

на правах рукописи



АРХИПОВ Михаил Викторович

Палеомагнетизм, геохронология и геохимия меловых пород Кемского (кемская свита) и Киселевско-Маноминского (силасинская и адаминская свиты) террейнов Сихотэ-Алиньского орогена: обстановки формирования

Специальность 25.00.01 - Общая и региональная геология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Хабаровск
2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Научный руководитель:

Диденко Алексей Николаевич, главный научный сотрудник лаборатории тектоники ИТиГ ДВО РАН, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН.

Официальные оппоненты:

Казанский Алексей Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры региональной геологии и истории Земли Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

Касаткин Сергей Алексеевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории региональной геологии и тектоники ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), г. Новосибирск.

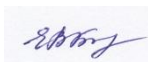
Защита состоится 25 мая в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 005.006.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Дальневосточный геологический институт ДВО РАН по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ДВО РАН и на сайте ДВГИ ДВО РАН <http://www.fegi.ru>

Отзывы на диссертацию и автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета к.г.-м.н. Перевозниковой Елене Валериевне по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159, ДВГИ ДВО РАН.
E-mail: elenavalper@yandex.ru

Автореферат разослан « » марта 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 005.006.01, к.г.-м.н.



Е.В. Перевозникова

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования.

Вопрос формирования Сихотэ-Алиньского орогенного пояса затрагивался многими учеными, однако на сегодняшний день не предложено единой геодинамической модели его формирования. По современным представлениям Сихотэ-Алиньский орогенный пояс является аккреционным коллажем гетерогенных террейнов и на основе этой концепции представлено множество тектонических реконструкций Сихотэ-Алиньского орогена. Однако при детальном изучении этих реконструкций мы сталкиваемся с противоречиями (например, относительно положения Журавлевско-Амурского террейна в раннем мелу). Отсутствие единого взгляда на историю формирования Сихотэ-Алиньского орогенного пояса, а также противоречия в террейновых моделях данного региона вызывают необходимость создания современных геодинамических моделей, основанных на комплексе новых геолого-геофизических данных. Попытки получить качественные палеомагнитные данные по ключевым структурам Сихотэ-Алиня предпринимались и ранее (Храмов, 1988; Баженов и др., 1999; Бретштейн и др., 1996; 2003; Uno et al., 1999), однако результативность проведенных исследований довольно низкая, что обусловлено наличием в регионе позднемезозойского перемагничивания. В данной работе был применен комплекс геохимических, геохронологических и палеомагнитных исследований, позволяющий создать геодинамическую модель восточной окраины Евразии, подтвержденную тремя независимыми методами исследования. Поэтому актуальность избранной темы не вызывает сомнений.

Объекты исследования.

В качестве объектов исследований, после проведения рекогносцировочных работ, нами были определены нижнемеловые породы островодужного генезиса двух комплексов, в настоящее время входящих в состав двух различных террейнов: 1) островодужный вулканогенно-терригенный (готерив-альб-сеноман, Маркевич и др., 1997) Удыльского сегмента Киселевско-Маноминского террейна; 2) песчаники и алевриты верхнекемской подсвиты (альб, Маркевич и др., 2000; Малиновский и др., 2002) кемской свиты Кемского террейна. В современной структуре Сихотэ-Алиньского орогенного пояса объекты отстоят друг от друга почти на 750 км.

Цель исследования.

Основной целью проведенного исследования явилось комплексное изучение меловых пород адаминской, силасинской (Киселевско-Маноминский террейн) и кемской (Кемский террейн) свит для выяснения источников сноса обломочного материала и геодинамических обстановок, контролировавших процесс накопления этих отложений. Подобный комплекс позволяет представить геодинамическую модель аккреционного процесса Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов.

Научные задачи.

На основе палеомагнитных и геохронологических данных реконструировать этапность и кинематику аккреционного процесса изучаемых террейнов, а также их взаиморасположение относительно друг друга и окраины палеоконтинента в геологическом прошлом.

Для достижения поставленной задачи необходимо выполнение следующих этапов исследования:

1) определение состава магнитных минералов, основных палео- и петромагнитных характеристик образцов пород кемской и силасинской свит, а также степени влияния позднемезозойского регионального перемагничивания;

2) расчет палеошироты места формирования изученных свит Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов и соответствующих палеомагнитных полюсов, а также сопоставление этих данных с целью реконструкции их пространственных взаимоотношений и определения их принадлежности к палеоконтиненту;

3) создание геодинамической модели, описывающей меловую эволюцию Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов;

4) определение источников сноса для осадочных пород кемской и силасинской свит Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов на основе геохронологических исследований;

5) на основе геохимических исследований определить геодинамические условия формирования вулканитов адаминской свиты Киселевско-Маноминского и кемской свиты Кемского террейнов.

Научная новизна и значимость.

В ходе данного исследования был применен комплексный подход, включающий синтез палеомагнитных, геохимических данных и результатов датирования детритовых цирконов из осадочных пород. Подобный комплекс был применен на примере Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов и позволил решить ряд взаимосвязанных задач:

1) определение исходного положения Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов в момент формирования слагающих их толщ, благодаря чему определены направления и амплитуды перемещения этих террейнов;

2) определение характера источников кластического материала осадочных толщ в изучаемых террейнах;

3) определение возрастного спектра геологических комплексов, участвовавших в источнике обломочного материала осадочных толщ, что помогло выявить роль древних континентальных блоков и молодых аккреционных сооружений в формировании мезозойских осадков;

4) создание геодинамической модели, описывающей меловую эволюцию Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов.

Защищаемые положения.

1. Распределения датировок цирконов с конкордантными возрастными из апт-альбских осадочных пород Кемского (кемская свита) и Киселевско-Маноминского (силасинская свита) террейнов свидетельствуют о различных источниках сноса кластического материала, формировавших эти свиты. Распределение датировок цирконов из осадочных пород Кемского террейна имеет широкий возрастной интервал от 107.5 до 2544.6 млн лет, что свидетельствует о поступлении кластического материала с близлежащего палеоконтинента. Возрастной интервал распределения датировок цирконов из осадочных пород Киселевско-Маноминского террейна существенно уже – от 110 до 383.5 млн лет.

2. На основе надежных палеомагнитных данных установлено, что палеошироты формирования апт-альбских и альб-сеноманских осадочных пород Кемского (кемская свита) и Киселевско-Маноминского (силасинская свита) террейнов практически идентичны. Палеошироты формирования осадочных пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов составляют $36 \pm 6^\circ$ и $33 \pm 5^\circ$ северной широты, соответственно.

3. Основываясь на геохронологии детритовых цирконов, палеомагнитных и петрогеохимических характеристиках разновозрастных пород Кемского (кемская свита) и Киселевско-Маноминского (силасинская свита) террейнов, можно утверждать, что изученные комплексы этих двух террейнов формировались на близких палеоширотах, но в различных палеогеодинамических зонах у восточной окраины Евразийского палеоконтинента на рубеже апт-сеноман. Изученные породы Киселевско-Маноминского террейна отлагались в геодинамической обстановке эпиокеанической (внешней) островной дуги, последняя была отделена междуговым бассейном от внутренней (вулканической) островной дуги, в которой происходило накопление осадков Кемского террейна. Ширина и глубина бассейна были достаточны для того, чтобы влияние континентальных источников сноса в зоне накопления осадков Киселевско-Маноминского террейна не сказывалось.

Теоретическая и практическая значимость.

Проанализированный комплекс петромагнитных, палеомагнитных и геохронологических определений является важным вкладом в базу геолого-геофизических данных для территории Сихотэ-Алиня. Представленные в работе оригинальные материалы могут быть использованы при составлении прогнозных карт для поиска месторождений полезных ископаемых, связанных с геодинамическими обстановками субдукционной и трансформной континентальных окраин. Данные для построения палеогеодинамической реконструкции и сама реконструкция могут быть использованы при подготовке современных геолого-геофизических учебных курсов для бакалавров и магистрантов по направлению «Геология». Полученные в работе результаты важны для более полного представления о геологическом строении и эволюции

Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и могут быть использованы при построении геодинамических моделей данного региона.

Степень достоверности результатов.

Высокая степень достоверности полученных результатов обеспечивается благодаря высококачественному проведению палеомагнитных исследований на современном оборудовании. Все палеомагнитные измерения проводились в лаборатории тектоники ИТиГ ДВО РАН (г. Хабаровск) при помощи спин-магнитометра JR-6A (AGICO, Чехия), палеомагнитной печи для терморазмагничивания (Россия), криогенного (SQUID) магнитометра 2G Enterprises (США) со встроенной установкой для размагничивания образцов, капнометра МФК1-FA мостового типа (AGICO, Чехия). Пробоподготовка и выделение цирконов из штуфов проведены в Высшей школе науки и техники Университета г. Тояма, U-Pb датирование цирконов (LA-ICP-MS) – в Высшей школе прикладных исследований Университета г. Нагоя на приборе Agilent 7700x по методике (Kouchi et al., 2015). Измеренные соотношения $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ для каждого отдельного зерна фиксировались с аналитической ошибкой измерения $\pm 2\sigma$. Итоговый возраст конкордантных обломочных цирконов рассчитывался по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, расчет распределений измеренных возрастов изученных цирконов и аппроксимационной вероятностной плотности их возрастов производился по программе Isoplot 3.7 (Ludwig, 2012). Петрогеохимические исследования произведены в аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН: на петрогенные элементы – методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на S4 Pioneer Bruker (Германия) (аналитик Л.М. Ильин), на редкие и редкоземельные элементы – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ISP-MS Elan 9000 (Канада) (аналитики А.В. Штарева, А.Ю. Лушникова).

Апробация результатов исследования.

Результаты по теме диссертации представлены на 5 российских и международных конференциях, совещаниях, среди которых: тектоническое совещание «Тектоника современных и древних океанов и их окраин» Москва, 2017; конференция «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород» Казань, 2017; конференция «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» Владивосток, 2018; тектоническое совещание «Проблемы тектоники континентов и океанов» Москва, 2019; X Косыгинские чтения «Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии» Хабаровск, 2019.

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, из них 4 статьи в реферируемых научных журналах списка ВАК.

Личный вклад автора и фактический материал.

Каменный материал, лабораторное исследование которого положено в основу диссертации, включает 4 коллекции (705 ориентированных образцов).

Автор участвовал в отборе проб для геохронологических исследований, а также в расчете и интерпретации полученных результатов.

Объем и структура работы.

Диссертация представлена на 127 страницах и состоит из Введения, шести глав и Заключения. В структуру диссертационной работы включены 45 рисунков, 4 таблицы, 3 приложения и список литературы из 119 наименований.

Благодарности.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, члену-корреспонденту РАН А.Н. Диденко за внимание и всестороннюю поддержку в ходе выполнения работы.

Крайне признателен коллегам по ИТиГ ДВО РАН за неоценимую помощь при подготовке диссертационной работы, консультации и конструктивную критику: И.П. Войновой, к.г.-м.н. В.А. Гурьянову, д.г.-м.н. В.Ю. Забродину, к.г.-м.н. С.В. Зябреву, к.г.-м.н. А.В. Кудымову, к.г.-м.н. Е.В. Нигай, к.г.-м.н. А.Ю. Пескову, к.г.-м.н. Л.И. Попеко, А.И. Тихомировой. Во время представления настоящих результатов на Всероссийских научных конференциях конструктивные предложения и замечания высказывали академики РАН А.И. Ханчук и В.В. Ярмолук, члены-корреспонденты РАН С.Д. Соколов и А.А. Сорокин, д.г.-м.н. В.В. Голозубов, д.г.-м.н. И.К. Козаков, д.г.-м.н. Д.В. Метелкин, к.г.-м.н. П.С. Минюк, д.г.-м.н. Д.К. Нургалиев, д.ф.-м.н. В.Э. Павлов, д.ф.-м.н. В.П. Щербаков и многие другие, за что автор им очень признателен и благодарен. Благодарю сотрудников ИТиГ ДВО РАН С.В. Бурю, Е.Ю. Диденко, Т.Л. Корякину и О.М. Меньшикову за помощь в обеспечении экспедиционных работ, техническом оформлении рукописей статей и текста настоящей диссертации. Работа выполнена в рамках темы института, проектов РФФИ (№ 15-05-03171; № 18-05-00117) и РНФ (№ 16-17-00015).

Содержание работы

ГЛАВА 1. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ЭВОЛЮЦИИ СИХОТЭ-АЛИНЬСКОЙ ОКРАИНЫ ЕВРАЗИЙСКОГО КОНТИНЕНТА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ И ВЫБОР ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сихотэ-Алинский орогенный пояс протягивается полосой северо-восточного простирания на расстояние около 1500 км при ширине 600 км от южных границ Приморья до Нижнего Приамурья. На юге ороген граничит с Цзямусы-Буреинским и Ханкайским массивами по Арсеньевскому разлому, а на севере – по Куканской и Цилинской системам разломов (Глубинное строение и металлогения..., 2010). Граница между Сихотэ-Алинским и Монголо-Охотским поясами проходит по Лимурчанскому и Пауканскому разломам. Согласно работе (Геодинамика, магматизм..., 2006), формирование пояса началось в неокоме и продолжалось вплоть до позднего альба в обстановке трансформной окраины

при наличии пликативных и дизъюнктивных деформаций, обусловленных крупномасштабными левосдвиговыми перемещениями по системе окраинно-континентальных сдвигов. К постаккреционным образованиям отнесены раннемеловые вулканиты Хингано-Охотского, позднемеловые вулканиты Восточно-Сихотэ-Алиньского поясов, а также комплексы кайнозойских вулканитов и угленосных терригенных пород.

В конце 80-х-начале 90-х годов прошлого столетия для ряда геологических структур северо-восточной окраины Евразии были получены геолого-структурные и биостратиграфические доказательства их аккреционной (террейновой) природы, в том числе и для ее Сихотэ-Алиньской части (Парфенов и др., 1988; Ханчук и др., 1988; Натальин, 1991; и др.). Впервые в России ряд аккреционных комплексов Сихотэ-Алиньского орогена был определен как террейны аккреционных призм зон субдукции, в которых омоложение тектоно-стратиграфических единиц вниз по разрезу соответствует первичному разрезу аккреционной призмы, а не является результатом развития надвигов и шарьяжей. (Ханчук и др., 1988; Натальин, 1991; Кемкин, Ханчук, 1992; Геодинамика..., 2006 и др.). Согласно общепринятой на сегодня тектонической модели строения Сихотэ-Алиня (Геодинамика..., 2006; Голозубов, 2006; Khanchuk et al., 2016; и др.) (рисунок 1), в его пределах выделяются 9 террейнов, выполненных, в основном, фрагментами: 1) юрских аккреционных призм (Баджалский, Наданьхада-Бикинский, Самаркинский, Хабаровский) и турбидитов приконтинентального бассейна (Ульбанский); 2) раннемеловых аккреционных призм (Киселевско-Маноминский, Таухинский), турбидитов синсдвигового бассейна (Журавлевско-Амурский) и островодужной системы (Кемский).

Главной задачей настоящего исследования является создание геодинамической модели, демонстрирующей меловую эволюцию Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов. Для достижения поставленной задачи было проведено комплексное (геологическое, геохимическое, геохронологическое, петро- и палеомагнитное) изучение меловых пород Кемского террейна и северо-восточного Удыльского сегмента Киселевско-Маноминского террейна. Благодаря геохимическим исследованиям были определены условия формирования пород кемской и силасинской свит Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов, соответственно. На основе геохронологических исследований определено время начала формирования кемской и силасинской свит, для осадочных пород которых установлены источники сноса. Задачами петро- и палеомагнитных исследований являлись определение состава магнитных минералов, основных палео- и петромагнитных характеристик, степени влияния позднемезозойского регионального перемагничивания, а также сопоставление полученных координат палеомагнитных полюсов свит Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов с целью реконструкции их пространственных взаимоотношений и

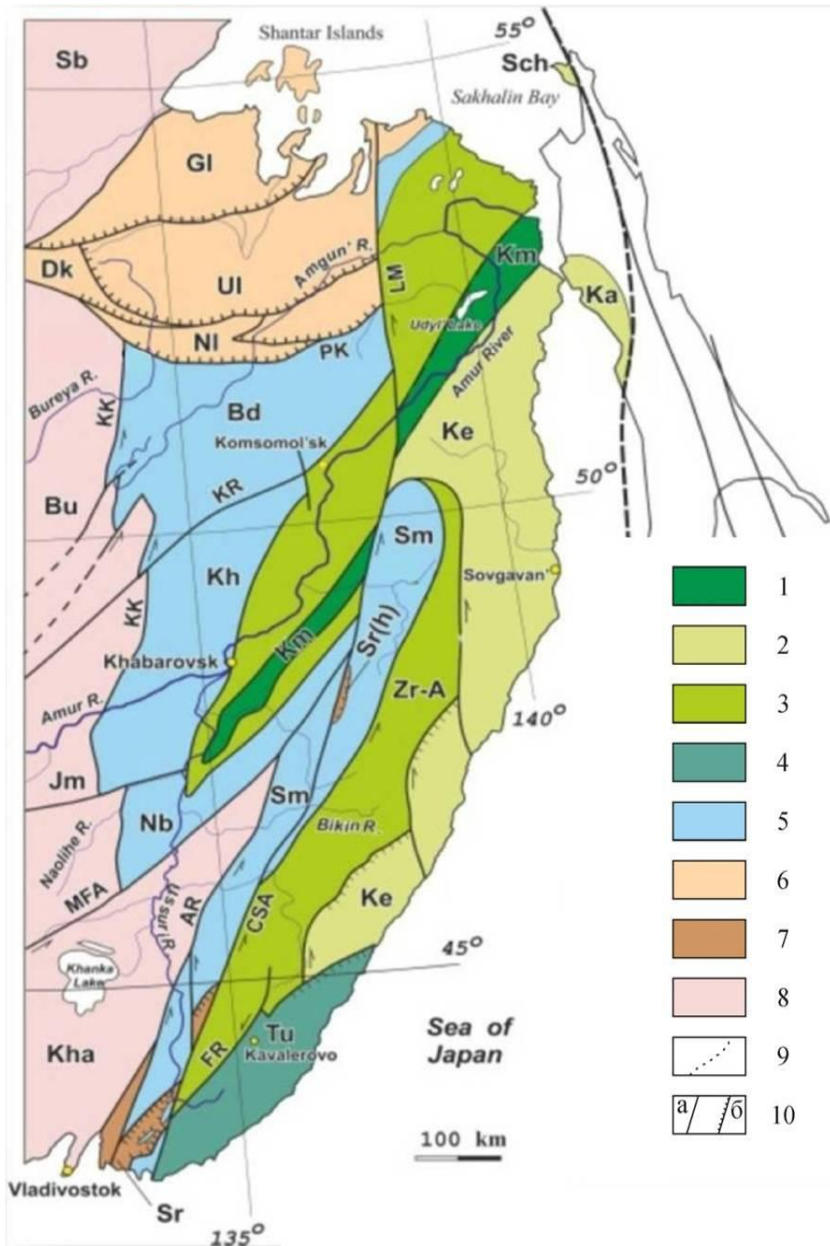


Рисунок 1 Тектоническая схема террейнов Сихотэ-Алиньского орогенного пояса, по (Геодинамика., 2006; Khanchuk A.I., Kemkin I.V., 2015).

1-7 террейны: 1 – готерив-альбской аккреционной призмы (Kt – Киселевско-Маноминский), 2 – готерив-альбской островодужной системы (Ke – Кемский, Ka – Камышовский, Sch – Шмидта), 3 – раннемелового синсдвигового турбидитового бассейна (Zr-A – Журавлевско-Амурский), 4 – раннемеловой (неокомской) аккреционной призмы (Ti – Таухинский), 5 – юрской аккреционной призмы (Bd – Баджалский, Kh – Хабаровский, Nb – Наданьхада-Бикинский, St – Самаркинский), 6 – Монголо-Охотского орогенного пояса (Dk-Джагдино-Кербинский, Ni – Ниланский, Ul – Ульбанский), 7 – палеозойской континентальной окраины, перекрывающий юрскую аккреционную призму (Sr – Сергеевский, Sr (h) – Хорский); 8 – домезозойские континенты: Бурея (Bu)-Дзямусы (Jm)-Ханкайский (Kha) супертеррейн и Сибирский кратон (Sb); 9 – восточная граница Сихотэ-Алиньского орогенного пояса; 10 – разломы: а – сдвиг; б – надвиг.

определения их принадлежности к палеоконтиненту.

Кемский террейн, расположенный вдоль восточной части Сихотэ-Алиньского орогенного пояса, протягивается в виде полосы северо-северо-восточного простирания протяженностью 900 км (вплоть до правобережья р. Амур) при ширине 80-150 км. Кемский террейн является фрагментом тыловодужной части готерив-альбской островной дуги (Симаненко и др., 2001) и был выделен как самостоятельная структурная единица в 1995 г. при составлении тектонической карты Приморья (Ханчук и др., 1995). Облик террейна представлен баррем-альбскими терригенными, в основном флишевыми отложениями и вулканитами основного, реже – среднего состава. Вулканогенно-осадочные образования интерпретируются как отложения задугового бассейна Монероно-Самаргинской островодужной системы.

Киселевско-Маноминский аккреционный комплекс, по (Натальин, 1991), или Нижнеамурский террейн (Ханчук и др., 1994) расположен в нижнем Приамурье, протягивается прерывистой полосой на 700 км вдоль р. Амур и интерпретируется как фрагмент ранне-среднемеловой аккреционной призмы (Маркевич и др., 1997, 2000; Филиппов, 2001). Террейн трассируется узкой полосой северо-восточного направления шириной 5-20 км в виде трех выходов. Первый – Вяземский – располагается на правобережье приустьевой части р. Усури. Маноминский – дислоцирован на правобережье р. Амур, в бассейне нижнего течения рр. Анюй и Манома. Последний – Киселевский – находится на левобережье р. Амур, с. Киселевка – оз. Удыль. Киселевско-Маноминский террейн представлен юрско-меловыми вулканогенно-кремнистыми и терригенными образованиями.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, АППАРАТУРА

В ходе выполнения диссертационной работы исследования проводились различными геолого-геофизическими методами. Наряду с традиционными геолого-структурными и геохимическими, использовались палеомагнитный и геохронологический методы. Применение двух последних методов позволило получить новые оригинальные результаты по тектонической эволюции Сихотэ-Алиньского орогенного пояса, ввести ряд ограничений в существующие геодинамические модели пояса в меловое время.

Геохронологический метод был задействован для датирования детритовых цирконов из осадочных пород реперных комплексов Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов, что позволило получить оценку «верхнего» возраста этих пород и на основе характерных распределений возраста детритовых цирконов, извлеченных из песчаников и алевропесчаников комплексов, определить источники их сноса. Геохронологическое изучение детритовых цирконов было проведено совместно с японскими коллегами из университета г. Тояма.

Собственные петро- и геохимические исследования магматических пород реперных комплексов Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов были проведены на ограниченном количестве образцов, на аппаратурной базе Центра коллективного пользования Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН. Для определения конкретных геотектонических обстановок образования этих комплексов использовалась, помимо собственных данных, практически вся известная информация об их химическом составе (Малиновский и др., 2005; Малиновский, 2010; Симаненко и др., 2010; Диденко и др., 2014; Маркевич и др., 1997).

Одним из основных методов настоящей работы являлся палеомагнитный, который позволил решить вопросы, связанные с восстановлением взаимного положения тектонических единиц, их палеогеографического (широтного) положения, кинематики дрейфа. Палеомагнитные и петромагнитные исследования полностью выполнены на аппаратурной базе Центра коллективного пользования Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН.

ГЛАВА 3. ГЕОХРОНОЛОГИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД КЕМСКОЙ И СИЛАСИНСКОЙ СВИТ

В бассейне р. Кема для геохронологического изучения детритовых цирконов в береговом обнажении р. Холмогорка (правый приток р. Кема; 45.67° с.ш., 136.72° в.д.) был отобран 10 килограммовый штуф (К-15/5) из песчаников верхнекемской подсвиты — самой молодой части разреза. Зерна цирконов,

выделенные из штуфа К-15/5 (Кемский террейн), представлены прозрачными бесцветными кристаллами различного габитуса. Часть кристаллов сохранила удлиненно-призматические и дипирамидальные очертания, другая группа кристаллов имеет округлые очертания. Оставшиеся зерна кристаллов можно охарактеризовать как обломки вышеописанных групп кристаллов. Размер кристаллов менее 150 мкм. Зерна имеют как светлые, так и темные оболочки.

В ходе исследования детритовых цирконов из песчаников верхней подсвиты кемской свиты было выделено 135 зерен и получено 58 конкордантных оценок возраста, характеризующихся широким диапазоном – от палеопротерозоя (2544.6 млн лет) до раннего мезозоя (108 млн лет). Самый «молодой» в исследованном штуфе циркон имеет возраст 107.5 ± 2.3 млн лет, что хорошо согласуется с биостратиграфическим возрастом подсвиты (Малиновский и др., 2002). Далее наблюдается широкий интервал продолжительностью 60 млн лет, на котором не обнаружено ни одного циркона с конкордантным возрастом. В интервале 168-277 млн лет выделяются четыре возрастные группы цирконов 168-178, 198-220, 245 ± 5 и 261-277 млн лет, временная разница между серединами которых составляет 25-35 млн лет. Вероятно, что эти временные интервалы можно объяснить зарождением вулканической островной дуги в средней перми с последующими этапами активизации ее магматизма. В интервале 277-740 млн лет обнаружен всего лишь один циркон с конкордантным возрастом – 476 ± 8 млн лет, источником которого, вероятнее всего, послужили коллизионные граниты Бурья-Ханкайского террейна. В докембрийской части диаграммы выделяются три группы интервалов конкордантных возрастов цирконов 0.74-0.95, 1.5-2.0 и 2.2-2.5 млрд лет, сложенные 14, 38 и 17% обнаруженных в штуфе альбских песчаников зерен циркона с конкордантными U/Pb датировками, соответственно. Эти возрастные интервалы хорошо коррелируются с аналогичными по времени суперконтинентальными циклами, выделяемыми на известных глобальных распределениях детритовых цирконов (Hawkesworth et al., 2010).

Для геохронологического изучения детритовых цирконов в районе м. Скальный (восточный берег о. Удыль; 52.13° с.ш., 140.01° в.д.) был отобран 10-килограммовый штуф (А-15/5) алевропесчаников из нижней подсвиты силасинской свиты. Цирконы, выделенные из штуфа А-15/5 (Киселевско-Маноминский террейн), имеют схожий габитус с цирконами кемской свиты, однако зерна крупнее – размер зерен варьируется от 50 до 200 мкм.

В ходе исследования детритовых цирконов из алевропесчаников силасинской свиты было выделено 91 зерно и получены 22 конкордантные оценки возраста, характеризующиеся интервалом от 110 до 383.5 млн лет. Самая «молодая» группа в исследованном штуфе, состоящая из 3-х зерен цирконов (что составляет 14% всех конкордантных оценок возрастов), имеет возраст 111.2 ± 2.9 млн лет, что хорошо согласуется с биостратиграфическим возрастом силасинской свиты (Государственная геологическая карта..., 2011; Маркевич и

др., 1997). Возраст второй группы, также состоящей из 3-х зерен цирконов, составляет 124.3 ± 6.5 млн лет. Далее наблюдается интервал продолжительностью 80 млн лет с отсутствием цирконов с конкордантными возрастaми. В интервале диаграммы 196-320 млн лет выделяются четыре возрастaные группы цирконов (составляющие 68% всех зерен): 196 ± 6 , 220–247, 261–286 и 304–320 млн лет, временная разницa между серединами которых составляет 37–40 млн лет. Самый древний циркон имеет возраст 383.5 ± 8 млн лет. Вероятно, эти 4 интервала соответствуют зарождению в средней перми интраокеанической вулканической островной дуги и последующим фазам активизации ее магматизма.

Кумулятивные зависимости демонстрируют существенное различие в распределении конкордантных датировок. Среди цирконов из песчаников кемской свиты обнаружены цирконы с довольно широким возрастным диапазоном (110-2500 млн лет), привнос раннепалеозойского и докембрийских цирконов происходил из континентальной части восточной окраины Евразии. В то время как в цирконах силасинской свиты самый древний циркон, имеющий конкордантный возраст, датируется среднепалеозойским (девонским) возрастом. Породы Кемского террейна содержат цирконы с древними датировками, объяснимыми сносом с континентальной части, что свидетельствует о приближенном к континенту положении островной дуги. Отсутствие древнего континентального материала в породах Киселевско-Маноминского террейна указывает на более удаленное от континента место формирования этих пород.

На основе геохронологических исследований сделан вывод о том, что осадки Киселевско-Маноминского террейна отлагались в геодинамической обстановке внешней океанической вулканической островной дуги без привноса континентального материала. Они были отделены междуговым бассейном от внутренней вулканической островной дуги, в которой происходило накопление осадков Кемского террейна, куда осуществлялся привнос цирконов из размываемых пород широкого возрастного спектра, вплоть до 2.5 млрд лет. Ширина и глубина бассейна между этими островодужными системами были достаточны для того, чтобы влияние континентальных источников сноса в зоне накопления осадков Киселевско-Маноминского террейна не сказывалось.

Краткие выводы по результатам геохронологических исследований детритовых цирконов.

1. Возраст самых молодых детритовых цирконов с конкордантным возрастом пород силасинской и кемской свит с учетом ошибки совпадает – 111 ± 4 и 107.5 ± 2 млн лет (альб), соответственно. Это свидетельствует об одновременности накопления осадков этих двух толщ, во-первых, и, во-вторых, о хорошем согласии геохронологического возраста осадочных пород верхних подсит силасинской и кемской свит их биостратиграфическому возрасту, определенному ранее в (Маркевич и др., 1997) для первой и в (Малиновский и

др., 2002) для второй.

2. Распределения значений возраста конкордантных цирконов из кемской и силасинской свит существенно различаются. В первой – обнаружены цирконы с широким возрастным диапазоном от начала палеопротерозоя до конца раннего мела (110-2500 млн лет), полагаем, что привнос раннепалеозойского и докембрийских цирконов осуществлялся из континентальных областей восточной Евразии. Во второй – самый древний циркон с конкордантной датировкой имеет среднепалеозойский возраст.

3. Отсутствие цирконов раннепалеозойского и протерозойского возрастов в осадках силасинской свиты можно объяснить удаленностью места их формирования от окраины палеоконтинента и наличием между ними бассейна, ширина и глубина которого были достаточны для того, чтобы влияние континентальных источников сноса в зоне накопления осадков силасинской свиты не сказывалось.

ГЛАВА 4. ПЕТРО- И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВУЛКАНИТОВ КЕМСКОЙ И АДАМИНСКОЙ СВИТ

Вулканиды кемской свиты, находящиеся в ассоциации с терригенными отложениями различной фациальной принадлежности, преобладают в средней части свиты (апт-альб), где потоки базальтов переслаиваются с пластами вулканогено-осадочных образований, в которых присутствует примесь пирокластического материала. Базальты плотные, массивные, крупнопорфировые, часто сериально-порфировые (плаггиоклаз). Вкрапленники представлены плаггиоклазом и моноклинным пироксеном в разных количественных соотношениях и оливином. Плаггиоклаз и пироксен могут образовывать гломеропорфировые сростки. Основная масса криптокристаллическая с микролитами плаггиоклаза, реже – пироксена, с зеленым стеклом, небольшим количеством титаномagnetита, иногда – гематитизированное стекло. Вторичные изменения: альбитизация и серицитизация плаггиоклаза, по темноцветным минералам развиваются иддингсит, карбонат, рудный, по основной массе – хлорит, хлорит-пеннин, боулингит, гематит.

Вулканиды вулканогенно-терригенного комплекса пород, отобранные в районе оз. Удиль, представлены туфами, лавами и лавобрекчиями. Изученные вулканиды относятся к адаминской свите. Петрографически лавы плотные, порфировой структуры с вкрапленниками плаггиоклаза и моноклинного пироксена в мелко-криптокристаллической с буро-зеленым стеклом основной массе с рудной сыпью. Соотношение пироксена и плаггиоклаза различное. Вторичные изменения – альбитизация плаггиоклаза и эпидотизация пироксена. Лавобрекчии отличаются большей мелко-криптокристаллическостью, гематитизацией, наличием пор и прожилков кварца, хлорита и гематита, а также

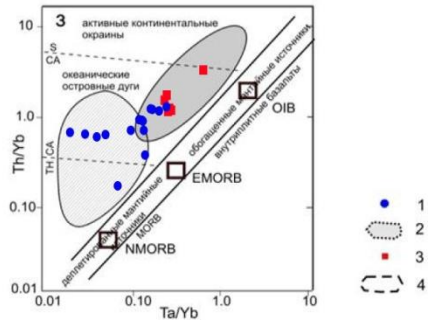
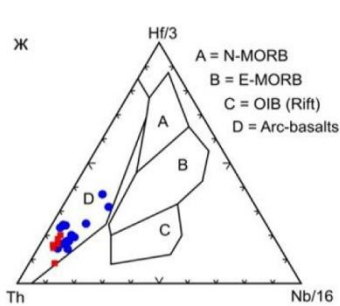
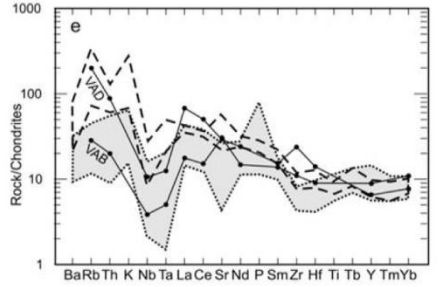
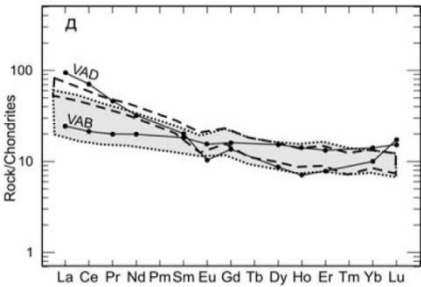
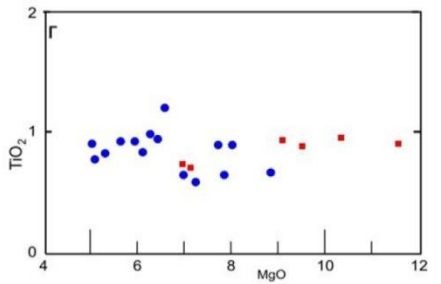
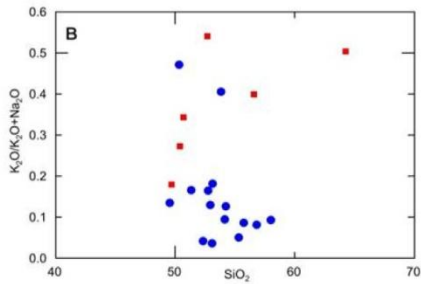
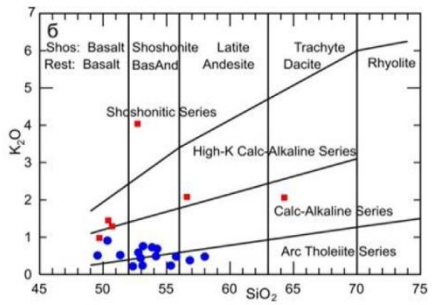
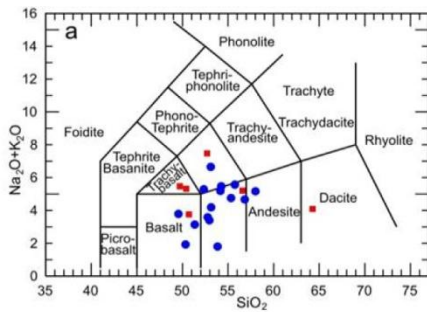


Рисунок 2. Петрогеохимические диаграммы вулканитов.

Классификационные диаграммы: а – по (Le Bas et al., 1986), б – по (Peccherillo and Taylor, 1976); в-г – парные диаграммы; спайдер-диаграммы нормированных по хондриту содержаний: д – редкоземельных элементов, по (Sun and McDonough, 1989), е – редких элементов, по (Thompson, 1982), породы вулканических дуг: VAB – базальты, VAD – дациты, по (Wilson, 1989); ж – дискриминационная диаграмма Th–Hf/3–Nb/16, по (Wood, 1980); з – соотношения Th/Yb–Ta/Yb, по (Pearse, 1983). Поля составов: А – базальты типа N-MORB, В – базальты типа E-MORB и внутриплитные толетовые, С – базальты внутриплитные щелочные, D – вулканы вулканических дуг. Серии пород: TH – толетовая, CA – известково-щелочная, S – щелочная. 1-2 – вулканы адаминской свиты Киселевско-Маноминского террейна: 1 – частные анализы, 2 – поля, объединяющие частные тренды; 3-4 – вулканы Кемского террейна: 3 – частные анализы, 4 – поля, объединяющие частные тренды.

потертостью. Туфы обычно средне-мелкозернистые, литокристаллокластические. Кристаллокласты представлены плагиоклазом и моноклинным пироксеном, причем пироксен часто преобладает, литокласты – порфиоровыми Pl-Rх базальтами. Основная масса криптозернистая, с большим количеством стекла. Характерны вторичные боулингит, лейкоксен, гематитизация, наличие хлоритовых миндалин и кварц-эпидотовых прожилков.

Среди вулкаников Кемского террейна появляются и преобладают разновидности повышенной щелочности – трахибазальты, трахиандезитбазальты (рисунок 2а, б). При преобладании Na₂O над K₂O различная щелочность обусловлена преимущественно различным содержанием калия: в удильских вулканиках K₂O < 1 %, (K₂O/ K₂O + Na₂O) < 0.2, в кемских – K₂O=1–4 %, 0.2 < (K₂O/K₂O + Na₂O) < 0.6 (рисунок 2б, в). По другим петрогенным элементам наблюдается как сходство, так и различие. Общей характерной чертой и удильских, и кемских вулкаников является низкое содержание TiO₂ ≅ 1 (рисунок 2г). Содержание Al₂O₃ в них также сходно и характеризуется достаточно большим разбросом: 13% < Al₂O₃ < 17%. По содержанию остальных петрогенных элементов наблюдаются различия: кемские вулканики имеют более высокое, кроме упомянутого выше K₂O и K₂O + Na₂O, содержание MgO (7–12%) (рисунок 2г) и более низкое – FeOт (8–11.5%) и CaO (4–8%), а удильские, в свою очередь, меньшее содержание K₂O и K₂O + Na₂O, MgO (5–8%) и большее – FeOт (9–13%) и CaO (4–13%). Повышенное содержание железа и кальция может объясняться вторичными изменениями, во всяком случае частично, учитывая петрографические характеристики пород.

На дискриминационных диаграммах (MnO×10–TiO₂–P₂O₅×10, La/10–Y/15–Nb/8, Zr/4–Nb×2–Y, Zr–Ti/100–Sr/2, Th–Zr/117–Nb/16, Th–Hf/3–Ta, на рисунке 2ж приводится одна из них – Th–Hf/3–Nb/16) фигуративные точки и удильских, и кемских вулкаников располагаются в полях известково-щелочных базальтов вулканических дуг и островодужных базальтов океанических дуг. Причем

следует отметить, что фигуративные точки кемских базальтов, обладающие более высоким содержанием Rb, Zr, Sr, P, систематически на диаграммах смещены относительно точек удильских базальтов в сторону областей более щелочных разновидностей.

На спайдер-диаграммах редкоземельных элементов (рисунок 2д), нормированных по хондриту, графики для базальтов обоих регионов конформны, имеют очень небольшой минимум по Eu, отрицательный наклон, но различаются по степени обогащения: кемские базальты более обогащены, чем удильские (обогащение LREE в 50–90 раз и в 20–70 раз, соответственно). На спайдер-диаграммах редких элементов (рисунок 2е), нормированных по хондриту, также наблюдается большее обогащение кемских базальтов. Для графиков обоих районов характерны четко выраженные, глубокие Ta-Nb минимумы, являющиеся признаком островодужных вулканитов. На графиках удильских базальтов Ta-Nb минимум более значительный, причем и по Nb, и по Ta, проявлены также минимумы по Sr, Zr, Hf. Кемские базальты характеризуются менее глубоким Ta-Nb минимумом, особенно по Ta, и, в отличие от удильских, значимыми максимумами Rb и K. Соотношения Th и Ta с Yb свидетельствуют о надсубдукционных известково-щелочных источниках пород, причем фигуративные точки удильских базальтов преимущественно располагаются в области составов океанических островных дуг, а точки кемских базальтов смещены в область составов активных континентальных окраин (рисунок 2з).

Краткие выводы по результатам петро- и геохимических исследований вулканитов силасинской и кемской свит.

1. Основываясь на результатах петро- и геохимического исследований образцов вулканитов Удильского сегмента Киселевско-Маноминского террейна и кемской свиты Кемского террейна можно сделать вывод, что формирование их, и других происходило в надсубдукционных условиях, что согласуется с литературными данными как для первого (Маркевич и др., 1997), так и для второй (Малиновский и др., 2002), но в разных островных дугах.

2. Базальты кемской свиты характеризуются большей щелочностью и обогащенностью, что может объясняться либо формированием их в тыловой зоне островной дуги, либо над зоной субдукции, более приближенной к континенту, и в целом над литосферой большей мощности. Вулканиты Удильского сегмента Киселевско-Маноминского террейна формировались, по-видимому, в условиях интраокеанической островной дуги над литосферой с меньшей мощностью.

ГЛАВА 5. ПЕТРО- И ПАЛЕОМАГНИТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗУЧЕННЫХ ПОРОД

В ходе полевых работ было отобрано 480 ориентированных образцов по Киселевско-Маноминскому блоку и 225 ориентированных образцов по Кемскому блоку.

В ходе петромагнитных исследований образцов вулканогенно-осадочных пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов были рассчитаны величины начальной магнитной восприимчивости (K) и естественной остаточной намагниченности (NRM). Значения NRM варьируются в широких пределах: более 4-х порядков для Киселевско-Маноминского террейна от $4.02E-04$ до 3.52 А/м и 3-х порядков для Кемского террейна от $9.88E-04$ до $7.33E-01$ А/м. Величина начальной магнитной восприимчивости находится в диапазоне: $1.15 E-05$ – $3.19 E-02$ ед. СИ (для пород Киселевско-Маноминского террейна), $5.13 E-05$ – $3.83 E-02$ ед. СИ (для пород Кемского террейна). Отношение Кенигсбергера (Q_n) изученных образцов Кемского террейна находится в пределах от 0.001 до 38.65. Q_n изученных образцов Киселевско-Маноминского террейна находится в более узком диапазоне от 0.03 до 21.09.

По данным термомагнитного анализа в изученных породах в качестве минерала-носителя магнетизма выступает магнетит и его катион-дефицитные разновидности с точками Кюри от 575 до 610°C .

Для выявления возможного влияния тектонических напряжений на изучаемые породы исследовалась их анизотропия начальной магнитной восприимчивости.

При изучении вулканогенно-осадочных пород Киселевско-Маноминского террейна установлены небольшие значения величины AMS, для которых значения P (Jelinek, 1977) находятся в интервале от 1.003 до 1.373. Установлено, что у большинства изученных образцов линейный тип магнитной анизотропии, что свойственно для турбидитовых потоков. Значения величины AMS для пород Кемского террейна несколько меньше, чем для пород Киселевско-Маноминского террейна, $P=1.002$ – 1.098 .

Большинство изученных образцов Кемского террейна имеет плоскостной тип анизотропии, что характерно для осадочных пород, за исключением турбидитовых потоков. Ориентировки максимальных осей эллипсоидов AMS изученных пород Кемского террейна близки направлениям их залегания, так же как и для пород Киселевско-Маноминского террейна (в географической системе координат).

По результатам проведенных петромагнитных исследований можно заключить:

- 1) основным носителем намагниченности в изученных породах является магнетит и его катион-дефицитные разновидности;
- 2) для значительного количества образцов пород Кемского и Киселевско-

Маноминского террейнов величины отношения Кенигсбергера более 1. Это свидетельствует о возможном присутствии в породах химической намагниченности и преобладании остаточной намагниченности над индуктивной, что потенциально свидетельствует об их палеомагнитной надежности и способности сохранения древней компоненты намагниченности;

3) носители магнетизма в изученных породах имеют многодоменную, в основном, и псевдооднодоменную структуру. Именно последние имеют стабильные высокотемпературные и высококоэрцитивные компоненты NRM, отождествляемые нами с характеристическими намагниченностями пород двух свит.

Образцы пород силасинской свиты Киселевско-Маноминского террейна были подвержены детальной термомагнитной чистке (до температур 570–600°C), температурный диапазон которой определялся с учетом данных термомагнитного анализа, так же как и шаг нагрева (от 5 до 100°C). В результате термомагнитной чистки были выделены низкотемпературная и высокотемпературная компоненты намагниченности. Первая разрушается в интервале температур от 25 до 400°C, а последняя сохраняется вплоть до температуры точки Кюри магнетита и немного выше (катиондефицитный магнетит), что подтверждается данными термомагнитного анализа – деблокирующие температуры высокотемпературной компоненты, как правило, соответствуют магнетиту. Выделенная высокотемпературная компонента является «доскладчатой», на что указывает положительный тест складки, а также имеет две опции полярности: прямую и обратную (сайт D14/24).

Среднее направление ChRM для 33-х образцов составляет координаты: $Dec_g=36.8^\circ$, $Inc_g=78.8^\circ$, $K_g=4.9$, $a_{95}=12.7^\circ$ (в географической системе координат), $Dec_s=273.3^\circ$, $Inc_s=29.3^\circ$, $K_s=16.9$, $a_{95}=6.3^\circ$ (в стратиграфической системе координат). Увеличение кучности в стратиграфической системе более чем в 3 раза свидетельствует о доскладчатой природе высокотемпературной компоненты намагниченности и обусловлено вариациями залегания слоев в данной точке отбора. Направление ChRM образцов сайта D14/22 обладает нормальной (N) полярностью. Вектор характеристической намагниченности в стратиграфической системе координат 22 образцов из сайта D14/24 имеет (в отличие от образцов из точки D14/22) отрицательное наклонение и располагается в 1 и 2 квадрантах стереограммы. Для 6 образцов выделение высокотемпературной компоненты было возможно лишь по кругам перемagnetничивания. Среднее направление ChRM для 28 образцов составляет: $Dec_g=89.5^\circ$, $Inc_g=26.5^\circ$, $K_g=6.7$, $a_{95}=11.4^\circ$ (географическая система координат) и $Dec_s=89.1^\circ$, $Inc_s=-38.1^\circ$, $K_s=11.2$, $a_{95}=8.5^\circ$ (стратиграфическая система координат). Увеличение кучности в стратиграфической системе координат более чем в 1.5 раза свидетельствует о доскладчатой природе высокотемпературной компоненты намагниченности и обусловлено небольшими вариациями слоев в точке отбора. Направление ChRM образцов сайта D14/24 обладает обратной (R)

полярностью.

После обращения ChRM образцов с R-полярностью в N-полярность общее среднее направление ChRM для 61 образца составило: $Dec_g=293.5^\circ$, $Inc_g=48.6^\circ$, $K_g=1.7$, $a_{95}=20.5^\circ$ (в географической системе координат); $Dec_s=271.7^\circ$, $Inc_s=33.3^\circ$, $K_s=13.5$, $a_{95}=5.1^\circ$ (в стратиграфической системе координат). Наблюдается увеличение кучности в стратиграфической системе координат относительно географической почти в 8 раз. Максимальная кучность достигается при введении 95.6% поправки за залегание пород, что свидетельствует о доскладчатой природе высокотемпературной компоненты намагниченности. Проведенный тест обращения (класс «С») по (McFadden, 1990) дал положительный результат, разница между средними направлениями прямой и обратной полярностей составляет 9.47.

Для расчета координат палеомагнитного полюса, а также истинной палеошироты, с учетом величины занижения наклона намагниченности, было использовано следующее значение высокотемпературной компоненты намагниченности: $Dec_s=271.7^\circ$, $Inc_s=52.2^\circ$, $K_s=13.5$, $a_{95}=5.1^\circ$. Координаты рассчитанного палеомагнитного полюса на время формирования пород составили следующие значения: $Plat=26.3^\circ$, $Plong=70.5^\circ$, $dp=4.8^\circ$, $dm=7.0^\circ$, а средняя палеоширота формирования осадочных пород силасинской свиты Киселевско-Маноминского террейна составила 33° с.ш. при крайних значениях $28-38^\circ$.

Кемская коллекция образцов была подвержена детальной чистке переменным магнитным полем (H-чистка). Магнитная чистка проводилась в диапазоне от 1 до 95 мТл с шагом от 2 до 4 мТл. В ходе исследования образцов пород кемской свиты выделены 2 компоненты намагниченности: низкокоэрцитивная компонента была выделена в переменных полях от 0 до 30 мТл, а высококоэрцитивная компонента выделялась в переменных полях между 30 и 90 мТл. Однако при палеомагнитном изучении большинство образцов пород кемской свиты Кемского террейна оказалось непригодным для интерпретации результатов – выделяемые в образцах компоненты намагниченности не вели в начало координат (т.е. компоненты не являются характеристическими). Результаты были получены лишь по образцам из 7 сайтов – K15/5, K15/6, K15/7 (отбор в ходе полевых работ 2015 г.) и A16/1, A16/2, A16/3, A16/4 (отбор в ходе полевых работ 2016 г.).

В ходе исследования были проведены расчеты величины занижения наклона намагниченности. Для осадочных пород кемской свиты Кемского террейна эта величина оказалась незначительной. Высококоэрцитивная компонента намагниченности в изученных породах является «доскладчатой», на что указывает положительный палеомагнитный тест складки. Для расчета координат палеомагнитного полюса и истинной палеошироты, с учетом проведенных расчетов величины занижения наклона намагниченности, было использовано следующее значение высококоэрцитивной компоненты

намагниченности (статистика на уровне образцов): $Dec_s=349.9^\circ$, $Inc_s=55.5^\circ$, $K=15.4$, $a_{95}=5.5^\circ$, координаты палеомагнитного полюса $Plat=77.7^\circ$, $Plong=358.4^\circ$, $dp=5.6^\circ$, $dm=7.9^\circ$, палеоширота составляет 36° с.ш. при ее крайних значениях $30\div 42^\circ$.

Краткие выводы по результатам палеомагнитных исследований пород силасинской и кемской свит

1. Для альб-сеноманских пород верхней подсвиты силасинской свиты Киселевско-Маноминского террейна установлено направление древней компоненты намагниченности, отождествляемой нами с характеристической по следующим причинам: выделяется в высокотемпературном интервале от 450 до 585°C , имеет два положительных отклика прямых тестов палеомагнитной надежности (складки – $K_s/K_g=7.94$ и обращения $F_c=9.47$). Эти данные свидетельствуют, что время образования этой компоненты естественной остаточной намагниченности близко времени образования самих пород верхней подсвиты силасинской свиты – альб-ранний сеноман.

Направление характеристической компоненты естественной остаточной намагниченности в древней системе координат составляет $Dec_s=271.7^\circ$, $Inc_s=52.2^\circ$, $K_s=13.5$, $a_{95}=5.1^\circ$ (с учетом занижения наклона), рассчитанный по этому направлению палеомагнитный полюс имеет координаты $Plat=26.3^\circ$, $Plong=70.5^\circ$, $dp=4.8^\circ$, $dm=7.0^\circ$. Палеоширота формирования осадочных пород силасинской свиты Киселевско-Маноминского террейна составляет 33° с.ш. при крайних значениях $28\text{--}38^\circ$.

2. Для альбских пород верхней подсвиты кемской свиты Кемского террейна установлено направление древней компоненты намагниченности, отождествляемой нами с характеристической по следующим причинам: выделяется в высококоэрцитивном интервале от 30 до 90 мТл и имеет положительный отклик теста складки ($K_s/K_g = 3.3$). Эти данные свидетельствуют о том, что время образования этой компоненты естественной остаточной намагниченности близко времени образования самих пород верхней подсвиты кемской свиты – альб.

Направление характеристической компоненты естественной остаточной намагниченности в древней системе координат составляет $Dec_s=349.9^\circ$, $Inc_s=55.5^\circ$, $K=15.4$, $a_{95}=5.5^\circ$, рассчитанный по этому направлению палеомагнитный полюс имеет координаты $Plat=77.7^\circ$, $Plong=358.4^\circ$, $dp=5.6^\circ$, $dm=7.9^\circ$. Палеоширота формирования осадочных пород кемской свиты Кемского террейна составляет 36° с.ш. при ее крайних значениях $30\text{--}42^\circ$.

ГЛАВА 6. МАГНИТОТЕКТОНИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ СИХОТЭ-АЛИНЬСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ ДЛЯ РАННЕГО МЕЛА

Сихотэ-Алинский орогенный пояс образован террейнами, сложенными породными комплексами различных палеогеодинамических структур. Изученные в данной работе породы отнесены к Кемскому и Киселевско-Маноминскому террейнам. Породы последнего, по существующим представлениям (Геодинамика..., 2006; Голозубов, 2006; и др.), сложены преимущественно образованиями альбской аккреционной призмы, породы первого – образованиями баррем-альбской активной островодужной системы.

Было выполнено множество реконструкций региона, первые из которых представлены в работах (Зоненшайн и др., 1990; Натальин, 1991; Maruyama et al., 1997; Натапов и др., 1998; и др.). В работе (Зоненшайн и др., 1990) изображена палинспастическая реконструкция территории СССР на 110 млн лет, согласно которой на северо-восточной окраине Евразии возникла сложно построенная мозаичная область, подвергнутая в результате столкновения трех плит (Лавразийской, Чукотско-Аляскинской и Тихоокеанской) вторичной деформации с изломом и поворотом многих блоков, а также их стремлением к плотнейшей упаковке. В Сихотэ-Алинском регионе предполагались две параллельные вулканические дуги и, соответственно, две зоны субдукции. Располагавшийся между вулканическими дугами окраинный бассейн заполнялся флишем на протяжении раннего и среднего мела и сократился в размерах в результате субдукции его ложа под Евразийскую окраину.

Палинспастическая реконструкция на 110 млн лет, предложенная в палеогеографическом атласе (Натапов и др., 1998), предполагает формирование активной окраины Восточной Азии с левыми сдвигами, связанными с косой субдукцией плиты Кула под континент. Преддуговая терраса, образованная терригенными и угленосными морскими и прибрежно-морскими осадками, перекрывала аккретированные террейны Японии и Сихотэ-Алиня. Флишево-олистоостромовый комплекс внешней зоны Японии и Восточного Сихотэ-Алиня (Южный Чичибу, Таухинский, Хабаровский, Нижнеамурский террейны) заполнил преддуговой прогиб и сформировал аккреционную призму. Кемская и Восточно-Сахалинская островные дуги сближались с окраиной континента. Первая занимала положение с 48° до 52° с.ш., последняя – от 35° до 52° с.ш.

На палеорекострукциях для мелового времени (Геодинамика..., 2006; Голозубов, 2006; Натальин, 1991; Парфенов и др., 2003) комплексы пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов помещались, обычно, в единую структурную зону (субдукционную) на разных широтах и существенно южнее своего современного положения. Затем в позднемеловое время они были перемещены до современного широтного положения по крупномасштабным левосторонним сдвигам в северном направлении, при этом фрагменты альбской

аккреционной призмы Киселевско-Маноминского террейна оказались западнее фрагментов баррем-альбской активной островодужной системы Кемского террейна.

Террейновая модель, представленная в работе (Ichihashi et al., 2015), предполагает значительное вращение против часовой стрелки Киселевско-Маноминского, Журавлевско-Амурского и Восточно-Сахалинского террейнов, а также их формирование в раннем мелу на одних и тех же палеоширотах 20-30° с.ш. Как видно из вышеперечисленных моделей, в аспекте геодинамической истории формирования рассматриваемого региона существует множество противоречий, для верификации которых была предложена собственная модель региона.

Судя по имеющимся палеомагнитным данным, по меньшей мере, с позднюрского времени восточная часть Евразии занимала позицию, близкую к современной, то есть не испытывала сколько-нибудь значительных перемещений или вращений (Колесов, 2003; Lee et al., 1987; Uchimura et al., 1990). В то же время, палеомагнитные данные для дотретичных образований Японии свидетельствуют о том, что эти образования формировались значительно южнее современного их расположения, большей частью в приэкваториальной зоне (Hirooka, 1990; Wakabayashi et al., 2006). Соответственно, формирование раннемеловых структур восточноазиатской окраины в первом приближении можно связывать с взаимодействиями относительно неподвижной Евразии и чрезвычайно мобильной океанической плиты Изнаги.

На палеорекострукциях для мелового времени (Геодинамика..., 2006; Голозубов, 2006; Парфенов и др., 2003) Восточно-Буреинский и Сихотэ-Алиньский отрезки окраины общей протяженностью около 2000 км (от юго-восточной оконечности Корейского полуострова до южного побережья Охотского моря), имеющие простирания от северо-северо-восточного до меридионального, в раннемеловое время формировались под мощным влиянием крупномасштабных левосдвиговых перемещений, то есть в условиях режима трансформной окраины (Khanchuk, 2001).

Предполагалось, что имеющие здесь место проявления раннемеловой субдукции первоначально располагались значительно (не менее чем на 15°) южнее и были транслированы на место современного расположения в ходе завершающего альб-раннесеноманского импульса сдвиговых перемещений (Голозубов, 2006). Об этом свидетельствуют, в первую очередь, палеобиогеографические данные о принадлежности флористических остатков в этих образованиях к комплексу Риосеки, формирование которого происходило на широтах южнее 30-го градуса (Kimura, 1987; Ohana and Kimura, 1995). При составлении реконструкций учитывались также расчеты направлений и скорости перемещения прилегающей к Евразии океанической плиты Изнаги в этот отрезок времени (Engebretson et al., 1985; Seton et al., 2012).

Изложенные в работе новые петролого-геохимические и палеомагнитные данные, а также уран-свинцовые датировки обломочных цирконов из терригенных пород раннемеловых надсубдукционных зон позволили восстановить историю исследуемых террейнов на начало альбского времени, уточнить и детализировать изложенные выше представления о динамике апт-сеноманских тектонических событий на рассматриваемом участке восточноазиатской окраины.

Основываясь на геологических и петрохимических характеристиках изученных вулканитов Кемского и вулканогенно-терригенного комплекса Удильского сегмента Киселевско-Маноминского террейнов, был сделан вывод, что формирование и тех, и других происходило в надсубдукционных условиях, но в разных островных дугах. Базальты Кемского террейна характеризуются большей щелочностью и обогащенностью, что может объясняться либо формированием их в тыловой зоне островной дуги (рисунок 3), либо в более зрелой островной дуге с повышенной мощностью литосферы над зоной субдукции, более приближенной континенту. Химические характеристики вулканитов вулканогенно-терригенного комплекса Удильского сегмента Киселевско-Маноминского террейна свидетельствуют об их формировании в возможно более юной островодужной системе с существенно пониженной мощностью. Это могло происходить, вероятно, в условиях интраокеанической островной дуги. Полученные геохронологические датировки детритовых цирконов с конкордантными возрастами из пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов позволяют сделать аналогичные выводы.

Распределения конкордантных датировок цирконов из осадочных пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов существенно различаются: 1) в первом – обнаружены цирконы с широким возрастным диапазоном от начала палеопротерозоя до конца раннего мела (110–2500 млн лет), привнос раннепалеозойских и докембрийских цирконов осуществлялся из континентальных областей восточной Евразии; 2) во втором – докембрийских цирконов не содержится вообще, а самая древняя популяция датирована цифрой 382 млн лет (поздний девон). Скорее всего, осадки Киселевско-Маноминского террейна отлагались в геодинамической обстановке внешней океанической вулканической островной дуги, последняя была отделена междуговым бассейном от внутренней вулканической островной дуги, в которой происходило накопление осадков Кемского террейна, куда осуществлялся привнос цирконов из размываемых пород широкого возрастного спектра, вплоть до 2.5 млрд лет. Ширина и глубина бассейна между этими островодужными системами были достаточны для того, чтобы влияние континентальных источников сноса в зоне накопления осадков Киселевско-Маноминского террейна не сказывалось (Диденко и др., 2018). Возраст пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов по находкам фауны определен как альб, альб-сеноман, соответственно. Возраст самых молодых популяций детритовых цирконов из

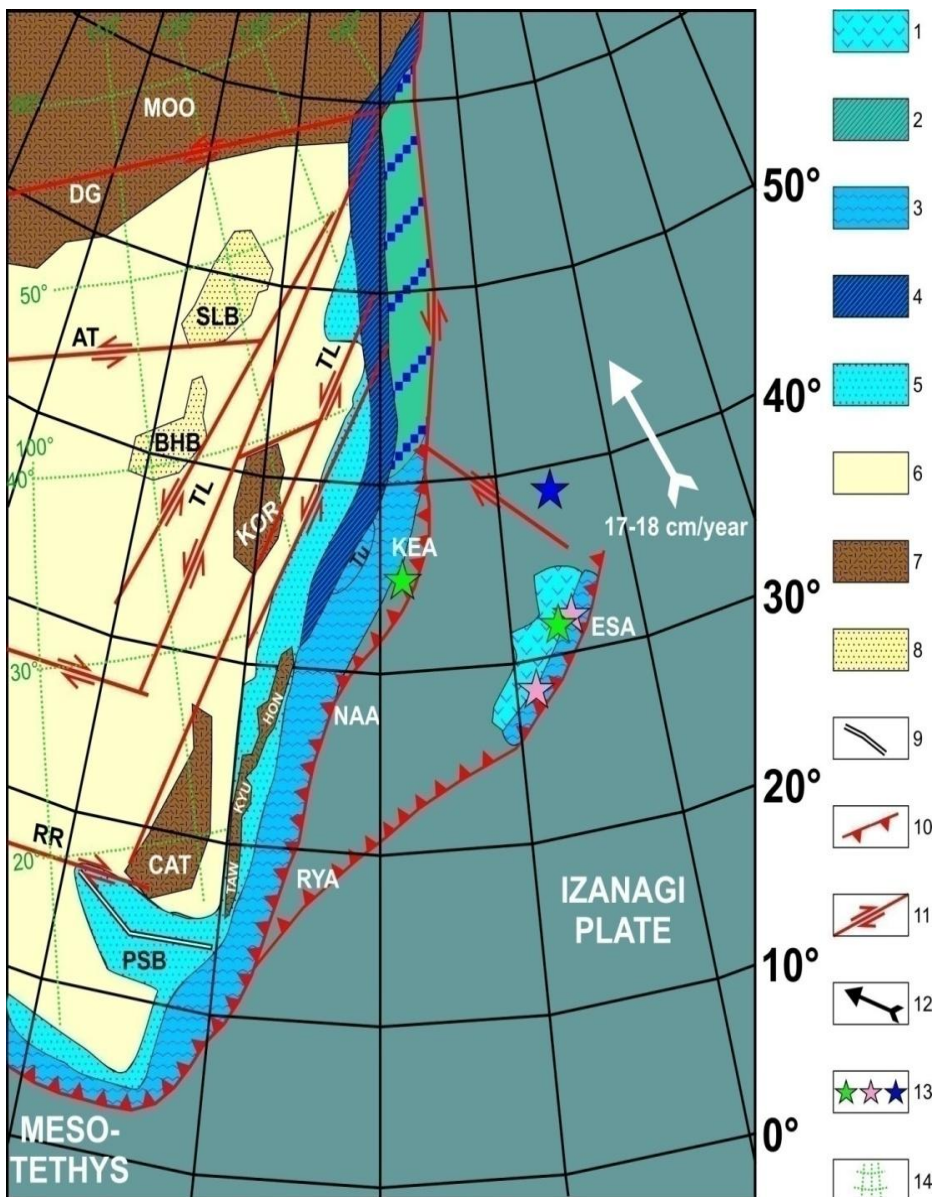


Рисунок 3. Магнитотектоническая реконструкция юго-восточной окраины Азии на 110 млн лет с элементами палеогеографии. Равновеликая коническая проекция Альберса.

1 – Островодужные энсиматические вулканы; 2 – Журавлевско-Амурский турбидитовый бассейн; 3 – меловые аккреционные призмы: (Ti – Таухинская); 4 – юрская аккреционная призма; 5 – шельф и континентальный склон (PSB – Палеоюжнокитайский бассейн); 6 – континентальная кора; 7 – микроконтиненты, массивы, орогены (MOO – Монголо-Охотский, KOR – Корейский, HON – Хонсю, KYU – Кюсю, TAW – Тайвань, CAT – Катазия); 8 – бассейны (SLB – Сунляо, BNB – Бохайваньский); 9 – рифты; 10 – зона субдукции (KEA – Кемская, ESA – Восточно-Сахалинская, NAA – Нанкайская, Ryu – Рюкю); 11 – зоны сдвигов с указанием направления смещения (DG – Дигдаланская, AT – Алтынтагская, TL – Танлу, RR – Красной реки); 12 – направление движения плиты Изанаги (рассчитано на точку 40° с.ш., 140° в.д.); 13 – положение изученных объектов на реконструкции согласно установленным палеоширотам (зеленая звезда по данным настоящей работы, розовая – (Abrajevitch et al., 2012), синяя – (Диденко и др., 2014); 14 – современная географическая система координат.

изученных пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов хорошо согласуется с этим (107–111 млн лет). Следовательно, следует предполагать, что формирование исследуемых пород произошло не ранее среднего альба, после внедрения первых фаз синаккреционных гранитоидов, поставивших эти цирконы в осадочные бассейны.

Для изученных пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов получены надежные палеомагнитные характеристики. В случае пород Киселевско-Маноминского террейна мы имеем положительные тесты складки и обращения, в случае пород Кемского террейна – положительный тест складки. Палеомагнитные склонения пород Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов составляют 272° и 350°, соответственно. Можно заключить, что впоследствии изученные породы испытали разворот против часовой стрелки на 90° и 10°, что согласуется с предположением об их трансляции на север вдоль левостороннего разлома (системы разломов). Широты формирования изученных пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов в апт-сеноманское время с учетом ошибки практически равны – $36 \pm 6^\circ$ и $33 \pm 5^\circ$ с.ш., соответственно.

Все вышеперечисленные данные по изученным апт-сеноманским породам Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов с учетом данных по глобальным реконструкциям (Seton et al., 2012) позволили предложить следующую палинспастическую реконструкцию зоны сочленения «восточная окраина Евразии–Палеоокеана» для раннеальбского времени (рисунок 3). Вдоль восточной окраины Евразии в это время существовала единая островодужная система почти от экватора и до 40-х широт северного полушария. В эту систему входили дуги Рюкю, Нанкайская и Кемская, для последней определена палеоширота ~ 36° с.ш. (настоящая работа). Восточнее

этой островодужной системы в океане функционировала и другая островная дуга – Восточно-Сахалинская, занимавшая положение от 25 до 35° с.ш. Возможно, что в составе последней могли формироваться не только сахалинские объекты (Abrajevitch et al., 2012), но и апт-альбские породы Киселевско-Маноминского террейна на ~ 33° с.ш. Между этими двумя островными дугами существовал бассейн 500–700 км шириной (рисунок 3). Вполне вероятно, что эти две островодужные системы на юге смыкались подобно современной Идзу-Бонинской островодужной системе (Khanchuk, 2001). Собственно подобный вариант, но несколько на других широтах (южнее 30°, предполагавшегося по данным о раннемеловой климатической зональности), рассматривался ранее в работе (Голозубов, 2006). Следует отметить, однако, что указанная зональность установлена по флорам позднеюрского–аптского времени, а в альбе флористические различия в значительной мере нивелируются (Kimura, 1987). В Кемском террейне установлено, что принадлежащие комплексу Риосеки споровопыльцевые комплексы характеризуют аптскую часть разреза, а именно среднекемскую подсвиту (Golozubov et al., 1999). Более молодые, альбские уровни разреза формировались, по-видимому, в ходе трансляции бассейна с юга на север, что и подтверждается палеомагнитными данными.

В позднем мелу изученные комплексы пород Восточно-Сахалинской островной дуги причленились к окраине палеоконтинента, а затем вместе с породами Кемской островной дуги они были транслированы (перемещены) вдоль системы левых сдвигов, которые были развиты здесь (рисунок 3), на север до современного положения. Движение на север продолжалось, вероятно, до конца мела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных геолого-геофизических исследований были выделены характеристические компоненты естественной остаточной намагниченности вулканогенно-осадочных пород Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов:

1) Для альб-сеноманских пород верхней подсвиты силасинской свиты Киселевско-Маноминского террейна установлено направление древней характеристической компоненты намагниченности, составляющее: $Dec_s=271.7^\circ$, $Inc_s=52.2^\circ$, $K_s=13.5$, $a_{95}=5.1^\circ$. Рассчитанный по этому направлению палеомагнитный полюс имеет координаты $Plat=26.3^\circ$, $Plong=70.5^\circ$, $dp=4.8^\circ$, $dm=7.0^\circ$. Палеоширота формирования осадочных пород силасинской свиты Киселевско-Маноминского террейна составляет 33° с.ш. при крайних значениях 28–38°.

2) Для альбских пород верхней подсвиты кемской свиты Кемского террейна установлено направление древней характеристической компоненты намагниченности, которое составляет $Dec_s=349.9^\circ$, $Inc_s=55.5^\circ$, $K=15.4$, $a_{95}=5.5^\circ$.

Рассчитанный по этому направлению палеомагнитный полюс имеет координаты $P_{lat}=77.7^\circ$, $P_{long}=358.4^\circ$, $dp=5.6^\circ$, $dm=7.9^\circ$. Палеоширота формирования осадочных пород кемской свиты Кемского террейна составляет 36° с.ш. при ее крайних значениях $30\div 42^\circ$.

На основе геохронологических данных установлено:

1) Возраст самых молодых детритовых цирконов с конкордантным возрастом пород силасинской и кемской свит с учетом ошибки совпадает – 111 ± 4 и 108 ± 2 млн лет (альб), соответственно. Это свидетельствует об одновременности накопления осадков этих двух толщ, во-первых, и, во-вторых, о хорошем согласии геохронологического возраста осадочных пород силасинской и кемской свит их биостратиграфическому возрасту, определенному ранее в (Маркевич и др., 1997) для первой и в (Малиновский и др., 2002) для второй.

2) Распределения значений возраста конкордантных цирконов из кемской и силасинской свит существенно различаются. В первой – обнаружены цирконы с широким возрастным диапазоном от начала палеопротерозоя до конца раннего мела (110-2500 млн лет), полагаем, что привнос раннепалеозойского и докембрийских цирконов осуществлялся из континентальных областей восточной Евразии. Во второй – самый древний циркон с конкордантной датировкой имеет среднепалеозойский возраст. Отсутствие цирконов раннепалеозойского и протерозойского возрастов в осадках силасинской свиты можно объяснить удаленностью места их формирования от окраины палеоконтинента и наличием между ними бассейна, ширина и глубина которого были достаточны для того, чтобы влияние континентальных источников сноса в зоне накопления осадков силасинской свиты не сказывалось.

Основываясь на результатах петро- и геохимического исследований образцов вулканитов Удальского сегмента Киселевско-Маноминского террейна и кемской свиты Кемского террейнов, можно сделать вывод, что формирование и тех, и других происходило в надсубдукционных условиях, что согласуется с литературными данными как для первого (Маркевич и др., 1997), так и для второй (Малиновский и др., 2002), но в разных островных дугах. Базальты кемской свиты характеризуются большей щелочностью и обогащенностью, что может объясняться либо формированием их в тыловой зоне островной дуги, либо в более зрелой островной дуге с повышенной мощностью литосферы над зоной субдукции, более приближенной к континенту. Вулканиты Удальского сегмента Киселевско-Маноминского террейна формировались, по-видимому, в условиях интраокеанической островной дуги над литосферой с меньшей мощностью.

Список публикаций по теме диссертационной работы

Статьи в рецензируемых журналах:

1. Диденко А.Н., Захаров В.С., Гильманова Г.З., Меркулова Т.В., **Архипов М.В.** Формализованный анализ сейсмичности Сихотэ-Алинского орогена и прилегающих территорий // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 2. С. 58-69.
2. Диденко А.Н., Песков А.Ю., Кудымов А.В., Войнова И.П., Тихомирова А.И., **Архипов М.В.** Палеомагнетизм и аккреционная тектоника северного Сихотэ-Алиня // Физика Земли. 2017. № 5. С 121-138.
3. Диденко А.Н., Ото Ш., Голозубов В.В., **Архипов М.В.**, Кудымов А.В., Песков А.Ю., Нагата М., Ямамото К. Геохронология детритовых цирконов альбских песчаников силасинской и кемской свит Сихотэ-Алинского орогена: геодинамические следствия // Доклады Академии Наук. 2018. Т. 481. № 4. С. 1-4.
4. **Архипов М.В.**, Войнова И.П., Кудымов А.В., Песков А.Ю., Ото Ш. (S. Otoh), Нагата М. (M. Nagata), Голозубов В.В., Диденко А.Н. Сравнительный анализ пород островодужного генезиса Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов: геохимия, геохронология и палеомагнетизм // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38. № 3. С. 50-75. DOI: 10.30911/0207-4028-2019-38-3-50-75.
5. **Arkhipov M.V.**, Peskov A.Yu., Didenko A.N., Otoh S., Kudymov A.V., Nagata M., Kouchi Y., Yamamoto K. Results of paleomagnetic and geochronological studies of sedimentary rocks from Kema and Silasa Formations of the Sikhote-Alin Orogen // Recent advances in rock magnetism, environmental magnetism and paleomagnetism, Springer Geophysics. 2019. P. 3-12. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90437-5_1.

Материалы совещаний и тезисы докладов:

1. Песков А.Ю., **Архипов М.В.**, Диденко А.Н. Палеомагнитные исследования мезозойских осадочных пород Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов Сихотэ-Алинского орогенного пояса. // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Том 2. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию академика Ю.М. Пушаровского. М.: ГЕОС. 2017. С. 58-60. ISBN 978-5-89118-731-3.
2. **Arkhipov M.V.**, Didenko A.N., Peskov A.Yu. Geochronological and paleomagnetic studies on sedimentary rocks of the Kema and Silasa Formations of the Sikhote-Alin orogen. // **International** conference on Paleomagnetism and rock magnetism. Kazan. 2017. P. 6.
3. Диденко А.Н., **Архипов М.В.**, Ото Ш., Голозубов В.В., Кудымов А.В., Войнова И.П., Песков А.Ю. Геохронология, палеомагнетизм силасинской и кемской свит Сихотэ-Алиня: сравнительный анализ. // Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием. Владивосток. 17-23 сентября 2018. ДВГИ. С. 26-29. ISBN 978-5-8044-1667-7.

4. Войнова И.П., Диденко А.Н., Песков А.Ю., **Архипов М.В.**, Кудымов А.В., Голозубов В.В. Вулканиды Удыльского сегмента Киселевско-Маноминского аккреционного и Кемского островодужного террейнов (петрогеохимия, обстановки формирования, тектонические ретроспекции) // Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием. Владивосток. 17-23 сентября 2018. ДВГИ. С. 152-155. ISBN 978-5-8044-1667-7.

5. Войнова И.П., Песков А.Ю., **Архипов М.В.**, Кудымов А.В., Диденко А.Н. Тектоническое положение образований Удыльского сегмента Киселевско-Маноминского террейна. Проблемы тектоники континентов и океанов. Том 1. Материалы LI Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2019. С. 122-127. ISBN 978-5-89118-786-3.

6. **Архипов М.В.** Сравнительный анализ геохронологических и палеомагнитных данных пород кемской и силасинской свит Сихотэ-Алиньского орогена // Материалы Всероссийской конференции с международным участием X Косыгинские чтения «Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии», г. Хабаровск, 10-12 сентября 2019 г. / Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов. Хабаровск, ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2019. С. 6-8.