

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ТЕКТониКИ И ГЕОФИЗИКИ им. Ю.А. Косыгина
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
Российской академии наук
Лаборатория тектоники

на правах рукописи

АРХИПОВ МИХАИЛ ВИКТОРОВИЧ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ, ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ
И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛОВЫХ ПОРОД КИСЕЛЕВСКО-
МАНОМИНСКОГО (СИЛАСИНСКАЯ СВИТА) И КЕМСКОГО (КЕМСКАЯ
СВИТА) ТЕРРЕЙНОВ СИХОТЭ-АЛИНЬСКОГО ОРОГЕНА

научный доклад

05.06.01 Науки о земле

25.00.01 Общая и региональная геология

Научный руководитель
член-корреспондент РАН,
д.г.-м.н. А.Н. Диденко

Хабаровск 2019

Актуальность темы исследования.

Вопрос формирования Сихотэ-Алиньского орогенного пояса затрагивался многими учеными, однако до сих пор не предложено приемлемой геодинамической модели его формирования. Актуальность работы состоит в необходимости пересмотра представлений об эволюции Сихотэ-Алиньского пояса в меловое время с учетом полученных новых оригинальных палеомагнитных и геохронологических данных.

Цели и задачи работы.

Цель исследования – проведение палеомагнитной верификации существующих палеотектонических реконструкций для Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и на основе сочетания собственных палеомагнитных определений, имеющихся и полученных при участии автора данных (геолого-геофизических, геохронологических и геохимических) реконструировать этапность и кинематику аккреционного процесса изучаемых террейнов, а также их взаиморасположение относительно друг друга и окраины палеоконтинента в геологическом прошлом.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих **задач**:

- 1) определение состава магнитных минералов, основных палео- и петромагнитных характеристик, а также степени влияния позднемезозойского регионального перемагничивания;
- 2) сопоставление полученных координат палеомагнитных полюсов свит Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов с целью реконструкции их пространственных взаимоотношений и определения их принадлежности к палеоконтиненту;
- 3) создание геодинамической модели, демонстрирующей меловую эволюцию Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов.
- 4) определение источников сноса для осадочных пород кемской и силасинской свит Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов, соответственно.

Научная новизна и значимость.

В ходе данного исследования получены новые палеомагнитные и геохронологические данные по кемской и силасинской свитам Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов, соответственно. Был применен комплексный подход, включающий синтез палеомагнитных, геохимических данных и результатов датирования детритовых цирконов в осадочных породах. Подобный комплекс позволил представить магнитотектоническую реконструкцию юго-восточной окраины Азии на 110 млн. лет, в которой учтены палеошироты, возраст и условия формирования изученных свит. Полученные в выпускной квалификационной работе данные не только позволяют понять природу исследуемых террейнов, но и они важны для поисков в отложениях этих региональных структур различных месторождений полезных ископаемых, а также помогут расшифровать геодинамику формирования Сихотэ-Алиньского орогенного пояса в целом.

Защищаемые положения.

1. Распределения датировок цирконов с конкордантными возрастами из апт-альбских осадочных пород Кемского (кемская свита) и Киселевско-Маноминского (силасинская свита) террейнов свидетельствуют о различных источниках сноса кластогенного материала, формировавших эти свиты. Распределение датировок цирконов из осадочных пород Кемского террейна имеет широкий возрастной интервал от 107 до 2545 млн. лет, что свидетельствует о поступлении кластогенного материала с близлежащего палеоконтинента. Возрастной интервал распределения датировок цирконов из осадочных пород Киселевско-Маноминского террейна существенно уже – от 110 до 383 млн. лет.
2. На основе надежных палеомагнитных данных установлено, что палеошироты формирования апт-альбских осадочных пород Кемского (кемская свита) и Киселевско-Маноминского (силасинская свита) террейнов практически идентичны. Палеошироты формирования осадочных пород этих террейнов составляют $36 \pm 6^\circ$ и $33 \pm 5^\circ$ северной широты, соответственно.
3. Основываясь на геохронологии детритовых цирконов, палеомагнитных и петро-геохимических характеристиках одновозрастных 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-альб. Изученные породы Киселевско-Маноминского террейна отлагались в геодинамической обстановке эпиокеанической (внешней) островной дуги, последняя была отделена задуговым бассейном от внутренней (вулканической) островной дуги, в которой происходило накопление осадков Кемского террейна. Ширина и глубина задугового бассейна были достаточны для того, чтобы влияние континентальных источников сноса в зоне накопления осадков Киселевско-Маноминского террейна не сказывалось.

Степень достоверности результатов.

Достоверность полученных палеомагнитных результатов оценивается как высокая, поскольку проводились палеомагнитные исследования на высококачественном и современном оборудовании в лаборатории тектоники ИТиГ ДВО РАН (г. Хабаровск). Пробоподготовка и выделение цирконов из штуфов проведены в Высшей школе науки и техники Университета г. Тояма (Япония), U-Pb датирование цирконов (LA-ICP-MS) – в Высшей школе прикладных исследований Университета г. Нагоя (Япония) на приборе современного мирового уровня. Петрогеохимические исследования также произведены в аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН: на петрогенные элементы – методом рентгено-флуоресцентной спектроскопии на S4 Pioneer Bruker (Германия), на редкие и редкоземельные элементы – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ISP-MS Elan 9000 (Канада).

Апробация результатов исследования.

Результаты проведенных исследований представлены на 4 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; X Косыгинские чтения «Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии» Хабаровск, 2019. По проведенным конференциям опубликованы соответствующие сборники. По теме исследований опубликовано 5 печатных работ, из них 4 статьи в реферируемых научных журналах списка ВАК (Физика Земли, 2017; Доклады Академии Наук, 2018; Тихоокеанская геология, 2017, 2019;).

Личный вклад автора и фактический материал.

Каменный материал, лабораторное исследование которого положено в основу диссертационной работы, включает 4 коллекции (705 ориентированных образцов). Отбор образцов, лабораторные палеомагнитные и петромагнитные исследования, а также подготовка образцов к ним выполнены при участии автора в лаборатории тектоники ИТиГ ДВО РАН (г. Хабаровск).

Объем и структура работы.

Диссертация представлена на 123 страницах и состоит из шести глав и заключения. В структуру диссертационной работы включены 45 рисунков, 4 таблицы, 3 приложения и список литературы из 103 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 за неоценимую помощь при подготовке ВКР, консультации и конструктивную критику – к.г.-м.н. А.Ю. Пескову, Е.Ю. Диденко, к.г.-м.н. А.В. Кудымову, И.П. Войновой, к.г.-м.н. В.А. Гурьянову, к.г.-м.н. С.В. Зябреву, А.И. Тихомировой, к.г.-м.н. Е.В. Нигай, д.г.-м.н. В.Ю. Забродину, к.г.-м.н. Л.И. Попеко, а также д.г.-м.н. А.Ю. Казанскому, к.г.-м.н. П.С. Минюку, д.г.-м.н. С.Д. Соколову и к.ф.-м.н. В.П. Щербакову за предложения и замечания, которые существенно способствовали улучшению качества работ, на основе которых подготовлена представляемая ВКР. Благодарен старшему переводчику Т.Л. Корякиной за помощь в подготовке статей, опубликованных в иностранных журналах, а также О.М. Меньшиковой за помощь в техническом оформлении рукописи. Выражаю благодарность водителю С.В. Буре за

транспортировку экспедиционных отрядов в районы полевых работ. 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-Алиньский 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-Алиньским 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 и 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 комплекс 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, Kemkin, Kruk 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. Представлены результаты комплексного (геологического, геохимического, геохронологического, петро- и палеомагнитного) изучения апт-альбских пород Кемского террейна и северо-восточного Удыльского сегмента Киселевско-Маноминского террейна. Для достижения поставленной задачи было проведено комплексное (геологическое, геохимическое, геохронологическое, петро- и палеомагнитное) изучение апт-альбских 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 определения их принадлежности к палеоконтиненту.

Объектами исследования являлись альб-нижнесеноманские вулканогенно-осадочные отложения Удыльского сегмента Киселевско-Маноминского террейна (52.13° с.ш., 140.01° в.д.) и позднеальбские вулканогенно-осадочные отложения верхней подсвиты кемской свиты Кемского террейна (45.67° с.ш., 136.72° в.д.).

Кемский террейн, расположенный вдоль восточной части Сихотэ-Алиньского 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 (Наталин, 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. Уссури. 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 выпускной квалификационной 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 аппаратной 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 аппаратной базе Центра коллективного

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. 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 (2550 млн. лет) до раннего мезозоя (108 млн. лет). Самый «молодой» в исследованном штуфе циркон имеет возраст 107.5 ± 2.3 млн. лет, что, как уже было описано выше, 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 Бурей-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. В ходе исследования детритовых цирконов из алевропесчаников силасинской свиты было выделено 91 зерно и получены 22 конкордантные оценки возраста, характеризующиеся интервалом от 110 до 384 млн. лет. Самая «молодая» группа в исследованном штуфе, состоящая из 3-х зерен цирконов 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 возрастами. В интервале диаграммы 196-320 млн. лет выделяются четыре возрастные группы цирконов (составляющие 68% всех зерен): 196 ± 6 , 220–247, 261–286 и 304–320 млн. лет, временная разница между серединами которых составляет 37–40 млн. лет. Самый древний циркон имеет возраст 382 ± 8 млн. лет. Вероятно, эти 4 интервала соответствуют зарождению в средней перми интраокеанической вулканической островной дуги и последующим фазам активизации ее магматизма.

В распределении конкордантных датировок цирконов из пород изученных свит наблюдается существенное различие. В цирконах из песчаников кемской свиты обнаружены цирконы с довольно широким возрастным диапазоном (110-2500 млн. лет), привнос раннепалеозойских 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, и 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.

ГЛАВА 4. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД КЕМСКОЙ И СИЛАСИНСКОЙ СВИТ

На дискриминационных диаграммах ($\text{MnO} \times 10 - \text{TiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5 \times 10$, $\text{La}/10 - \text{Y}/15 - \text{Nb}/8$, $\text{Zr}/4 - \text{Nb} \times 2 - \text{Y}$, $\text{Zr} - \text{Ti}/100 - \text{Sr}/2$, $\text{Th} - \text{Zr}/117 - \text{Nb}/16$, $\text{Th} - \text{Hf}/3 - \text{Ta}$, на рисунке 4.1ж приводится одна из них – $\text{Th} - \text{Hf}/3 - \text{Nb}/16$) фигуративные точки и удильских, и кемских вулканитов 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.

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 4.1з).

Основываясь на геологических и петрохимических характеристиках изученных удильских и кемских вулканитов, можно сделать вывод, что формирование и тех, и других происходило в надсубдукционных условиях, но в разных островных дугах. Кемские базальты характеризуются большей щелочностью и обогащенностью, что может объясняться либо формированием их в тыловой зоне островной дуги, либо в целом большей мощностью литосферы над зоной субдукции, более приближенной континенту. Удильские вулканиты формировались, по-видимому, в условиях интраокеанической островной дуги. Хотя известны примеры изменения составов вулканитов и по простиранью островодужных систем (Авдейко и др., 2001).

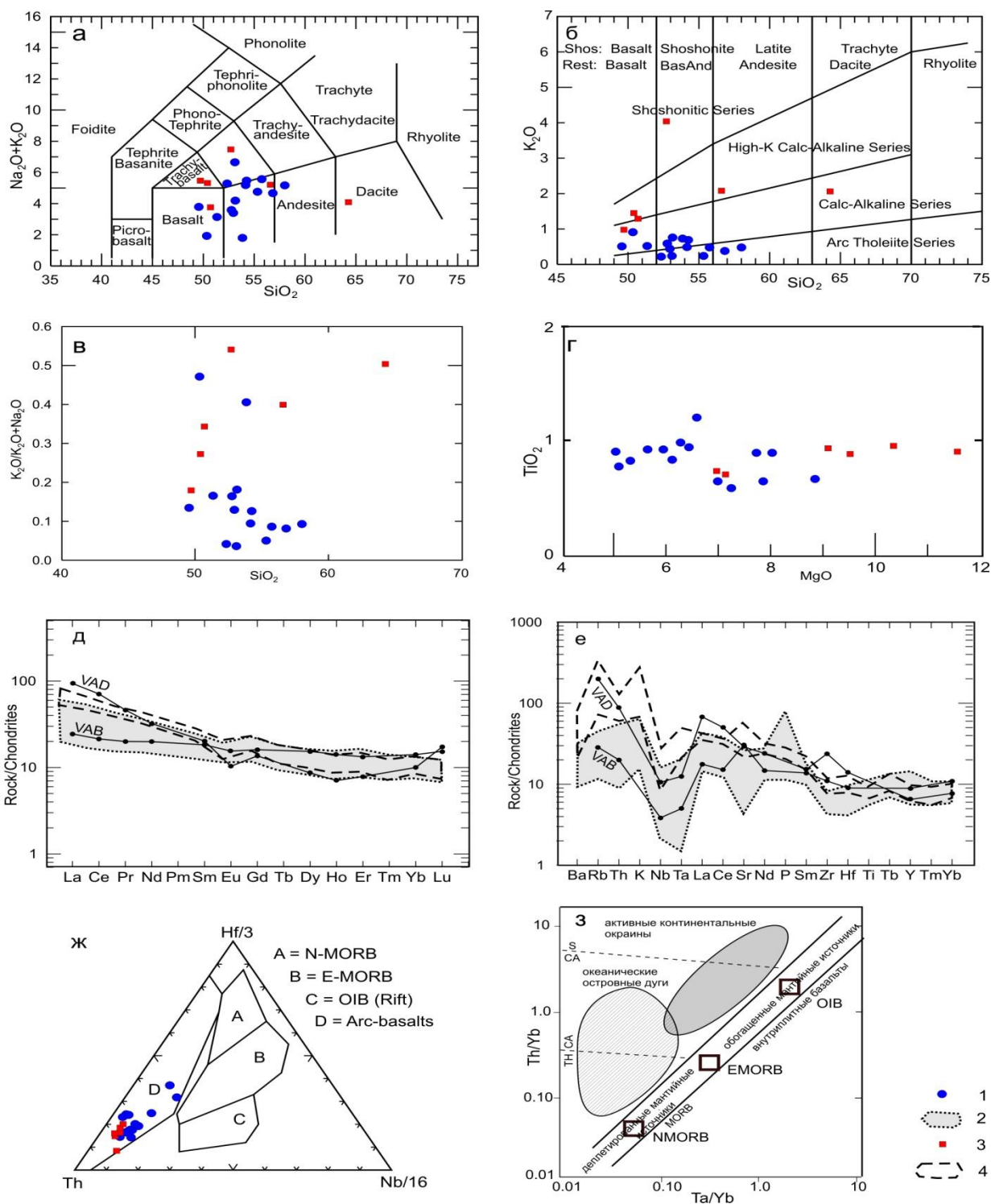


Рисунок 4.1. Петрогеохимические диаграммы вулканитов. Классификационные диаграммы: а – по (Le Bas et al., 1986), б – по (Peccherillo and Taylor, 1976); в-г – парные диаграммы; спайдер-диаграммы нормированных по хондриту содержаний: д – редкоземельных элементов, по (Sun and McDonough, 1989), е – редких 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 толеитовые, С – базальты внутриплитные щелочные, D – вулканиты вулканических дуг. Серии пород: ТН – толеитовая, СА – известково-щелочная, S – щелочная. 1-2 – вулканиты вулканогенно-терригенного комплекса Удыльского сегмента Киселевско-Маноминского террейна: 1 – частные анализы, 2 – поля, объединяющие частные тренды; 3-4 – вулканиты Кемского террейна: 3 – частные анализы, 4 – поля, объединяющие частные тренды.

ГЛАВА 5. ПЕТРО- И ПАЛЕОМАГНИТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОД

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

В ходе петромагнитных исследований образцов осадочных пород кемской и силасинской свит были рассчитаны величины начальной магнитной восприимчивости (K_m) и естественной остаточной намагниченности (NRM). Значение NRM варьируется в следующем интервале: $4.02 \cdot 10^{-4}$ – $3.52 \cdot 10^{-1}$ А/м (для силасинской свиты) и $9.88 \cdot 10^{-4}$ – $7.33 \cdot 10^{-1}$ А/м (для кемской свиты). Величина K_m находится в диапазоне: $1.15 \cdot 10^{-5}$ – $3.19 \cdot 10^{-2}$ ед. СИ (для пород силасинской свиты), $5.13 \cdot 10^{-5}$ – $3.83 \cdot 10^{-2}$ ед. СИ (для пород кемской свиты). Отношение Кенигсбергера (Q_n) изученных образцов кемской свиты находится в пределах от 0.001 до 38.65. Q_n изученных образцов силасинской свиты находится в более узком диапазоне от 0.03 до 21.09.

Все изученные образцы относятся к породам с многодоменной структурой магнитных минералов ($J_{RS}/J_S < 0.3$). В то же время средние значения J_{RS}/J_S в изученных образцах различаются между свитами более чем в два раза. 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 осадочных пород силасинской свиты 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 кемской свиты несколько меньше, чем для пород силасинской свиты, $P = 1.002$ – 1.098 . Большинство изученных образцов имеет плоскостной тип анизотропии, что характерно для осадочных пород, за исключением турбидитовых потоков. Ориентировки максимальных осей эллипсоидов AMS изученных осадочных пород кемской свиты близки направлениям их залегания, так же как и для пород силасинской свиты.

По результатам проведенных петромагнитных исследований можно заключить:

1) основным носителем намагниченности в изученных породах является магнетит и его катион-дефицитные разновидности. Магнитные минералы в изученных породах имеют многодоменную структуру;

2) величины начальной магнитной восприимчивости, естественной остаточной намагниченности и отношения Кенигсбергера в изученных образцах кемской и силасинской свит близки между собой, однако имеют некоторые различия, что говорит о различных концентрациях и состояниях (размер зерен) магнитных минералов в породе.

3) анизотропия начальной магнитной восприимчивости в изученных образцах связана с формой геологического тела, однако имеет существенные отличия: преимущественно плоскостным типом анизотропии обладают породы кемской свиты, тогда как породы силасинской свиты имеют линейный тип анизотропии. Такое различие связано, по всей вероятности, с разными условиями формирования изученных осадочных пород.

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 палеомагнитной чистки были выделены низкотемпературная и высокотемпературная компоненты намагниченности. Первая разрушается в интервале температур от 25 до 400°C, а последняя – вплоть до точек Кюри магнетита и немного выше, что подтверждается данными термомагнитного анализа – деблокирующие температуры высокотемпературной компоненты, как правило, соответствуют магнетиту. Выделенная высокотемпературная компонента является «доскладчатой», на что указывает положительный палеомагнитный тест складки, а также имеет две опции полярности: прямую и обратную (сайт D14/24).

Среднее направление ChRM для 33-х образцов имеет 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 перемагничивания. Среднее направление ChRM для 28 образцов имеет следующие координаты: $Dec_g = 89.5^\circ$, $Inc_g = 26.5^\circ$, $K_g = 6.7$, $a_{95} = 11.4^\circ$ (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, после чего 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 «C») по (McFadden, 1990) дал положительный результат, разница между средними направлениями прямой и обратной полярностей составляет 9.47.

В связи с тем, что древнее доскладчатое направление получено лишь по осадочным породам силасинской свиты, необходимо учесть вероятность того, что полученное палеомагнитное наклонение не отражает первичного направления времени формирования этих пород из-за занижения при последующей литификации. В образцах пород, где выделена лишь высокотемпературная компонента была исследована зависимость между анизотропией начальной магнитной восприимчивости (AMB) и наклонением намагниченности (Bradbury, 2005) с целью расчета величины занижения NRM в исследуемых осадочных породах. Результатом расчетов стала оценка истинной величины наклонения высокотемпературной компоненты намагниченности, составившая 52.2° , что почти на 20° больше наклонения среднего направления ChRM.

Для расчета координат палеомагнитного полюса, а также истинной палеошироты, с учетом величины занижения наклонения 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 (Н-чистка), т.к. при термомагнитной чистке большинства пород не удалось выделить стабильный палеомагнитный сигнал. Магнитная чистка проводилась в диапазоне от 1 до 95 мТл с шагом от 2 до 4 мТл и в ее результате были выделены две компоненты намагниченности: низко- и высококоэрцитивная. В ходе исследования образцов пород кемской свиты выделены 2 компоненты: 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 стремились 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 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 $30\div 42^\circ$.

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

В данной главе рассмотрены работы (Зоненшайн, 1990; Maryama, 1997; Натапов и др., 1998; Otofuj, 2003; Геодинамика..., 2006; Голозубов, 2006; Натальин, 1991; Парфенов и др., 2003; Ichihashi et al., 2015), в которых предложены различные реконструкции Сихотэ-Алиньского региона на раннемеловой период. Выявлены сходства и противоречия между этими реконструкциями. Из проведенного нами анализа моделей следует, что 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 позднеюрского 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 Изагаи.

На палеореконструкциях 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 Изагаи в этот отрезок времени (Engelbreton et al., 1985; Seton et al., 2012).

Изложенные в работе новые петролого-геохимические и палеомагнитные данные, а также

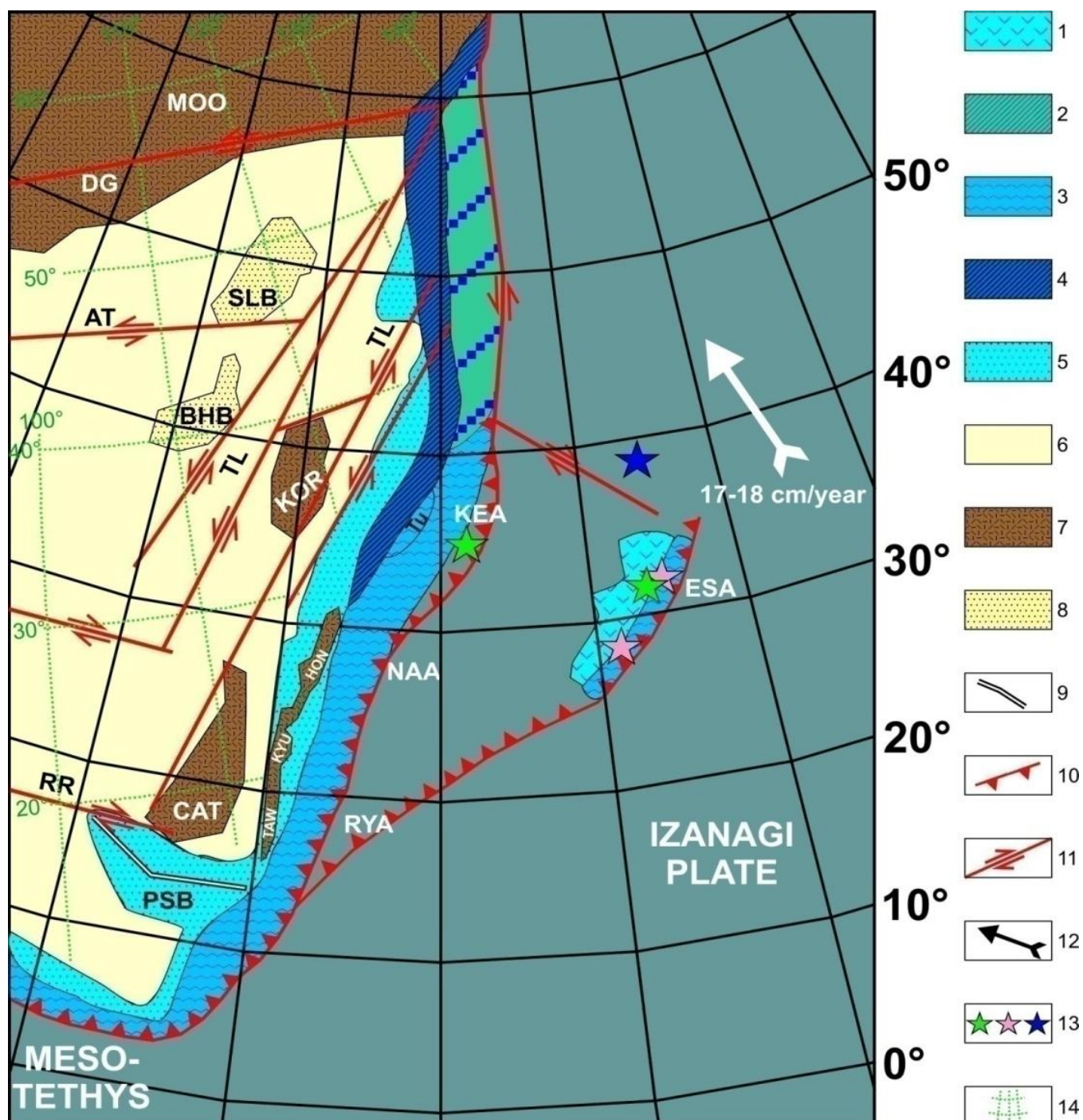


Рисунок 6.1. Магнитотектоническая реконструкция юго-восточной окраины Азии на 110 млн. лет с элементами палеогеографии. Равновеликая коническая проекция Альберса.

1 – Островодужные энсиматические вулканиты; 2 – Журавлевско-Амурский турбидитовый бассейн; 3 – меловые аккреционные призмы: (Ту – 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, BHB – 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 Изагаги (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.

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 Удыльского 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, либо в более зрелой островной дуге с повышенной мощностью литосферы над зоной субдукции, более приближенной континенту. Химические характеристики вулканитов вулканогенно-терригенного комплекса Удыльского 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 (верхний девон). Скорее всего осадки Киселевско-Маноминского террейна отлагались в геодинамической обстановке внешней океанической вулканической островной дуги без привноса континентального материала, и 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 (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 изученных пород террейнов хорошо согласуется с их стратиграфическим возрастом (107–111 млн. лет). Соответственно, следует предполагать, что начало формирования изученных пород произошло не ранее среднего альба, после внедрения первых фаз синаккреционных гранитоидов, поставлявших цирконы.

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-альбское время с учетом ошибки практически равны – $36 \pm 6^\circ$ и $33 \pm 5^\circ$ с.ш., соответственно.

Все вышеперечисленные данные по изученным апт-альбским 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–Палеопацифика» для раннеальбского времени (рисунок 6.1). 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 $\sim 36^\circ$ 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 $\sim 33^\circ$ с.ш. Между этими двумя островными дугами существовал бассейн $500\text{--}700$ км шириной (рисунок 6.1). 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 6.1), на север до современного положения. Движение на север продолжалось, вероятно, до конца мела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе комплексного исследования результаты позволяют сделать следующие выводы.

На основе геохимических исследований был сделан вывод о том, что формирование вулканических пород Кемского террейна и вулканогенно-терригенного комплекса Удильского сегмента Киселевско-Маноминского террейна происходило в надсубдукционных условиях, но в разных островных дугах. Кемские базальты характеризуются большей щелочностью и обогащенностью, что можно объяснить либо формированием их в тыловой зоне островной дуги, либо в целом большей мощностью литосферы над зоной субдукции, более приближенной континенту. Вулканиды Киселевско-Маноминского террейна формировались, по-видимому, в интраокеанической островной дуге.

По палеомагнитным и геохронологическим данным, островодужные комплексы обоих террейнов формировались примерно в одно время и на близких широтах ($33 \pm 5^\circ$ и $36 \pm 6^\circ$ с.ш.), но на разном удалении от континента, что также подтверждается геохронологическими данными. 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. Благодаря этим выводам была предложена модель, согласно которой породы 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. Ширина и глубина междугового бассейна были достаточны, чтобы влияние континентальных источников сноса в зоне накопления осадков Киселевско-Маноминского террейна не сказывалось.

По палеомагнитным данным островодужные комплексы обоих террейнов формировались значительно южнее современного положения на широтах: Кемского террейна – $36 \pm 6^\circ$,

Удыльского сегмента Киселевско-Маноминского террейна – $33 \pm 5^\circ$ с.ш. В дальнейшем, в результате движения вдоль трансформной континентальной окраины с разворотом против часовой стрелки на 90° (Удыльский сегмент Киселевско-Маноминского террейна) и 10° (Кемский террейн), а также постагрегационных перемещений в сеномане изученные комплексы заняли близкое современному положению.

Список публикаций по теме выпускной квалификационной работы

Статьи в рецензируемых журналах:

1. **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.
2. Диденко А.Н., Захаров В.С., Гильманова Г.З., Меркулова Т.В., **Архипов М.В.** Формализованный анализ сейсмичности Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 2. С. 58-69.
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-Алиньского орогена: геодинамические следствия // Доклады Академии Наук. 2018. Т. 481. № 4. С. 1-4.
4. 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.
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. **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.
2. 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.
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. Песков А.Ю., **Архипов М.В.**, Диденко А.Н. Палеомагнитные исследования мезозойских осадочных пород Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов Сихотэ-Алиньского 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.
5. **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.