

На правах рукописи

Кандидат

Комарицына Татьяна Юрьевна

**ЭВОЛЮЦИЯ МЕЗОЗОЙСКОГО МАГМАТИЗМА УДИНО-ЕРАВНИНСКОЙ ЗОНЫ
(ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

Специальность 25.00.09. – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: Воронцов Александр Александрович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии основного и ультраосновного магматизма, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГХ СО РАН), г. Иркутск

Официальные оппоненты: Изох Андрей Эмильевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГМ СО РАН), г. Новоибирск

Донская Татьяна Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории палеогеодинамики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИЗК СО РАН), г. Иркутск

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского Отделения Российской академии наук (ФГБУН ГИН СО РАН), г. Улан-Удэ

Защита диссертации состоится «17» марта 2020 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 003.059.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ им. А.П. Виноградова СО РАН) по адресу: 664033, а/я 304, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук на сайте ИГХ им. А.П. Виноградова СО РАН (<http://www.igc.irk.ru>)
Факс: (3952) 42-70-50; e-mail: korol@igc.irk.ru

Автореферат разослан «____» _____ 2020 г.

Учёный секретарь диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук



Е.В. Канева

Актуальность исследования. Работа посвящена изучению континентального внутриплитного позднемезозойского магматизма в пределах Удино-Еравнинской зоны Западного Забайкалья. Вулканические породы, сформированные в таких условиях, принадлежат к одним из наиболее интересных в научном и практическом отношении проявлениям магматизма. Согласно современным представлениям, их образование связывается с глубинными источниками: мантийными плюмами и горячими полями мантии [O’Nios et al., 1979; Зоненшайн, Кузьмин, 1983, 1993; Learson, 1991; Добрецов, Кирдяшкин, 1994; Добрецов, 2008; Кузьмин, Ярмолюк, 2014 и др.]. Продукты магматизма континентальных внутриплитных обстановок представлены щелочными и субщелочными разновидностями и отличаются достаточно высокими концентрациями редких элементов в сравнении с магматическими продуктами активных континентальных окраин, островных дуг и срединно-океанических хребтов.

Проблемам происхождения и эволюции континентальных магматических пород Центральной Азии посвящено огромное число публикаций. Детальное исследование средне-позднемезозойского вулканизма Удино-Еравнинской зоны Западно-Забайкальской вулканической области позволяет не только охарактеризовать эволюцию составов пород, расплавов и их источников, но и дать оценку влияния процесса мантийно-корового взаимодействия на состав и характеристики вулканических ассоциаций.

Цели и задачи исследования. На основе изучения продуктов магматизма в пределах Удино-Еравнинской зоны определить: 1) основные закономерности вещественной эволюции этого магматизма, оценить вариации состава источников материнских расплавов во времени и увязать выявленные характеристики с изменениями геодинамических обстановок проявления позднемезозойского магматизма Центральной Азии; 2) особенности мантийно-корового взаимодействия расплавов континентальных условиях.

Для этого решались следующие задачи:

1. Выяснение структурного и пространственного распределения продуктов разных этапов магматической активности в пределах Удино-Еравнинской зоны.
2. Выявление характерных породных ассоциаций для разных этапов магматизма.
3. Определение минералогических и петро-геохимических характеристик вулканитов.
4. Определение изотопных отношений Sr, Nd и O в вулканитах основного состава, оценка состава источников магматизма в соответствии с изотопной систематикой типовых мантийных и коровых источников.
5. Построение AFC-моделей для вулканических пород удинской свиты по методу [DePaolo, 1981].
6. Расчёт условий формирования расплавов по методу [Lee, 2009].
7. Расчёт условий кристаллизации пироксенов с использованием геотермометров и геобарометров по [Putirka, 2008; Neavel, Putirka, 2017].
8. Сопоставление данных, полученных для пород Удино-Еравнинской зоны с другими

секторами Западно-Забайкальской вулканической области, а также с вулканитами районов обрамления Монголо-Охотского и Большехинганского поясов, формировавшихся при участии конвергентных процессов вплоть до начала раннего мела.

Фактический материал и личный вклад автора. В основу диссертации положен фактический материал, собранный в 2014-2019 гг. автором при проведении полевых работ в Западном Забайкалье в составе Рифтового отряда лаборатории геохимии основного и ультраосновного магматизма Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН по плановым темам НИР ИГХ СО РАН. За этот период был получен большой объем новых геологических и изотопно-геохимических данных и систематизирован имеющийся материал по магматизму Удино-Еравнинской зоны, собранный в предшествующие годы В.В. Ярмлюком, В.Г. Ивановым и А.А. Воронцовым. Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (инициативные проекты 13-05-00014, 16-05-00181, 19-05-00300, проекты по организации экспедиционных работ 13-05-10000).

Научная новизна. В пределах Удино-Еравнинской зоны Западно-Забайкальской вулканической области определены закономерности пространственного распределения продуктов разных этапов магматической активности.

Установлена закономерная изменчивость составов магматических пород во времени, заключающаяся с одной стороны в смене объемов и ассоциаций пород, а с другой – в изменении геохимических и изотопных (Sr,Nd,O) характеристик, что позволило оценить соответствующие вещественные параметры и эволюцию материнских расплавов и их источников.

Предложены модели формирования вулканических серий средней-поздней юры и раннего мела с учётом механизмов фракционирования и контаминации расплавов.

Впервые показано, что на состав вулканитов удинской свиты (J₂₋₃) оказали влияние конвергентные процессы при формировании Большехинганского пояса.

Практическая значимость. Результаты исследований позволяют повысить достоверность схемы магматизма как основы для регионального и локального картирования, металлогенического прогноза и палеореконструкций для позднемезозойского периода развития территории Западного Забайкалья.

Защищаемые положения:

1. Установлено, что магматизм Удино-Еравнинской зоны протекал в три этапа: 1) средней-поздней юры (174-154 млн лет); 2) раннего мела (143-111 млн лет; 3) позднего мела (83 – 78 млн лет). Ранний этап характеризовался трахибазальт-трахит-трахириолитовым магматизмом удинской свиты, распространение которой контролировалось структурами северо-западного плана. Магматизм второго и третьего этапов был существенно базальтовым и сопряжен с грабенами северо-восточного простирания.

2. Выявлены характеристики базальтов Удино-Еравнинской зоны, свидетельствующие об эволюции состава источников расплавов. В породах более молодых вулканических комплексов происходит последовательное относительное обогащение высокозарядными (Nb, Ta, Zr) элементами и HREE. При этом изотопный состав пород изменялся в следующих интервалах значений: от ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 0,705301-0,705512, ϵNd (-0,2)-(-0,7) для трахибазальтов средней-поздней юры до ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 0,70393-0,70472, ϵNd (2,52-3,56) для щелочных базальтов позднего мела.

3. Формирование пород последовательных этапов зоны происходило в условиях корово-мантийного взаимодействия. Состав пород удинской свиты отвечает условиям контаминации трахибазальтового расплава породами, близкими к трахириолитам цаган-хунтейской свиты. Состав контаминанта пород с возрастом 135-143 млн лет был близок к составу нижней континентальной коры. Контаминантами для раннемеловых базальтовых магм с возрастом 117-131 млн лет служили породы верхней континентальной коры.

4. Магматизм зоны контролировался разделенными во времени геодинамическими процессами: конвергентными, сформировавшими удинскую свиту в средней-поздней юре на северо-западном продолжении Больше-Хинганского пояса и рифтогенным внутриплитным, меловым, сформировавшим Западно-Забайкальскую рифтовую область.

Апробация работы. По теме диссертационной работы опубликовано 3 статьи в журналах из списка ВАК. Результаты исследований докладывались на совещаниях: “Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)”, г. Иркутск, 2014 г., 2017 г., 2018 г.; Байкальской молодежной научной конференции по геологии и геофизике, г. Улан-Удэ, 2015 г.; XII Всероссийском Петрографическом совещании с участием зарубежных ученых, г. Петрозаводск, 2015 г.; Всероссийской конференции молодых ученых “Современные проблемы геохимии”, г. Иркутск, 2015 г.; XX Международном научном симпозиуме им. академика М.А. Усова, г. Томск, 2016 г.; Всероссийской молодежной конференции “Строение литосферы и геодинамика” с участием с участием зарубежных ученых, г. Иркутск, 2017 г..

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и приложений. Общий объем работы составляет 153 страницы, включая 65 иллюстраций, 13 таблиц. Библиографический список включает 142 работы.

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории основного и ультраосновного магматизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю Воронцову А.А. за руководство работой, создание условий для её проведения, внимание и поддержку. Особую благодарность автор испытывает к академику РАН Ярмолку В.В., который оказал большое влияние на формирование взглядов и представлений автора о

геологии и геохимии магматических процессов. Большую признательность автор выражает Макрыгиной В.А., Медведеву А.Я., Перепелову А.Б., Перетяжко И.С., Орловой Г.В., Васильевой И.Е., Кузнецовой Л.Г. за консультацию и критические замечания при подготовке работы. Автор искренне признателен Сасиму С.А., Андреевой О.А., Дрилю И.С., Амосовой А.А., Радомской Т.А. за ценные советы и дружеское участие в период работы над диссертацией. Автор благодарит всех сотрудников аналитических служб, выполнивших большой объем лабораторных исследований.

ГЛАВА 1. МЕЗОЗОЙСКИЙ ВУЛКАНИЗМ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

1.1. Внутриплитный магматизм континентов: основные проблемы и индикаторные характеристики. Магматические породы внутриплитных обстановок представлены широким разнообразием ассоциаций. Чаще всего это контрастные серии базальт-риолитового и базальт-трахитового составов, характеризующиеся повышенной щелочностью. Особенности состава выражаются, прежде всего, в обогащении пород щелочами, магнием, титаном и фосфором. Для основных щелочных разновидностей характерно обогащение некогерентными элементами: Rb, Ba, Th, U, Nb, Ta и легкими редкоземельными элементами: La, Ce, Pr, Nd [Грачев, 1987; Фролова, Бурикова, 1997; Ayalewa, 2016; Fun et al., 2019; Özdemir et al., 2019]. Наиболее часто изотопные отношения: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ на графиках зависимости попадают в поле пород с характеристиками PREMA. Отмечаются случаи, когда эти значения варьируют в широких пределах и существенно отклоняются от области мантийной корреляции [Fun et al., 2019; Özdemir et al., 2018]. Тогда считается, что в формировании вулканитов участвуют два источника – это обогащенное вещество астеносферы и вышележащая, гетерогенная по составу субконтинентальная литосфера [Macdonald et al., 2001]. Также для пород континентальных обстановок характерны повышенные в сравнении с мантийными значения $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, что объясняется эффектом коровой контаминации [Harmon, Hoefs, 1987].

1.2. Предшествующие исследования. С середины XX в. средне-позднемезозойские впадины и грабены Западного Забайкалья привлекали к себе внимание исследователей. Геологическое строение района, стратиграфия и палеонтологическая характеристика стратифицированных образований, их минералогия описаны во многих публикациях и отчётах [Нагибина, 1951; Арсентьев, Нечаева, 1951; Флоренсов, 1954, 1960; Боголепов, 1967; Булнаев, 1965, 1975; Соловьев, 1967; Комаров, 1972; Булгатов и др., 1978; Багдасарьян, Поляков, 1983]. Наибольший прорыв в изучении мезозойского вулканизма произошел в 1980-2000 гг., благодаря исследованиям Ярмолюка В.В., Иванова В.Г., Коваленко В.И., Гордиенко И.В., Кузьмина М.И. и Воронцова А.А. Ими были установлены основные общие закономерности развития и образования впадин и грабенов Западного Забайкалья, изучен состав вулканитов и определены

источники магматизма. Отдельные участки Западно-Забайкальской вулканической области различаются полнотой магматической истории, определяемой количеством проявленных в их пределах этапов магматизма и составом отвечающих им продуктов. Удино-Еравнинская зона, расположенная в восточном районе области, до сих пор остается слабо изученной в отношении вещественных и изотопных характеристик развитого в её пределах вулканизма.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Определение породообразующих элементов для 84 проб, проводили в лаборатории спектральных методов анализа ИГХ им. А.П. Виноградова СО РАН методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии. Измерения выполнены на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре S8 Tiger (Bruker AXS, Германия). Редкоэлементный состав 67 образцов определяли высокочувствительным многоэлементным методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой – МС-ИСП с использованием масс-спектрометра с высоким разрешением ELEMENT-2 (ThermoFinnigan, Германия) в Центре коллективного пользования “Изотопно-геохимические исследования” ИГХ СО РАН и квадрупольного масс-спектрометра Agilent 7700x (Agilent Technologies, США) в Центре коллективного пользования “Байкальский центр нанотехнологий” Технопарка при ИрНИТУ. Оценка изменения состава магматического источника во времени выполнена по данным изотопного состава стронция и неодима в 13 образцах основного состава. Измерения выполнены в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН. Изотопные отношения измеряли на многоколлекторном термоионизационном масс-спектрометре TRITON TI (ThermoFinnigan, Германия) в статическом режиме. Определение изотопного состава кислорода в 11 образцах проводили в аналитическом центре Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ. Измерения выполняли на газовом масс-спектрометре FINNIGAN MAT 253 (Thermo Finnigan, США). Состав минералов в образцах вулканических пород Удино-Еравнинской зоны был исследован в ИГХ СО РАН методом рентгеноспектрального электронного микронзондового анализа, с помощью электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализатора JXA8200 (JEOL Ltd, Япония).

ГЛАВА 3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УДИНО-ЕРАВНИНСКОЙ ЗОНЫ

3.1. Общие геологические сведения о развитии Удино-Еравнинской зоны в мезозое.

Удино-Еравнинская зона расположена в восточной части Западно-Забайкальской вулканической области и охватывает четыре грабена: Эгитинский, Удинский, Еравнинский и Зазинский (рис 1). Их фундамент сложен интрузивными палеозойскими образованиями. Грабены выполнены породами юрской – удинской и меловых – хилокской и зазинской свит, представленных в

основном вулканогенными породами, а также палеоценовыми и современными четвертичными осадочными образованиями.

3.2. Средне-позднеюрский этап. Породы этапа распространены на территории Эгитинского грабена, формирование которого носило компенсационный характер [Ярмолюк, Иванов, 2000]. Грабен заложен на домезозойском фундаменте, представленном преимущественно интрузивными телами витимканского сиенит-гранодиорит-гранитного комплекса (рис. 4.2.1.) Вулканическая толща удинской свиты сложена породами широкого диапазона составов от трахибазальтов до кислых разновидностей (трахириодацитов). Средне-позднеюрский возраст удинской свиты подтверждается К-Аг датировками, полученными для пород сектора, варьирующими в пределах 174-154 млн лет [Воронцов и др., 2016; Ярмолюк, Иванов, 2000]. Этот возраст совпадает с данными по филоподовой фауне, наблюдаемой в ее отложениях [Скобло и др. 2001].

3.3. Раннемеловой этап. Этот этап стал самым масштабным в истории развития сектора. Магматические процессы здесь протекали наряду с грабенообразованием, в результате чего были сформированы обширные поля платобазальтов [Воронцов и др., 2016]. Раннемеловые вулканиды выделяются во всех грабенах сектора: Эгитинском, Удинском, Зазинском и Еравнинском. В соответствии с результатами К-Аг датирования их возраст укладывается в диапазон 143-111 млн лет. Продукты магматизма представлены основными разновидностями повышенной щелочности - трахибазальтами.

3.4. Позднемеловой этап. Для позднего мела характерно образование небольших по площади (до 1 км²) проявлений субщелочных и щелочных базальтов. Они распространены локально в окрестностях с. Гонда (83 млн лет, К-Аг метод), Гарам и р. Гавриловка (78 млн лет, К-Аг метод), где с размывом залегают на раннемеловых вулканидах (рис. 4.3.3). Последние извержения на территории сектора датируются – 72-71 млн лет [Багдасарьян, Поляков, 1983]. В этот период, произошло образование щитового вулкана, сложенного базанитами в окрестностях с. Комсомольское.

ГЛАВА 4. ПЕТРОГРАФО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

4.1. Средне-позднеюрский этап. Для трахибазальтов удинской свиты характерны массивные текстуры, мелкопорфировые структуры. Основная масса сложена плагиоклазом ($An_{35-45}Ab_{52-60}Or_{3-5}$) и щелочным полевым шпатом двух генераций, представленных анортоклазом ($An_{13-15}Ab_{52-59}Or_{26-35}$) и санидином ($An_4Ab_{31}Or_{65}$). Среди вкрапленников

отмечаются: пироксен ($Wo_{43-46}En_{39-43}Fs_{13-15}$), плагиоклаз ($An_{28-41}Ab_{56-64}Or_{3-10}$), щелочной полевои шпат ($An_{19}Ab_{63-65}Or_{17-18}$), реже оливин, замещенный идингситоподобным веществом. Трахиандезиты отличаются от трахибазальтов флюидальной текстурой, порфировой структурой. Основная масса сложена плагиоклазом ($An_{19-29}Ab_{67-79}Or_{2-5}$) и щелочным полевым шпатом двух разновидностей: санидин ($An_{1-2}Ab_{22-32}Or_{67-76}$) и анортоклаз ($An_{16}Ab_{62}Or_{22}$). Вкрапленники представлены плагиоклазом ($An_{31-46}Ab_{50-66}Or_4$), щелочным полевым шпатом ($An_{1-2}Ab_{25-32}Or_{67-74}$) и хлоритизированной роговой обманкой. Для трахитов типичны массивные текстуры, ортофировые структуры. Основная масса сложена микролитами щелочного полевого шпата, между которыми наблюдаются выделения кварца. Для трахидацитов типичны флюидальные текстуры, трахитовые в комбинации с микролитовой порфиоровые структуры. Основная масса сложена щелочным полевым шпатом двух разновидностей: санидин ($An_{2-4}Ab_{53-63}Or_{34-46}$) и анортоклаз ($An_{14-15}Ab_{73}Or_{12-13}$) и кварцем. Во вкрапленниках отмечаются серицитизированный плагиоклаз и щелочной полевои шпат двух генераций: анортоклаз $An_{13-14}Ab_{72-74}Or_{13-14}$ и санидин ($An_{3-7}Ab_{59-64}Or_{33-38}$). Трахириодациты отличаются массивными текстурами, олигофировыми структурами. Основная масса сложена щелочным полевым шпатом ($An_{2-3}Ab_{52-68}Or_{37-45}$) и кварцем. Вкрапленники представлены плагиоклазом и щелочным полевым шпатом ($An_{2-3}Ab_{54-68}Or_{30-44}$).

4.2. Раннемеловой этап. Для базальтов раннего мела характерны массивные текстуры, интерсертальные, порфиоровые, реже трахитоидные структуры. Основная масса сложена микролитами плагиоклаза, представленного андезином ($An_{40-47}Ab_{50-55}Or_{3-6}$) и лабрадором ($An_{49-50}Ab_{47-48}Or_3$). Для базальтов Эгитинского грабена характерны специфические особенности. Здесь основная масса вулканитов сложена плагиоклазом (андезин, лабрадор) и щелочным полевым шпатом – анортоклазом ($An_{6-12}Ab_{60-68}Or_{21-33}$). Набор вкрапленников для пород всех грабенов одинаков. Фенокристы плагиоклаза представлены двумя генерациями - андезином ($An_{45-47}Ab_{50-51}Or_{3-5}$) и лабрадором ($An_{49}Ab_{47-48}Or_{3-4}$). Оливин был выявлен только в породах Удинского грабена. Следует отметить 2 типов оливинов: оливин кристаллизующийся из расплава (Fo_{53-62}) и ксеногенный оливин (Fo_{83}). Вкрапленники пироксена представлены рядом диопсид-авгит ($Wo_{38-46}En_{33-43}Fs_{11-26}$).

4.3. Позднемеловой этап. Для трахибазальтов позднего мела типичны трахитоидные текстуры, порфиоровые и пилотакситовые структуры. Основная масса сложена плагиоклазом и пироксеном. Во вкрапленниках отмечаются зерна оливина.

Базаниты характеризуются массивными текстурами, порфиоровыми структурами. Основная масса сложена зернами пироксена, представленного диопсидом ($Wo_{48-52}En_{33-42}Fs_{10-15}$) и ксеноморфным интерстициальным нефелином. Во вкрапленниках отмечается оливин, пироксен (диопсид).

В составе вулканических пород всех этапов присутствует магнетит или титаномагнетит. Среди аксессуарных отмечается апатит. Также, для всех вулканитов Удино-Еравнинской зоны характерны вторичные изменения: замещение оливина иддингситоподобным веществом, актинолитизация плагиоклаза, палагонитизация вулканического стекла и появление карбонатных гнезд и скоплений неправильной формы.

ГЛАВА 5. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

5.1. Классификация пород. Вулканические породы всех этапов магматизма Удино-Еравнинской зоны относятся к умереннощелочной и щелочной сериям, однако каждый этап вулканизма имеет свои отличительные особенности. Вулканические породы средне-позднеюрской удинской свиты представлены трахибазальтами, трахиандезитами, трахитами, трахидацитами и трахириодацитами. Следует отметить, что они по своим петрогеохимическим характеристикам близки к породам шошонит-латитовой серии. Породы всех раннемеловых грабенов представлены преимущественно трахибазальтами и ассоциирующими с ними щелочными базальтами. Составы базальтов позднего мела представлены трахибазальтами и базанитами.

5.2. Юрский этап (174 – 154 млн лет). Породы удинской средне-позднеюрской свиты представлены дифференцированной серией от трахибазальтов до трахириодацитов, SiO_2 в них варьирует от 49,69 до 72,45 мас.% при щелочности ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – 5,61 – 12,52 мас.%. Породы характеризуются широкими вариациями содержания титана, в ряду от основных до кислых TiO_2 составляет – 2,08-0,20 мас.%, MgO изменяется от 5,50 мас.% в трахибазальтах до 0,08 мас.% в кислых вулканитах. При этом Al_2O_3 уменьшается от 19,60 до 14,27 мас.%.

Положительные корреляции SiO_2 с Na_2O и K_2O с и отрицательные с Fe_2O_3^* , MgO , CaO и P_2O_5 свидетельствуют о фракционировании титаномагнетита, апатита и магнезиально-железистых темноцветных силикатных минералов в соответствии с боуэновским трендом кристаллизации минералов по [Bowen, 1928; Кокс и др, 1982]. Наблюдается отклонение от предполагаемой линии тренда фракционной кристаллизации в группе средних и кислых пород, что предполагает участие механизма фракционирования полевого шпата, либо контаминацию отдельных порций расплава [Кокс и др, 1982; Мартынов, 2010].

Вулканические породы основного состава (рис. 2) обогащены крупноионными литофильными элементами (LILE): Rb, Ba, Sr и Pb, а также LREE (La, Ce, Pr) в сравнении с базальтами океанических островов (OIB) и породами основного состава внутриконтинентальных рифтовых зон и континентальных горячих точек основного состава из выборки [Наумов и др., 2017]. Для них характерны отрицательные аномалии Nb, Ta и Ti, типичные для базальтов активных континентальных окраин (IAB) [Kelemen et al., 2003,

Козловский, 2006]. Однако концентрации элементов в несколько раз превышают таковые для базальтов IAB. Трахибазальты отвечают дифференцированным спектрам распределения редких земель, $(La/Yb)_N$ в них изменяется от 24 до 35, Σ_{REE} варьирует от 239 до 420 г/т. Такие значения обусловлены повышенными, в сравнении с OIB и внутриконтинентальными рифтами, содержаниями La, Ce, Pr. Величина отрицательной европиевой аномалии в трахибазальтах (Eu/Eu^*) незначительна и отвечает значениям 0,76-0,98. Трахиандезиты и трахиты отличаются от пород основного состава удинской свиты более высокими содержаниями Rb, Ba, Sr. В них Σ_{REE} варьирует от 171 до 396 г/т, $(La/Yb)_N$ отвечает значениям 14-31, что практически идентично трахибазальтам. Значения величины Eu/Eu^* изменяются от 0,69 до 1,17.

Трахидациты и трахириодациты отличаются наиболее широкими вариациями значений Rb, Ba и Sr, а также большими концентрациями La, Ce, Pr, Nd в сравнении с породами основного и среднего составов удинской свиты. Также они отличаются более высокими значениями Σ_{REE} – 161-907 г/т, величина $(La/Yb)_N$ изменяется от 9 до 50. Для пород характерно наличие ярко выраженной отрицательной европиевой аномалии $Eu/Eu^* = 0,29-0,94$.

5.3. Раннемеловой этап (143 – 111 млн лет). По своим геохимическим характеристикам вулканиты раннего мела близки между собой. Содержания SiO_2 в них варьируют от 46,50 до 53,85 мас.% при суммах щелочей (Na_2O+K_2O) – 5,42 - 8,07 мас.%. Концентрации TiO_2 в них соответствуют таковым для базальтоидов внутриплитных обстановок (TiO_2 от 2,08 до 3,07 мас.%) [Фролова, Бурикова, 1997; Афанасьева и др., 2001].

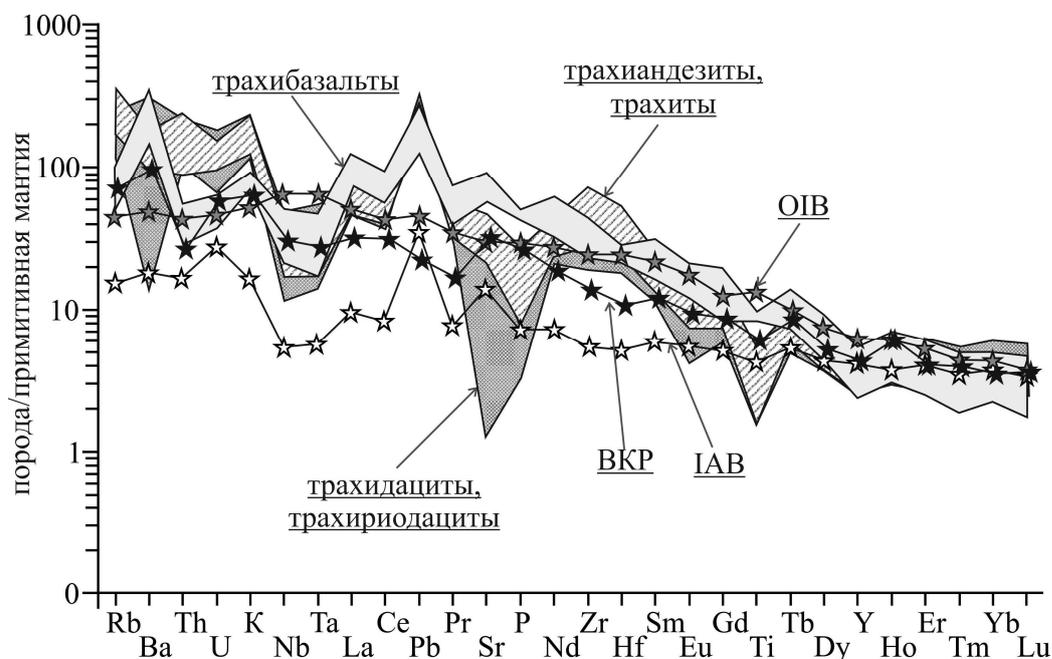


Рис. 2. Распределение нормированных к примитивной мантии редких и редкоземельных элементов в породах удинской свиты Эгитинского грабена.

Состав примитивной мантии приведен по [Sun, McDonough, 1989], составы OIB, IAB по [Kelemen et al, 2003], ВКР (внутриконтинентальных рифтов и областей континентальных

горячих точек) по [Наумов, 2017].

Редкоэлементный состав вулканитов раннего мела отображен на мультиэлементной спайдердиаграмме (рис. 3). Для вулканитов всех грабенов характерно обогащение несовместимыми элементами (Rb, Ba, Sr) и LREE в сравнении с OIB и породами внутриплитных обстановок.

Величина $(La/Yb)_N$ для базальтов Удино-Еравнинской зоны отвечает широкому диапазону значений от 14 до 51. Для всех пород отмечается слабовыраженная отрицательная европиевая аномалия, Eu/Eu^* варьирует в пределах 0,74-0,95. ΣREE изменяется от 225 до 561 г/т, что обусловлено достаточно высокими содержаниями La, Ce, Pr, Nd.

Для раннемеловых вулканитов характерно наличие отрицательной аномалии по Nb, Ta и Ti. В то же время, концентрации этих элементов в разы превышают таковые для IAB. Также, для Nb и Ta отмечаются более высокие содержания, чем в породах внутриконтинентальных рифтов и горячих точек континентов, но ниже чем OIB. Такое распределение элементов увязывается с мантийным метасоматозом, инициированным предшествующими субдукционными процессами на территории Центральной Азии [Ярмолюк, Иванов, 2000; Ярмолюк и др, 2000; Воронцов и др., 2016].

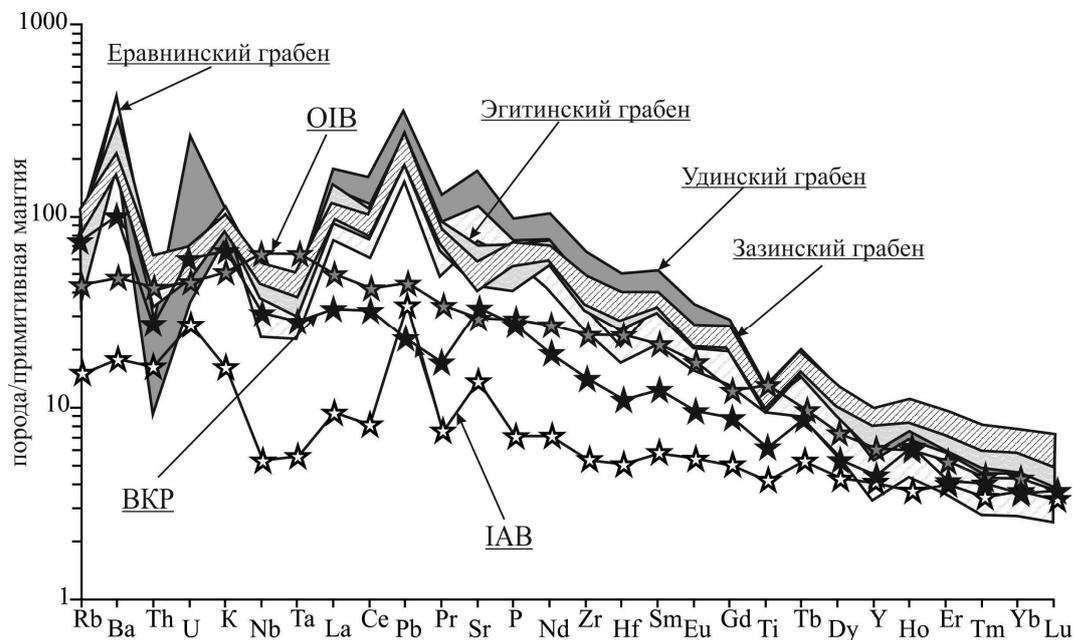


Рис. 3. Распределение нормированных к примитивной мантии редких и редкоземельных элементов в трахибазальтах раннего мела Удино-Еравнинской зоны.

Составы примитивной мантии (PM) приведены по [Sun, McDonough, 1989], составы OIB, IAB по [Kelemen, 2003], BKP (внутриконтинентальных рифтов и областей континентальных горячих точек) по [Наумов, 2017].

5.4. Позднемеловой этап (83 – 71 млн лет). Трахибазальты (83-78 млн лет) характеризуются типичными для внутриплитных континентальных вулканитов содержаниями титана (TiO_2 – 2,06-2,51 мас.%). Концентрации остальных петрогенных элементов близки к таковым в трахибазальтах раннего мела. Поздние вулканические породы (72-71 млн лет) представлены базанитами, SiO_2 в них составляет 41,62- 42,93 мас. % при суммах щелочей (Na_2O+K_2O) 5,07-6,86 мас. %. Содержания TiO_2 варьирует в пределах 2,02-2,22 мас.%.

Форма спектра распределения редких элементов в трахибазальтах близка к OIB (рис. 4), за исключением больших концентраций Rb и Ba. В них $(La/Yb)_N$ изменяется от 10 до 15, европиевая аномалия отсутствует, значения Eu/Eu^* находятся в пределах 0,98-1,05. Сумма редкоземельных элементов составляет 141-209 г/т.

Для базанитов характерны повышенные концентрации некогерентных элементов Rb, Ba, Th, U, Nb, Ta, Sr и LREE в сравнении как с OIB, так и с породами внутриконтинентальных рифтов и горячих точек. Для пород типичны дифференцированные спектры REE, $(La/Yb)_N$ варьирует пределах от 29 до 56, европиевая аномалия очень слабо выражена: Eu/Eu^* - 0,85-0,98. Эти породы обладают достаточно высокими суммарными содержаниями редкоземельных элементов в сравнении с OIB и ВКР. Так \sum_{REE} изменяются от 411 до 834 г/т, что обусловлено повышенными содержаниями LREE. Также следует отметить, что в трахибазальтах и базанитах отсутствуют Nb, Ta, Ti минимумы типичные для IAB, а также для вулканитов предшествующих этапов развития Удино-Еравнинской зоны.

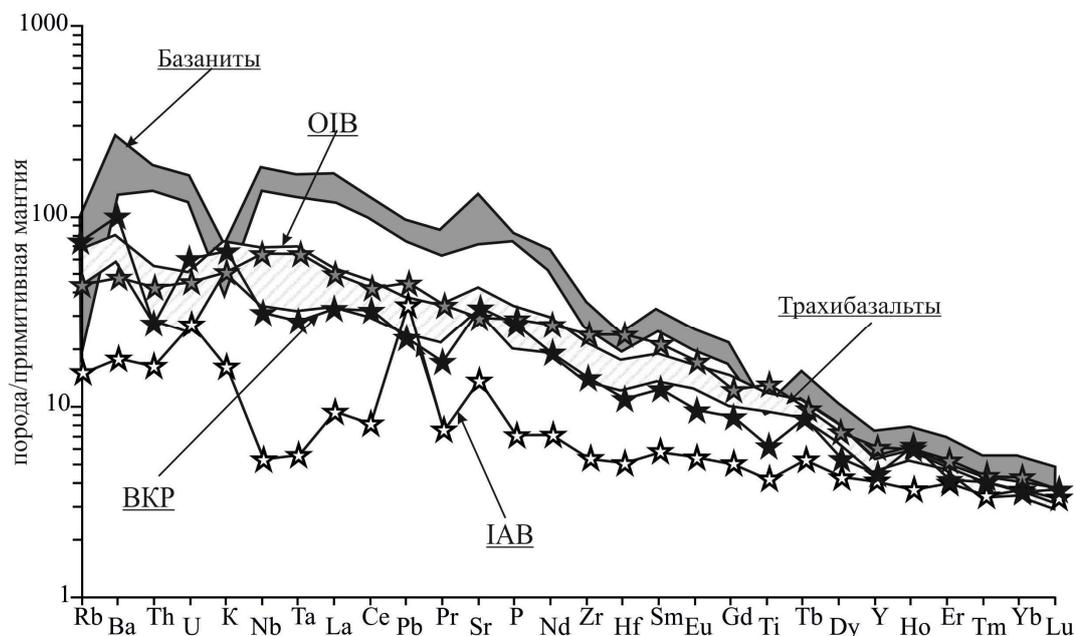


Рис. 4. Распределение нормированных к примитивной мантии редких и редкоземельных элементов в породах позднего мела Удино-Еравнинской зоны.

Составы примитивной мантии (PM) приведены по [Sun, McDonough, 1989], составы OIB,

IAВ по [Kelemen, 2003], ВКР по [Наумов, 2017].

ГЛАВА 6. ИСТОЧНИКИ МАГМАТИЗМА УДИНО-ЕРАВНИНСКОЙ ЗОНЫ

6.1. Оценка составов источников магматических расплавов. Вулканические породы всех этапов развития Удино-Еравнинской зоны были сформированы из источника, обогащенного легкими редкоземельными элементами. На это указывают достаточно высокие значения $(La/Sm)_N$ (2,47-7,95) и $(Ce/Yb)_N$ (8,58 – 42,39), характерные для пород, сформированных в результате действия мантийных плюмов [Schilling et al., 1983, 1992; Le Roex et al., 1983]. Базальты Удино-Еравнинской зоны существенно различаются своими изотопными характеристиками (рис. 5). В вулканитах средней-поздней юры ($^{87}Sr/^{86}Sr$) изменяется от 0,70393 до 0,705940, (ϵNd) – от 0,3 до (-2,9)). Эти характеристики близки к составу источника обогащенной мантии с характеристиками EM II. В сравнении с ними для вулканитов позднего мела характерно обеднение радиогенным стронцием ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,70393-0,70472$) и обогащение радиогенным неодимом ($\epsilon Nd = 2,52-3,56$). Точки составов пород приближены к PREMA по [Zindler, Hart, 1986].

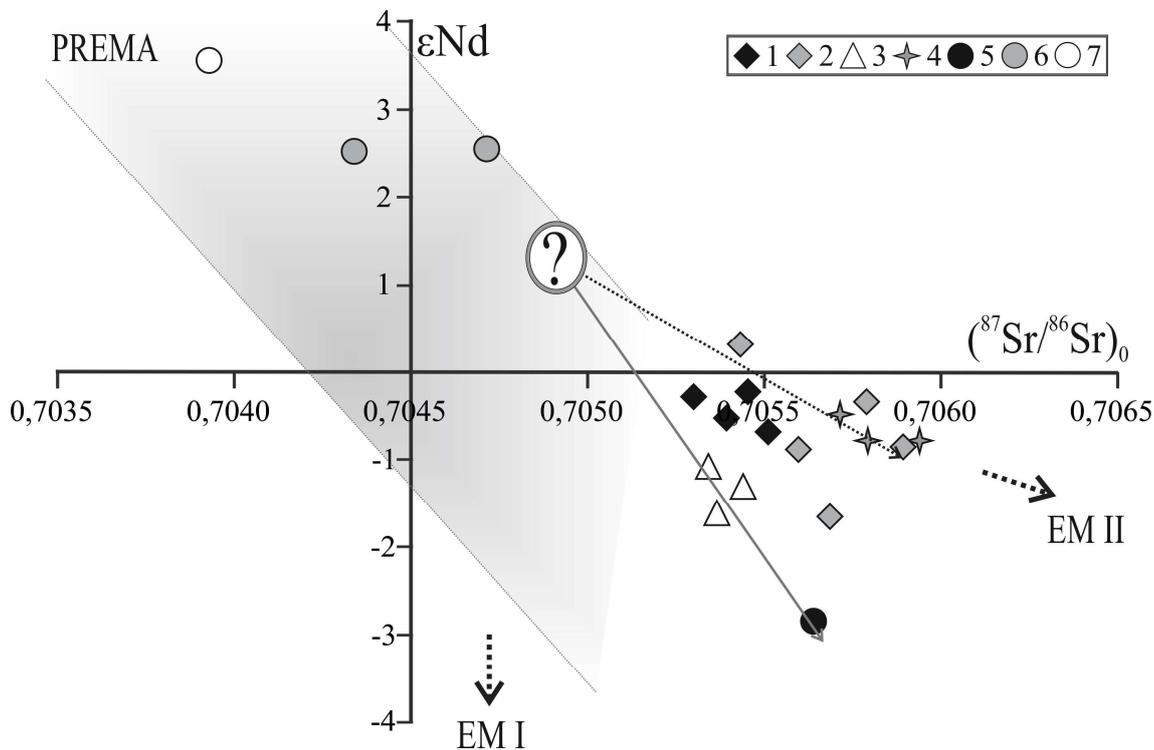


Рис. 5. Изотопный состав базальтоидов Удино-Еравнинской зоны на диаграмме $^{87}Sr/^{86}Sr_{(0)}$ - $\epsilon Nd_{(T)}$. Серым цветом выделено поле мантийной корреляции по [Фор, 1989]. Условные обозначения: 1 – средне-позднеюрские базальты, 2 – 5 раннемеловые базальты: 2 – Эгитинский грабен, 3 – Удинский грабен, 4 – Зазинский грабен, 5 – Еравнинский грабен; 6 – 7 породы позднего мела: 6 – трахибазальты, 7 – базаниты.

Различия между этапами магматизма также наблюдаются и в изменении изотопного

состава кислорода. Мантийным значениям отвечает изотопный состав кислорода в трахибазальтах средне-позднеюрской удинской свиты, $\delta^{18}\text{O} \approx 5,8\text{‰}$. Достаточно широкими вариациями отличаются составы базальтов раннего мела, где $\delta^{18}\text{O}$ изменяется в широких пределах от 6,5 до 7,9 ‰. Для позднемеловых пород значения приближаются к мантийным ($5,7 \pm 0,3 \text{‰}$ по [Rollinson, 1994], $5,4 \pm 0,2 \text{‰}$ по [Костровицкий и др., 2012]) и изменяются от 6,7 ‰ до 5,7 ‰. Высокие отношения тяжелого изотопа кислорода к легкому предполагают добавление механизма коровой контаминации к фракционированию магм раннего мела.

6.2. Механизмы формирования вулканитов Удино-Еравнинской зоны.

Модель формирования средне-позднеюрской вулканической серии. Модель, построенная на данных химического состава пород, указывает на формирование ряда трахибазальт – трахириодацит путем кристаллизационной дифференциации. Однако, данные минерального состава пород, а также их геохимические характеристики заставляют привлекать дополнительные механизмы в модели их образования, ассимиляцию коры и смешение расплавов. Для оценки этих процессов было проведено математическое (геохимическое) моделирование вариаций содержаний совместимых (Co, V) и несовместимого (Rb) элементов. На графике (рис. 5.) показан пример расчета процесса AFC (assimilation – fractional crystallization) по методу [DePaolo, 1981].

За состав источника был принят таковой для базальта обстановок внутриконтинентальных рифтов и континентальных горячих точек по [Наумов, 2017]. За ассимилируемые породы были приняты составы трахириолита цаган-хунтейской свиты из выборки [Воронцов и др., 2016] и гранита зазинской свиты из выборки [Цыганков, 2014]. Оба эти источника могли служить контаминантами для вулканитов удинской свиты.

Образование вулканических пород удинской свиты отвечающей составу шошонит-латитовой серии путем смешения расплавов трахибазальтового состава с гранитным зазинского комплекса представляется менее вероятным. Формирование пород удинской серии возможно при контаминации трахибазальтовой магмы веществом подобным по составу трахириолитам цаган-хунтейской свиты. Согласно существующим представлениям [Turner, Campbell, 1986; Ressler et al., 2003; Козловский и др., 2007; Хубанов и др., 2015], породы шошонит-латитовой серии формируются путем заполнения родоначальным расплавом магматической камеры, при его подъеме на поверхность. В пределах камеры происходит процесс плотностного расслоения магм. Так, в верхней части происходит накопление легких дифференцированных расплавов и оседание тяжелых, менее дифференцированных – в нижней ее части. Периодически происходит разгрузка этой камеры и заполнение новыми порциями расплава, в результате чего трахибазальтовая магма практически не взаимодействует с породами рамы, тогда как в верхней части камеры происходит перегрев дифференцированного силикатного расплава. Вследствие

этого перегрева, происходит взаимодействие расплава с низкомагнезиальными дифференциатами, либо с перекрывающими его магматическими выплавками из вмещающих пород, частично ассимилируя их, что приводит к формированию разнообразных гибридных вулканитов [Pescerillo et al., 2003; Хубанов, 2009, Афанасьева, 2001].

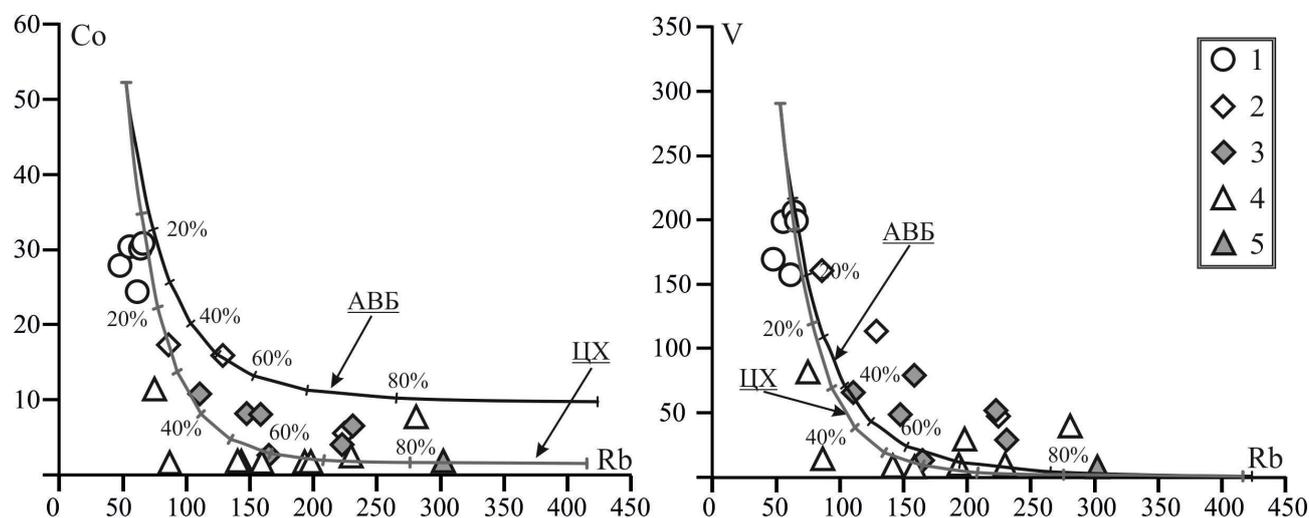


Рис. 5. Результаты геохимического моделирования фракционной кристаллизации трахибазальтовой магмы и механического смешения её с выплавками из вмещающих пород верхней континентальной коры.

Условные обозначения: 1 – трахибазальты; 2 – трахианзезиты; 3 – трахиты; 4 – трахидациты; 5 – трахириодациты.

Сокращения: линии AFC для расплава трахибазальтового состава по [Наумов, 2017] с: АВБ – гранитом зазинского комплекса Ангаро-Витимского батолита из выборки [Tsygankov, 2014], ЦХ – трахиориолитом цаган-хунтейской свиты из выборки [Воронцов и др., 2007].

Формирование вулканической серии достаточно хорошо увязывается с этой моделью.

Влияние коровой контаминации на формирование вулканических пород раннего мела. Меловые магматические процессы протекали во внутриплитных условиях и охватили всю территорию Удино-Еравнинской зоны. Несмотря на близость минерального и химического составов трахибазальтов, следует обратить внимание на отличия вещественных характеристик пород каждого из грабенов. Для основных вулканитов всех грабенов в той или иной степени характерно обеднение Nb, Ta, P, Eu и Ti, что предполагает процесс коровой контаминации [Туркина, 2014]. Породы Удино-Еравнинской зоны существенно различаются по изотопному составу. Точки их составов на графике (рис. 6) распадаются на две группы: первая группа характеризуется значениями ϵNd более (-1) и включает в себя базальты Эгитинского и Зазинского грабенов, во вторую входят точки пород с $\epsilon\text{Nd} < -1$, они отвечают базальтам Удинского и Еравнинского грабенов.

Величины $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ в породах грабенов достаточно близки и варьируют от 0,70534 до 0,70594. Различия проявляются также и в изотопном составе кислорода. Так, для трахибазальтов

Еравнинского и Удинского грабенов характерны вариации значений $\delta^{18}\text{O}$ от 6,5 до 6,6‰ (Еравнинский грабен) от 6,6 до 6,9‰ (Удинский грабен). Наиболее высоким отношениям тяжелого изотопа кислорода к легкому отвечают породы Зазинского ($\delta^{18}\text{O}$ от 7,4 до 7,9‰) и Эгитинского ($\delta^{18}\text{O}$ от 7,6 до 7,8‰) грабенов. Базальты раннего мела близки по геохимическим характеристикам, что позволяет предполагать для них общий мантийный источник, первичные характеристики которого были искажены процессами контаминации. Параметры этого источника можно оценить местом пересечения продолжений трендов распределения изотопных составов пород на графике (рис. 5). В пользу этого предположения указывает соответствие $\delta^{18}\text{O}$ пород удинской свиты мантийным значениям.

Сопоставление изотопных отношений стронция и неодима с содержаниями петрогенных и редких элементов позволяет наиболее точно определить параметры контаминантов, участвовавших в формировании пород раннего мела. Компонент, отвечающий за изменение составов эгитинских и зазинских базальтов, отличался достаточно высоким содержанием SiO_2 (> 54 мас.%), пониженным Sr (< 900 г/т), повышенными Zr (> 500 г/т) и REE (La > 100 г/т и Yb > 4 г/т), повышенными величинами ϵSr (> 20) и $\delta^{18}\text{O}$ (>7,4‰) при умеренных ϵNd (~ -1). Такие характеристики вполне соответствуют субщелочным гранитоидам зазинского комплекса Ангаро-Витимского батолита, преобладающих в раме позднемезозойских структур [Цыганков, 2014; Ярмолук, Коваленко, 2003]. Изменение составов вулканитов Удинского и Еравнинского грабенов было обусловлено участием пород нижней континентальной базитовой коры региона с мезопротерозойскими ($\text{TNd}_{\text{DM}} > 1,4$ млрд лет) характеристиками [Комарицына и др., 2018]. Эта кора обладает высокими содержаниями Sr (> 2000 г/т), умеренным или пониженным относительно состава базальтов содержаниями Zr (< 400 г/т), La (< 100 г/т), Yb (< 3 г/т), $\epsilon\text{Nd} > -3$ и $\delta^{18}\text{O} \sim 6,5\text{--}6,7$ ‰.

Основываясь на вышеперечисленных характеристиках, можно сделать вывод о том, что формирование раннемеловых пород происходило при взаимодействии мантийных магм с породами коры. Магмы Зазинского и Эгитинского грабенов взаимодействовали с верхнекоровыми гранитоидами Ангаро-Витимского батолита. Магмы Удинского и Еравнинского грабенов несут черты контаминации веществом нижней коры. Также необходимо отметить оторванность во времени этих магматических процессов друг от друга. Согласно датировкам, полученным для грабенов Удино-Еравнинской зоны [Ярмолук, Иванов, 2000, Воронцов и др., 2016] вулканизм в Зазинском и Эгитинском грабенах протекал в период 135-143 млн лет, в Удинском и Еравнинском в интервале 117-131 млн лет.

6.3. Условия формирования и кристаллизации магм Удино-Еравнинской зоны.

Температуры и давления генерации базальтовых магм. Расчет температур и давлений формирования магматических расплавов, в результате которых произошло образование

вулканических пород Удино-Еравнинской зоны, производился по методу [Lee et al., 2009]. Согласно данным расчетов температура формирования магмы для трахибазальтов удинской свиты должна составлять 1450^oC при давлениях 28,4 кбар. Для пород раннего мела эти значения варьируют в более широких пределах, T колеблется от 1400 до 1500^oC при P от 24,6 до 29,6 кбар. Следует учитывать незначительное, но достаточное воздействие на состав вулканитов средней-поздней юры и раннего мела коровой контаминации, которое и исказило исходные данные в сторону уменьшения значений температур и давлений. Для базанитов позднего мела установлено самое высокое значение температуры - 1600^oC при давлении 35,3 кбар.

Условия кристаллизации базальтовых магм. Расчёт условий кристаллизации магматических пород Удино-Еравнинской зоны проводился с использованием термобарометров пироксен-расплав по [Putirka, 2008, Neavel, Putirka, 2017]. Кристаллизация пироксенов в трахибазальтах протекала при температурах около 1000^oC и давлении \approx 0,95 кбар. Для вкрапленников пироксенов из раннемеловых базальтов характерны T от 950 до 1000^oC, при широких вариациях P (от 0,90 до 3,58 кбар). Кристаллизация пироксенов базанитов позднего мела проходила при T \approx 1000^oC и P \approx 0,90 – 1,58 кбар.

ГЛАВА 7. ЭВОЛЮЦИЯ МАГМАТИЗМА УДИНО-ЕРАВНИНСКОЙ ЗОНЫ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ

7.1. Общие эволюционные тенденции в развитии магматизма Удино-Еравнинской зоны. В процессе развития Удино-Еравнинской зоны происходила смена состава магматических источников. В средней-поздней юре источник характеризовался обогащением Rb, Ba, Sr и LREE и изотопными характеристиками близкими ЕМII. Для источника раннемеловых пород также типично обогащение Rb, Ba, Sr и LREE, что отвечает параметрам источника средне-позднеюрских магм. Однако при сравнительном анализе было установлено, что трахибазальты раннего мела обогащены железом и легкими редкоземельными элементами в сравнении с предыдущим этапом развития зоны. Также на основании геохимического моделирования было установлено, что источник для пород этого этапа был обеднен радиогенным стронцием и обогащен радиогенным неодимом в сравнении с источником базальтовых магм средней-поздней юры. В позднем мелу состав базальтов был близок к ОIВ. Обогащение базанитов редкими элементами Ba, Th, U, Nb и Ta и REE в сравнении с ОIВ объясняется низкой степенью частичного плавления мантии. Изотопные характеристики источника вулканитов позднего мела отвечают таковым для пород PREMA. Таким образом, наблюдаются следующие эволюционные тенденции вулканизма Удино-Еравнинской зоны: увеличение содержаний титана, железа и редкоземельных элементов, прежде всего иттриевой группы (рис. 7), исчезновение отрицательной Nb-Ta аномалии и изменение изотопных характеристик источника в направлении

состава от EM II к PREMA.

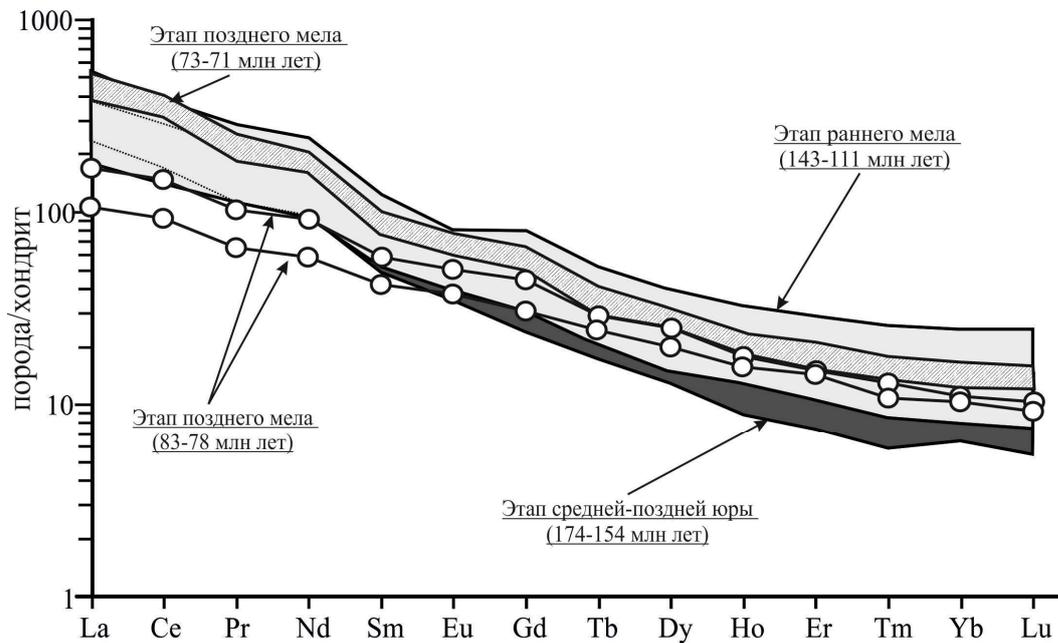


Рис. 7. Распределение нормированных к хондриту редких и редкоземельных элементов в вулканических породах Удино-Еравнинской зоны.

Составы примитивной мантии и хондрита приведены по [Sun, McDonough, 1989].

7.2. Геодинамические аспекты эволюции Удино-Еравнинской зоны. Формирование средне-позднеюрских вулканитов Удино-Еравнинской зоны, как и формирование аналогичных по возрасту проявлений магматизма Западно-Забайкальской области, было обусловлено сочетанием процессов, связанных с развитием Монголо-Охотского орогенного пояса и движением океанической плиты в пределах смежной западной части Палео-Тихого океана, направленной в сторону окраины Северной Азии. В результате этих движений на восточной окраине Сибирского континента произошло формирование систем надсубдукционных вулканических поясов, одним из которых является Большехинганский. В средней-поздней юре конвергентные движения компенсировались растяжением земной коры на территории Забайкалья, что привело к образованию ряда впадин и грабенов, сопровождавшееся магматической деятельностью [Парфенов и др., 2003].

Период раннего мела стал самым активным как в развитии Удино-Еравнинской зоны, так и в развитии Западно-Забайкальской рифтовой области в целом. Здесь протекали интенсивные процессы континентального внутриплитового грабенообразования. В это время происходили крупномасштабные излияния умереннотитанистых и высокотитанистых базальтов субщелочных и щелочных серий. Возрастные границы этого периода определяются интервалом 140 – 120 млн. лет назад, который совпал с периодом глобальной внутриплитной активности [Larson, Olson, 1991]. Важной особенностью Удино-Еравнинской зоны стало длительное развитие

магматических процессов во времени, которое продолжалось вплоть до кайнозоя, при уменьшении масштабов магматизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За период 2014-2019 гг. были получены новые геологические сведения для позднемезозойских вулканических пород Удино-Еравнинской зоны Западного Забайкалья. Их изучение позволило внести ряд изменений в общую схему магматизма Западного Забайкалья, созданную предшествующими исследователями. Так, благодаря изучению взаимоотношений вулканических пород средней-поздней юры и мела было установлено, что рифтогенез на территории Удино-Еравнинской зоны начался только в начале раннего мела. Юрская вулканическая активность была связана с конвергентными процессами, происходившими в восточной окраине Сибирского континента.

Новые данные по изотопному составу неодима, стронция и кислорода в сочетании с геохимическими особенностями вулканитов позволили оценить эволюцию составов пород и материнских расплавов во времени, а также процессы мантийно-корового взаимодействия.

Возникающие в результате проведенной работы вопросы предполагают продолжение исследований рифтогенного магматизма не только на территории Удино-Еравнинской зоны и других районов Западно-Забайкальской вулканической области, но и на территории одновозрастных внутриплитных областей Центральной Азии.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах из перечня ведущих периодических изданий ВАК

1. 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
2. Комарицына Т.Ю. Особенности вещественного состава меловых базальтов Западно-Забайкальской рифтовой области и эволюция источников внутриплитного магматизма на примере Удинского сектора // Известия сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 2 (59). С. 61-74
3. Комарицына Т.Ю., Ярмолюк В.В., Воронцов А.А. Роль коровой контаминации в раннемеловом магматизме Западно-Забайкальской рифтовой области. // Доклады Академии наук. 2018. Т. 481. № 3. С. 305-309

Материалы совещаний и тезисы конференций

1. Комарицына Т.Ю., Сасим С.А. Геохимия и Sr-Nd изотопная систематика мезозойских вулканитов Удинской и Александрово-Заводской впадин // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: Материалы III всероссийской молодёжной научной

конференции. – Улан-Удэ. 2015. С. 68-71

2. Комарицына Т.Ю., Воронцов А.А. Эволюция рифтогенного магматизма Удинского сектора, Западное Забайкалье // Петрография магматических и метаморфических горных пород. Материалы XII Всероссийского Петрографического совещания с участием зарубежных учёных. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 168-169

3. Комарицына Т.Ю. Этапы формирования, ассоциации и эволюция состава позднемезозойских вулканических пород Удинского сектора (Западное Забайкалье) // Вопросы естествознания. 2015. № 4 (8) .с. 66-69

4. Комарицына Т.Ю. Вулканизм Удино-Еравнинской, Нерчинской и Александрово-Заводской впадин Забайкалья // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета. Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт природных ресурсов (ИПР); Общество инженеров-нефтяников, международная некоммерческая организация; Под ред. А. Ю. Дмитриева. 2016. С. 155-157.

5. Комарицына Т. Ю., Сасим С. А. Изотопно-геохимическая характеристика вулканитов средней и поздней юры удинской и кайлаской свит Забайкалья // Материалы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского (28 февраля – 3 марта 2017 г., ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург) [Электронный ресурс] / Минприроды России, Роснедра, ВСЕГЕИ. – Электрон. данные. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2017. – 1 оптич. диск (DVD-ROM). С 761-763

6. Комарицына Т.Ю. Геохимические и изотопные (Sr, Nd, O) характеристики позднемезозойских вулканических ассоциаций Удинской зоны Западно-Забайкальской рифтовой области // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции с участием исследователей из других стран. 2017. С. 121-122.

7. Комарицына Т.Ю., Воронцов А.А., Ярмолюк В.В. Геохимические и изотопные (Sr, Nd, O) свидетельства мантийно-корового взаимодействия при образовании мезозойских вулканитов Западного Забайкалья (Удинский сектор) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) Материалы научного совещания. Институт земной коры СО РАН. 2017. С. 133-134.

8. Т.Ю. Комарицына, А.А. Воронцов Геохимические и изотопные (Sr, Nd, Pb, O) параметры позднемезозойских вулканитов Удино-Еравнинской зоны // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 16. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2018. – 131-133 с.

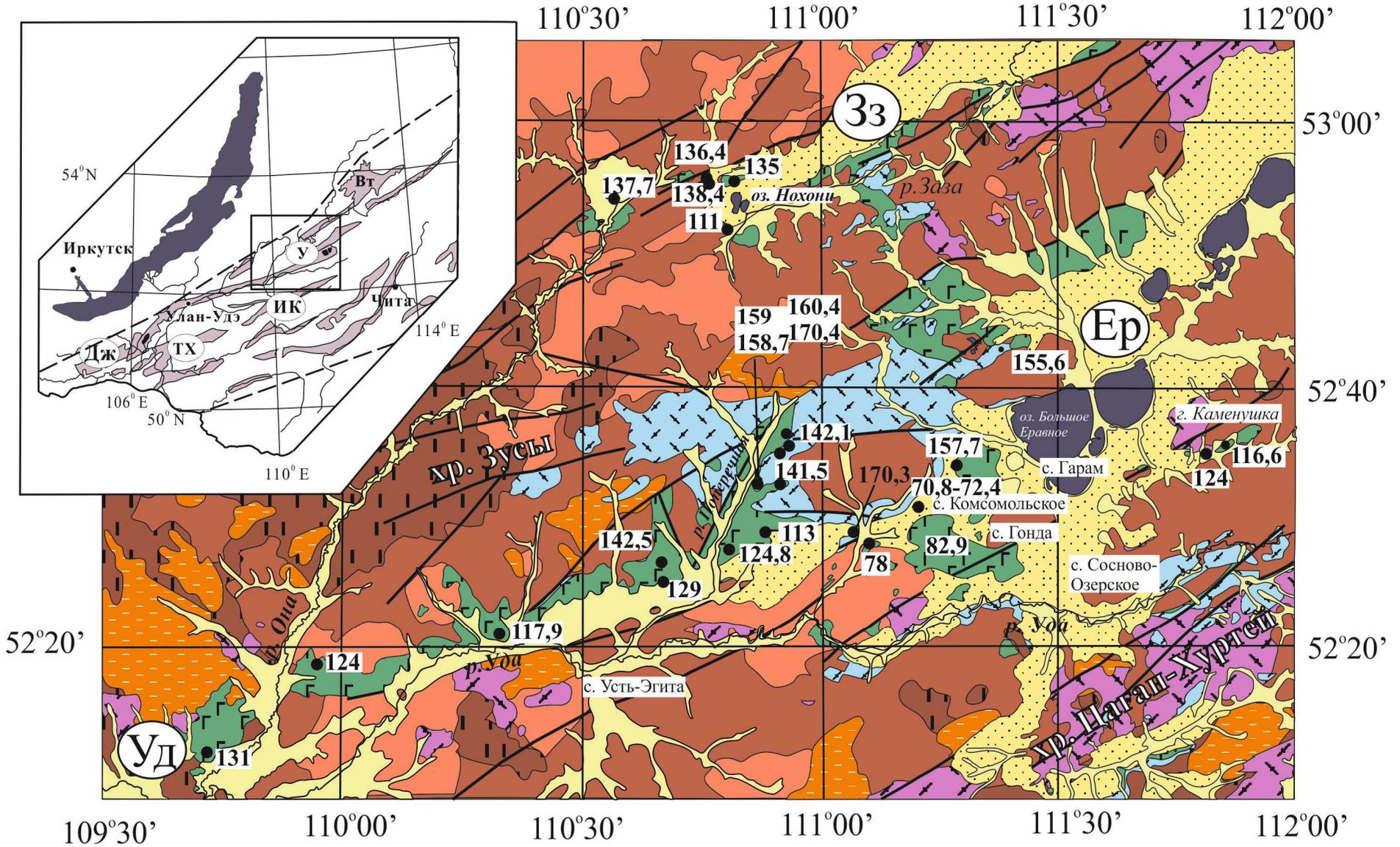


Рис. 1. Схема геологического строения Удино-Еравнинской зоны по материалам [Ярмолюк, Иванов, 1998, 2000; Воронцов и др., 2016; Геологическая карта, 1970; Геологическая карта, 1971; Государственная геологическая карта, 2011], с упрощениями.

Условные обозначения: 1 – четвертичные отложения; 2 – поздний мел-палеогеновые осадочные породы; 3 – 5 вулканические образования: 3 – меловых хилокской и зазинской свит; 4 – средне-позднеюрской удинской свиты; 5 – триасовой цаган-хунтейской свиты; 6 – 9 – интрузивные породы фундамента грабенов: 6 – триасовый сиенит-гранитовый комплекс; 7 – витимканский сиенит-гранодиорит-гранитовый комплекс, I фаза; 8 – витимканский сиенит-гранодиорит-гранитовый комплекс, II фаза; 9 – пермский бичурский габбро-монцонит-гранитовый комплекс; 10 – разломы; 11 – места опробования и возраст пород (млн лет), 12 – мезозойские впадины и грабены (на врезке). Грабены (буквы в кружках): Эг – Эгитинский, Уд – Удинский, Ер – Еравнинский и Зз – Зазинский.