, Pb, and Hf isotopes and trace element abundances / B.R. Jicha, B.S. Singer, J.G. Brophy, J.H. Fournelle, C.M. Johnson, B.L. Beard, T.J. Lapen, N.J. Mahlen // *J. Petrology*. - 2004. - V. 45 - P.1845-1875.
- 13 Kelemen P.B., Yogodzinski, G.M., Scholl D.W. Along strike variation in the Aleutian Island arc: genesis of high Mg# andesite and implications for continental crust / P.B. Kelemen, G.M. Yogodzinski, D.W. Scholl // *Inside the Subduction Factory* (ed. Eiler. J.). American Geophysical Union Monograph. - 2003. - V. 138 - P. 1–54.
- 14 Stracke A. Earth's heterogeneous mantle: A product of convection-driven interaction between crust and mantle / A. Stracke // *Chemical Geology*. - 2012. - V. 330–331 - № 10 - P. 274–299.
- 15 McDonough W.F., Sun S.-s. The composition of the Earth / W.F. McDonough, S.-s. Sun // *Chemical Geology*. – 1995. – V. 120 – P. 223-254.
- 16 Wang K., Plank T., Walker J.D., Smith E.I. A mantle melting profile across the Basin and Range, SW USA / K. Wang, T. Plank, J.D. Walker, E.I. Smith // *J. Gephys. Res.* - 2002. - V. 106 - P. ECV 5-1–ECV 5-21.
- 17 Adam J., Green T. Trace element partitioning between mica- and amphibole-bearing garnet lherzolite and hydrous basanitic melt: 1. Experimental results and the investigation of controls on partitioning behavior / J. Adam, T. Green // *Contrib. Mineral. Petrol.* - 2006. - V. 152 - P. 1–17.
- 18 Foley S.F., Jenner G.A., Jackson S.E., Fryer B.J. Trace element partition coefficient between phlogopite, clinopyroxene and matrix in an alkaline lamprophyre from Newfoundland, Canada / S.F. Foley, G.A. Jenner, S.E. Jackson, B.J. Fryer // *Mineral. Mag.* - 1994. - V. 58A. - P. 280-281.
- 19 Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Геохимические и изотопные параметры аномальной мантии Северной Азии в позднем палеозое – раннем мезозое (данные изучения внутриплитного базитового магматизма) / В.В. Ярмолюк, В.И. Коваленко // *Докл. АН.* - 2000. - Т. 375 - № 4 - С. 525-530.