

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Лебедев Иван Евгеньевич

**Палеомагнетизм и геохронология северной части Охотско-Чукотского
вулканогенного пояса**

1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2026

Диссертация подготовлена на кафедре динамической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук

Научные руководители: *Павлов Владимир Эммануилович*

доктор физико-математических наук, доцент

Веселовский Роман Витальевич

*доктор геолого-минералогических наук,
профессор РАН*

Официальные оппоненты: *Акинин Вячеслав Васильевич* – доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт имени Н.А. Шило Дальневосточное отделение Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории петрологии, изотопной геохронологии и рудообразования, директор

Коваленко Дмитрий Вячеславович – доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории редкометального магматизма, заведующий лаборатории анализа минерального вещества, заместитель директора по научно-методической работе

Никишин Анатолий Михайлович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, заведующий кафедрой региональной геологии и истории Земли

Защита диссертации состоится 27 марта 2026 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.7 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, геологический факультет, ауд. 415.

E-mail: nybadulina@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3801>

Автореферат разослан «___» февраля 2026 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета МГУ.016.7,

кандидат геолого-минералогических наук

Ю.А. Гатовский

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования. Жесткость литосферных плит и наличие узких границ между ними являются важными постулатами классической тектоники плит. Основоположники теории тектоники плит ясно осознавали (см., напр., Morgan, 1968; Wilson, 1963), что на поверхности Земли имеются регионы, где названные постулаты либо не выполняются, либо имеют ограниченное применение. Существование таких регионов привело к формированию концепции диффузных границ, предполагающей, что между взаимодействующими жесткими плитами могут существовать обширные (шириной до нескольких сот километров и более) буферные области, включающие разноранговые тектонические блоки, которые могут испытывать движения друг относительно друга. Несмотря на неопределенности, существующие в определении границ таких областей, общая их площадь составляет, по-видимому, около 15% земной поверхности (Gordon et al., 1990; Gordon, 1998).

Многочисленные геофизические, сеймотектонические и геологические данные указывают на то, что Северо-Восток Евразии, будучи областью взаимодействия трех крупных литосферных плит: Северо-Американской, Тихоокеанской и Евразийской, также является регионом, где широко развиты диффузные границы. На это указывает выделение разными авторами в регионе малых плит (напр. Охотоморской, Беринговоморской и др.), границы между которыми характеризуются неопределенностью географического положения и невозможностью аппроксимации узкими линеаментами (Имаев и др., 2019; Петрищевский, 2015; Тимофеев и др., 2012; Ханчук, Петрищевский, 2007).

В этом случае, естественно, встает вопрос о разграничении этих блоков, о масштабах их взаимных перемещений и об их соотношении с более крупными соседями: Северо-Американской и Евразийской литосферными плитами. Особый интерес с этой точки зрения представляет крайний северо-восток региона, а именно Чукотский полуостров, на принадлежность различных областей которого к тем или иным тектоническим блокам в кайнозойское время имеются разные точки зрения (Имаев и др., 2000; Чехович и др., 2014; Imaeva et al., 2017; Mackey et al., 2010; Miller et al., 2018a; Nokleberg et al., 2000; Redfield et al., 2007). Дополнительное внимание к данному региону привлекает наличие на его территории многочисленных (в том числе уникальных) месторождений Au, Ag, Sn, W, Hg, Cu (Сидоров и др., 2009; Chitalin et al., 2022; Thomson et al., 2023).

Классическим методом, позволяющим количественно оценить масштаб тектонических движений структурных элементов земной коры, их принадлежность к той или иной тектонической плите, является палеомагнитный метод. Однако надежных палеомагнитных

определений, которые могли бы охарактеризовать кинематику различных тектонических блоков Северо-Востока Евразии в конце позднего мела и в кайнозой, крайне недостаточно.

Таким образом, тестирование разных моделей тектонического строения и реконструкция тектонической эволюции самой северо-восточной оконечности Евразии требует получения новых надежных палеомагнитных определений. Весьма перспективным объектом для получения таких определений, в силу хорошей сохранности и отсутствия значительных деформаций, представляются породы Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП).

Надежность палеомагнитных определений и сама возможность их использования для решения тектонических задач определяются наличием надежной информации о возрасте пород, по которым эти определения были получены (Meert et al., 2020; Van der Voo, 1990). Это обязывает к комплексу палеомагнитных исследований добавлять работы, направленные на определение возраста пород, если таковые не были сделаны ранее. В случае с вулканогенными породами ОЧВП, дискуссии о возрасте его основных стратонев продолжают с момента их выделения (напр., Акинин, Миллер, 2011; Белый, 1977; Белый, 2008; Котляр, Русакова, 2005; Лебедев, 1987; Тихомиров, 2020). Разночтения в оценках возраста вулканитов ОЧВП определяют актуальность получения новых надежных изотопно-геохронологических данных, которые являются критически необходимыми для уточнения возраста основных стратиграфических подразделений ОЧВП, в том числе его северной части.

Цель и задачи работы. Настоящая работа направлена на решение фундаментальной проблемы расшифровки процессов, происходящих на диффузных границах литосферных плит, на примере реконструкции тектонической эволюции Чукотского полуострова, находящегося в зоне взаимодействия Северо-Американской плиты и западной части Берингоморского блока, в позднем мелу и кайнозой.

При этом перед работой ставились следующие цели:

1. Выполнить палеомагнитное тестирование когерентности тектонических блоков, слагающих территорию Чукотского полуострова с Северо-Американской и Евразийской плитами, в том числе масштабы и направления перемещений этих тектонических блоков относительно названных плит.
2. Выполнить тестирование тектонических моделей, описывающих взаимодействие Северо-Американской плиты и западной части Берингоморского блока.

Для достижения целей работы были сформулированы и решены следующие задачи:

1. В пределах чукотской части ОЧВП выполнен подбор объектов (разрезов вулканогенных толщ), наиболее благоприятных для получения надежных палеомагнитных данных.

2. Разработана методика отбора ориентированных проб, альтернативная таковым, использующим магнитный или солнечный компасы, и предназначенная для работы с сильномагнитными породами в полярных областях и в других регионах с малым количеством солнечных дней.
3. С использованием современных изотопно-геохронологических методов получены ограничения на время формирования изученных вулканических толщ, а также уточнены возрастные рубежи становления некоторых стратиграфических подразделений северных сегментов ОЧВП.
4. Выполнены детальные палеомагнитные исследования выбранных объектов, определены их палеомагнитные полюсы. Выполнено сопоставление полученных палеомагнитных полюсов с референтными кривыми кажущейся миграции палеомагнитных полюсов Северо-Американской и Евразийской литосферных плит.

Объект и предмет исследования. Объект исследования – ряд разрезов вулканогенных пород Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, обнажающихся в окрестностях золото-серебряных месторождений Купол и Валунистое, а также залива Креста Берингова моря. Эти объекты были выбраны по результатам рекогносцировочных работ, выполненных на начальных этапах настоящего исследования.

Предмет исследования – тектоническая эволюция Берингоморского региона в интервале времени от позднего мела до современности.

Фактический материал. Фактический материал для написания данной работы был собран в течение четырех полевых сезонов (2019-2021 и 2023 годов) на ряде разрезов, расположенных на территории Чукотского АО. В результате проведенных работ для детальных палеомагнитных исследований были отобраны коллекции, включающие около 4000 ориентированных образцов. Еще около 1500 образцов было отобрано в процессе предварительных рекогносцировочных исследований, проводившихся с целью выбора оптимальных объектов. Из разрезов «Купол», «Валунистое», «Залива Креста» во время проведения полевых работ было отобрано также несколько десятков проб для геохронологических исследований.

Методы исследования. Пробоподготовка и подавляющая часть палеомагнитных лабораторных измерений выполнены в стенах Института Физики Земли им. О.Ю. Шмидта (г. Москва) в лаборатории Главного геомагнитного поля Земли и петромагнетизма. Некоторые петромагнитные измерения были проведены в университете Людвиг-Максимилиана в Мюнхене, Германия. Геохронологические исследования выполнялись в различных лабораториях России: Центре Изотопных исследований Института Карпинского, г. Санкт-Петербург; ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; ИЗК СО РАН, г. Иркутск, и в Лаборатории

трекового анализа и изотопной геохронологии ИФЗ РАН, г. Москва.

Личный вклад. Во всех опубликованных работах вклад автора является основополагающим. Во всех полевых сезонах, кроме первого, автор данной работы был непосредственным организатором и руководителем экспедиций. В ходе этих работ был собран весь каменный материал, лежащий в основе всех публикаций автора (статьи [1-10]). Подавляющая часть палеомагнитных и значительная часть петромагнитных лабораторных экспериментов, лежащих в основе работ [1, 4-7, 9, 10], выполнена непосредственно автором. Все геохронологические исследования проходили при непосредственном участии автора и представлены в работах [2, 3]. Новая методика ориентирования палеомагнитных образцов при помощи теодолита разработана и опробована при непосредственном участии автора [6]. Обсуждение погрешностей, связанных с использованием магнитного компаса представленное в работах [6 и 7] происходило при непосредственном участии автора. Расчеты палеомагнитных плюсов и амплитуды геомагнитных вариаций, представленные в работах [1, 5, 7, 9, 10] выполнены непосредственно автором. Автор принимал активное участие в обсуждении палеомагнитных и геохронологических результатов в работах [1-3, 5-10], а также написании текстов большинства публикаций [1-3, 4-7, 9-10].

Достоверность и обоснованность полученных результатов. Достоверность представляемых результатов обеспечена значительным объемом фактического материала, использованного при их получении, а также применением оборудования и методик, в полной мере отвечающих современным международным стандартам.

Научная новизна. Впервые для северной части Охотско-Чукотского пояса получены палеомагнитные результаты, отвечающие современным критериям надежности. Эти результаты накладывают новые палеомагнитные ограничения на тектоническую эволюцию западной части Берингоморского региона. Получены новые геохронологические данные, характеризующие основные этапы становления северной части ОЧВП. Разработана и опробована новая методика отбора ориентированных проб из сильномагнитных пород в условиях, когда использование солнечного компаса невозможно.

Защищаемые положения:

1. Новые изотопно-геохронологические данные позволяют существенно пересмотреть возрастные характеристики некоторых стратонов северной части ОЧВП. Нижние толщи (существенно вулканогенная нырвакинотская и терригенная ольховская) сформированы 95-87 млн лет назад, а кислые вулканиты пыкарваамской свиты извержены 91-84 млн лет назад. Финальные стадии базальтового вулканизма ОЧВП имели место 72-67 млн лет назад.
2. Новые палеомагнитные данные определяют палеошироты формирования изученных

вулканических разрезов северо-восточной части Охотско-Чукотского вулканического пояса, а также относительно небольшие, но статистически значимые смещения соответствующих тектонических блоков в конце мелового периода или кайнозой относительно Северо-Американской плиты. Объект «Купол» сформирован 86 млн лет назад на широте $80.1 \pm 5.0^\circ$ и испытал с момента своего образования вращение против часовой стрелки на угол около 30° градусов относительно Северо-Американской плиты. Объект «Валунистый» сформирован 72 млн лет назад на широте $74.5 \pm 4.5^\circ$ и испытал с момента своего образования смещение к северу относительно Северо-Американской плиты на величину порядка 4.5° (~500 км).

3. Полученные палеомагнитные результаты определили тектоническую принадлежность изученных объектов: тектонический блок, к которому относится объект «Валунистое», следует рассматривать как один из наиболее западных блоков, относимых к Берингоморской плите, а тектонический блок объекта «Купол» – к наиболее восточным областям чукотской деформированной окраины Северо-Американской плиты.

Теоретическая значимость. Полученные результаты вносят вклад в развитие представлений о процессах, протекающих на границах тектонических плит. Новые палеомагнитные определения важны для разработки новых тектонических и палеогеографических реконструкций рассматриваемого региона. Результаты, полученные в данной работе, вносят существенный вклад в разработку стратиграфических схем северной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

Практическая значимость. Полученные геохронологические и палеомагнитные данные необходимо учитывать при разработке легенд геологических карт и для геологического картирования региона. Эти данные накладывают новые ограничения на модели тектонической эволюции Чукотской части Верхояно-Чукотской складчатой области и/или западной части Берингоморского региона, которые являются необходимой основой для многочисленных региональных исследований, направленных на поиски и разведку полезных ископаемых.

Публикации и апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на многочисленных отечественных и международных научных конференциях. Основные из них: «Тектоническое совещание. Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики» г. Москва в 2020 и 2023 гг.; «Научная конференция молодых учёных и аспирантов ИФЗ РАН» г. Москва в 2020-2025 гг.; «European Geosciences Union General Assembly (EGU)» в 2020 и 2021 гг.; «Mediterranean Geosciences Union (MedGU)» в 2024 г.; «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту» г. Иркутск в

2020 и 2023 гг.; «Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии 2020» и «Север и Арктика: геология, экономика, история, 2024» г. Магадан в 2020 и 2024 гг., «Проблемы Геокосмоса» 2022 и 2024 гг. Санкт-Петербург, «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород» г. Казань 2023 и 2025 гг. и др. Все основные результаты обсуждались в рамках «Общественного семинара по палеомагнетизму и магнетизму горных пород» и «Семинара по геохронологии и аналитическим методам исследований в науках о Земле» ИФЗ РАН г. Москва, «Тектонического коллоквиума» ГИН РАН г. Москва, а также семинара Пекинского университета (PKU) г. Пекин.

Основные идеи и положения работы изложены в 10 научных работах автора, все 10 публикаций в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационным советом МГУ по специальности и отрасли наук.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Работа объемом 187 страниц содержит 42 иллюстрации, 5 таблиц и приложения (5 таблиц). Список литературы включает 212 источника.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Геологическая характеристика и палеомагнитная изученность региона исследования

В данной главе представлена краткая характеристика геологического строения Северо-Востока Евразии и его тектоническая история в позднемезозойское и кайнозойское время.

Охотско-Чукотский вулканогенный пояс – одна из крупнейших окраинно-континентальных вулканических провинций на Земле (Тихомиров, 2020; Акинин, Миллер, 2011). В целом, ОЧВП имеет трехчленное строение (снизу вверх): «нижние андезиты», «преимущественно кислая толща», «верхние базальты» (Устиев, 1959; Белый, 1977; Тихомиров, 2020, Акинин, Миллер, 2011). Внутри преимущественно кислой толщи часто выделяется толща двупироксеновых андезибазальтов (Белый, 1977; Щепетов, 2022).

Первый объект исследования называется «Купол» и расположен в непосредственной близости от одноименного золото-серебряного месторождения на Западной Чукотке (рис. 1). Места опробования примерно соответствуют средней части вулканогенного разреза Центрально-Чукотского сегмента (ЦЧС) ОЧВП (Белый, 1977; Тихомиров, 2020), сложенной андезитами, андезибазальтами и их туфами. Второй объект - «Валунистое» - расположен в окрестностях одноименного золото-серебряного месторождения на Центральной Чукотке (рис.1), где опробовались преимущественно венчающие разрез ОЧВП «верхние базальты» Восточно-Чукотского сегмента (ВЧС) (Белый, 1977; Тихомиров, 2020). Третий исследованный в рамках данной работы объект - «Залив Креста», также как и «Валунистое», расположен в

пределах ВЧС ОЧВП в районе одноименного залива Берингова моря (рис. 1). В пределах «Залива Креста» опробовались в основном нижние части ОЧВП и его подстилающая «предвулканогенная моласса» (Белый, 1977): песчаники, туфоконгломераты, туфы, лавы (риолиты, дациты) и прорывающие их граниты. К сожалению, на объекте «залив Креста» палеомагнитные результаты оказались противоречивыми из-за значительных гидротермальных изменений, поэтому в рамках данной работы будут обсуждаться только геохронологические результаты по этому объекту.

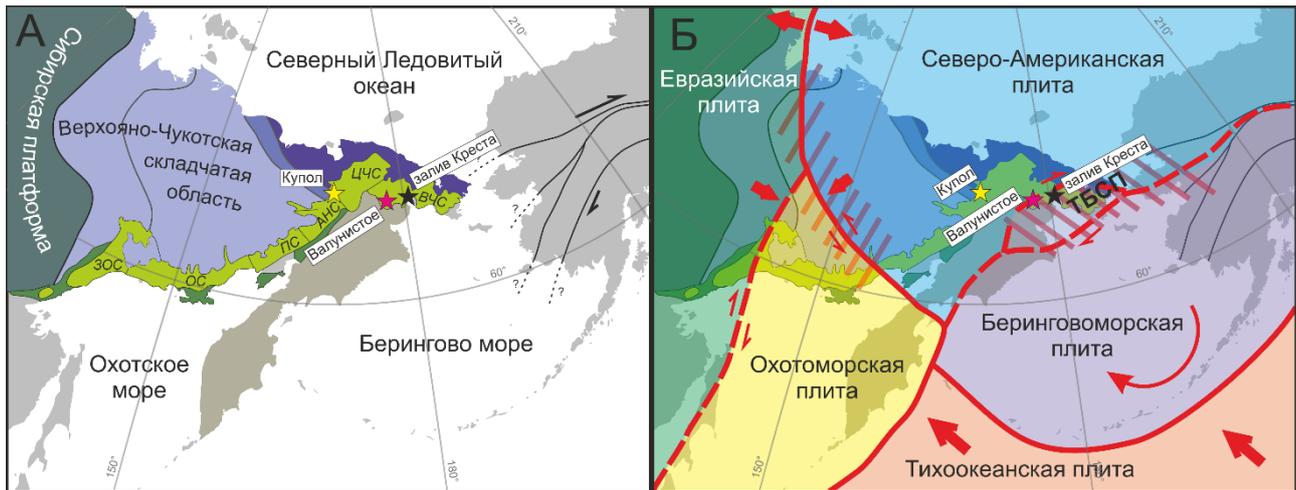


Рисунок 1. Схемы тектонического районирования Северо-Востока Евразии: А - по (Тильман, Богданов, 1992) с упрощениями; Б – схема современного тектонического районирования региона (Имаев и др., 2000; Fujita et al., 2002; Mackey et al., 1997; Mackey et al., 2010). 1 – Сибирская платформа; 2 – Верхояно-Чукотская складчатая область и ее наиболее северо-восточные элементы; 3 – Южно-Аньюйская сутурная зона, 4 - Чукотский террейн; 5 – Предальбские комплексы аккреционной Западно-Корякской складчатой области и Удско-Мургальский вулканический пояс (Соколов, 1992); 6 – Охотско-Чукотский вулканоплутонический пояс и границы секторов ОЧВП по (Белый, 1977): ЗОС – Западно-Охотский, ОС – Охотский, ПС – Пенжинский, АНС – Анадырский, ЦЧС – Центрально-Чукотский, ВЧС – Восточно-Чукотский; 7 – Корякско-Камчатская складчатая область; 8 – границы плит и их кинематика, сплошная линия – достоверные, пунктирная линия – предполагаемые; 9 – зоны диффузных границ плит, где ТБСП – Транс-Берингоморский сейсмический пояс (Fujita et al., 2002); 10 – Евразийская плита; 11 – Северо-Американская плита; 12 – Охотоморская плита; 13 – Берингоморская плита; 14 – Звездами показаны объекты исследований.

Глава 2. Методика исследований

Лабораторные палеомагнитные и петромагнитные исследования выполнялись по стандартной методике (Храмов и др., 1982; Butler, 1992; Tauхе, 2010) в палеомагнитных лабораториях ИФЗ РАН (Москва) и Университета Ludwig Maximilian (Мюнхен). Обработка полученных палеомагнитных направлений включала группирование вулканических пульсов

по методике предложенной (Chenet et al., 2008). Расчет амплитуды палеогеомагнитных вариаций производился по формулам (Cox, 1970; McFadden et al., 1991) с использованием как фиксированного 45° угла отсечения, так и итеративного по (Vandamme, 1994).

Таблица 1. Список палеомагнитных полюсов, обсуждаемых в данной работе.

Ссылка	Плита/объект	Возраст млн. лет	Сокращение	Plat°	Plon°	A95°	N
Данная работа	Валунистое	72	V72	78.6	212.2	4.7	104
	Купол	86	K86	76.8	170	5.2	57
по методике (Besse, Courtillot, 2002; Torsvik et al., 2012) по базе данных (Vaes et al., 2023) (через палеомагнитные полюса)	С. Американская	86	PNa86	77.1	197.2	2.8	23
	С. Американская	72	PNa72	75.1	197.6	2.3	28
	Евразийская	86	PEu86	82.4	181.7	2.8	23
	Евразийская	72	PEu72	81.2	185.8	2.3	28
Расчет через ВГП (Vaes et al., 2023)	С. Американская	86	VNa86	76.8	201.5	2.0	437.5
	С. Американская	72	VNa72	75.3	198	1.3	488.4
	Евразийская	86	VEu86	82.7	189.2	2.0	437.5
	Евразийская	72	VEu72	81.4	185.8	1.3	488.4

Примечание. Plat, Plon, A95 – широта, долгота, круг доверия палеомагнитного полюса; N – количество сайтов, использованных для расчета.

Вычисление средних палеомагнитных полюсов для Евразии и Северной Америки производилось как с использованием классической процедуры расчета по единичным палеомагнитным полюсам (напр. (Besse, Courtillot, 2002; Torsvik et al., 2012)), так и через виртуальные геомагнитные полюсы (ВГП) по методике (Vaes et al., 2023) с использованием портала APWP-online (Vaes et al., 2024).

Изотопно-геохронологические исследования проводились в разных лабораториях России. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования по монофракциям проводились методом ступенчатого прогрева по методике, описанной в (Travin et al., 2009) в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Изотопные отношения в зернах циркона исследовались в трех лабораториях: ЦИИ ФГБУ «ВСЕГЕИ» (г. Санкт-Петербург) на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II; ИЗК СО РАН (г. Иркутск) на масс-спектрометре Agilent 7900 с приставкой для лазерной абляции Teledyne Analyte Excite; лаборатории трекового анализа и изотопной геохронологии ИФЗ РАН на масс-спектрометре Agilent 7900 с приставкой для лазерной абляции ESL NWR213.

Глава 3. Альтернативные методы ориентирования палеомагнитных образцов и их влияние на итоговые палеомагнитные результаты

В первых полевых сезонах было обнаружено, что породы ОЧВП обладают достаточно высокой намагниченностью. Этот факт не позволил в дальнейшем использовать классический

горный компас для ориентирования палеомагнитных образцов. В данной главе рассмотрены существующие альтернативные методы, не подразумевающие применение магнитного компаса: солнечный компас, техника обратного визирования, визирование образца на отдаленный объект и методика с использованием высокоточного GPS позиционирования (Таухе, 2010; Fukuma, Muramatsu, 2022; Lawrence et al., 2009). Предложен новый метод, использующий теодолит с лазером, частично лишенный недостатков других методов.

По результатам обработки полученного в ходе исследований уникального набора данных ориентировок образцов определен масштаб ошибок, связанных с использованием магнитного компаса, изучен характер их распределения. Показано, что, несмотря на значительный масштаб ошибок ориентировки индивидуальных образцов (стандартное отклонение = 17.2° при среднем значении -1.1°), это не приводит к сколько-нибудь значимому влиянию на конечный результат – координаты палеомагнитного полюса или амплитуду вековых геомагнитных вариаций. В данном случае, это объясняется высокими палеонаклонениями обсуждаемых палеомагнитных направлений, а также их значительным усреднением (1024 образца из 79 сайтов).

Численное моделирование искажений, связанных с использованием магнитного компаса, показывает, что для более низких палеоширот масштаб этих искажений, при достаточно большом объеме выборки, также меньше типичных погрешностей определения палеомагнитных полюсов и амплитуды вековых вариаций.

Глава 4. Результаты изотопно-геохронологических исследований и их интерпретация

Возраст вулканических комплексов ОЧВП является предметом острых дискуссий. Активная разработка стратиграфических схем для вулканитов ОЧВП началась в середине XX века, когда основным источником информации о возрасте являлись находки палеофлоры (Белый, 1977; Лебедев, 1987; Самылина, 1974; Филиппова и Абрамова, 1993). Последняя стратиграфическая схема, построенная на определениях возраста палеофлоры, была принята в начале XXI века (Решения..., 2009). Однако, специалисты в области палеоботаники сегодня признают (напр. Герман, 1999; Щепетов, 2022), что «возможности данного метода для континентальных вулканогенных толщ оказались более скромными, чем долгое время считалось» С.В. Щепетов, 2022.

Современные прецизионные изотопно-геохронологические методы, такие как $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ по мономинеральным фракциям и U-Pb по циркону, начали активно использоваться для оценки возраста пород ОЧВП только в самом конце XX в. Сегодня они представляются наиболее подходящими для определения основных возрастных рубежей становления ОЧВП (напр. Тихомиров, 2020; Акинин, Миллер, 2011). Новые $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и U-Pb определения

изотопного возраста часто противоречат возрасту стратонев, определенному палеоботаническими методами, и это, в ряде случаев, указывает на необходимость существенной ревизии стратиграфических схем (напр. Тихомиров, 2020; Акинин, Миллер, 2011, Щепетов и др., 2020 и др).

В данной работе представлено 13 U-Pb и 9 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ новых определений изотопного возраста (табл. 2; рис. 2, 3). Изотопно-геохронологические данные по объекту «Купол» можно отнести к юго-западной части Центрально-Чукотского (ЮЗ ЦЧС), а по объектам «Валунистое» и «залив Креста» - к западной части Восточно-Чукотского сегмента (запад ВЧС).

Новые изотопно-геохронологические данные, полученные в рамках данной работы, позволяют существенно пересмотреть возрастныe характеристики некоторых стратонев северной части ОЧВП. В частности, показано, что кислые вулканиты пыкарваамской свиты имеют турон-сантонский возраст 91-84 млн лет, Искатеньский гранитный массив формировался в сантон-раннекампанское время 86-82 млн лет назад, а «верхние базальты» нунлигранской свиты извергались в позднем кампане - маастрихте 72-68 млн лет назад. Новые данные также уверенно подтверждают, что нырвакинотская толща андезитов накапливалась в позднем сеномане - коньяке 95-87 млн лет назад, а ольховская свита формировалась в близкий возрастной интервал с вулканитами нырвакинотской толщи около 93 млн лет назад.

Возраст вулканических пород юго-западной части Центрально-Чукотского сегмента ОЧВП. С учетом новых данных о возрасте пород ЮЗ ЦЧС, учитывая их состав и положение в разрезе, не представляется возможным корректное отнесение их к каким-либо официально признанным региональным стратиграфическим подразделениям. Обобщая все имеющиеся оценки изотопного возраста вулканитов ЮЗ ЦЧС (всего 51 определение) можно выделить несколько этапов вулканизма (рис. 2):

1. Альбский (~105-103 млн лет) – разного состава. К югу от р. Малый Аной распространены породы среднего/основного состава (саламихинская/вилковская свиты), а к северу – преимущественно кислого состава (согласно (Тихомиров, 2020) - лелювеемская толща).
2. Позднесеноман-раннекампанский (~97-81 млн лет) – преимущественно кислого состава (объединяющий пыкарваамскую, эмунеретскую и эргываамскую свиты).
3. Позднекампан-маастрихтский (~74-67? млн лет) – основного состава (энмываамская свита).

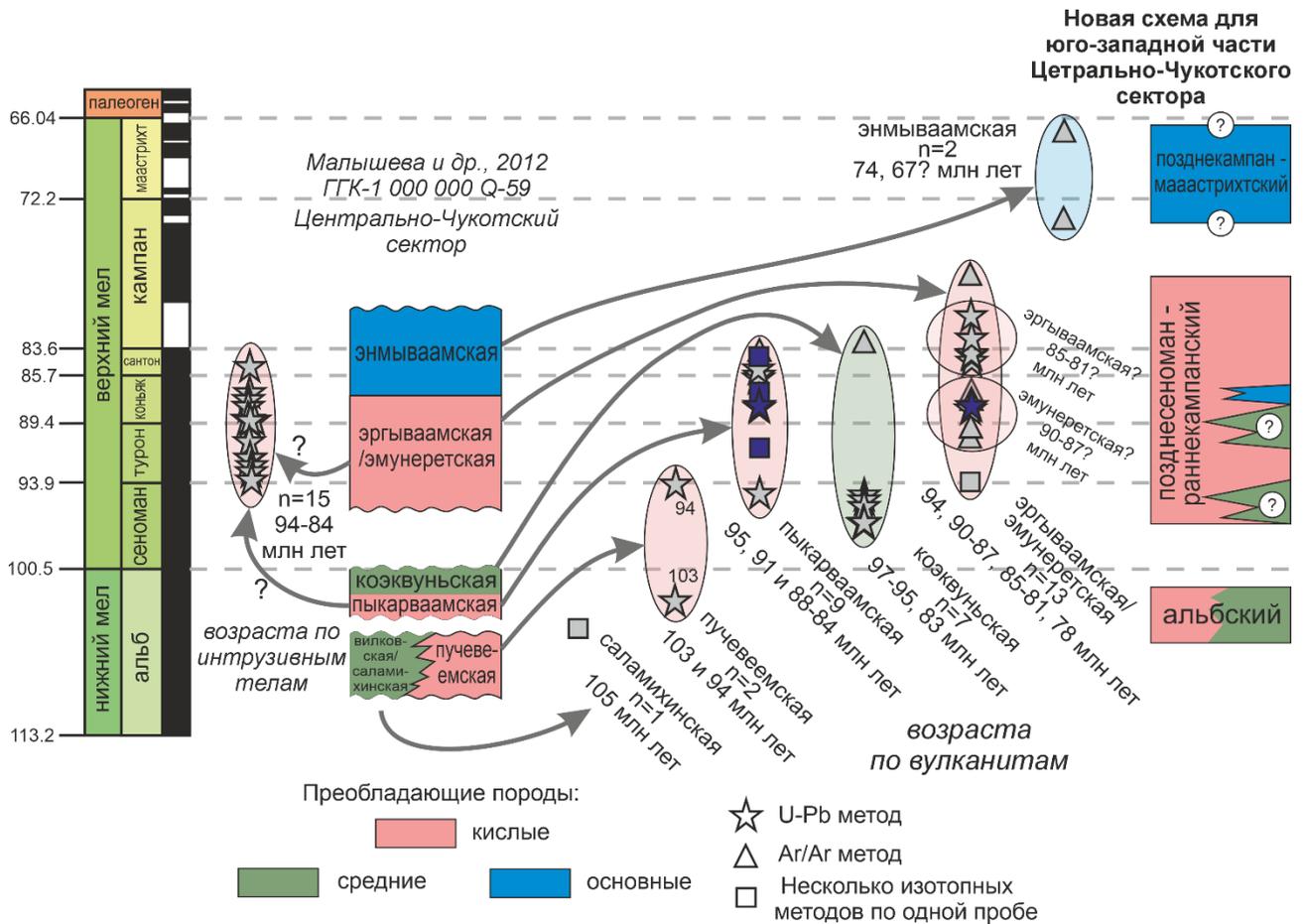


Рисунок 2. Схема корреляции изотопно-геохронологических данных и принятых стратиграфических подразделений ОЧВП по (Малышева и др., 2012) для юго-западной части Центрально-Чукотского сегмента (ЮЗ ЦЧС). Границы подразделений геохронологической шкалы указаны в соответствии с (Gradstein et al., 2020). Изотопные определения, отмеченные синим цветом – данная работа; серым - из работ (Акинин и др., 2015; Сахно и др., 2010; Сахно и др., 2020; Тихомиров и др., 2006; Тихомиров, 2020; Stone et al., 2009; Thomson et al., 2023). n – количество определений возраста для соответствующих стратонов.

Возраст вулканических пород западной части Восточно-Чукотского сегмента ОЧВП. Как и для ЮЗ ЦЧС, в пределах Восточно-Чукотского сегмента ОЧВП всего одно (из 24 имеющихся) определение изотопного возраста согласуется с возрастными рамками стратонов, установленных в легенде к геологической карте третьего поколения (Исаева и др., 2016).

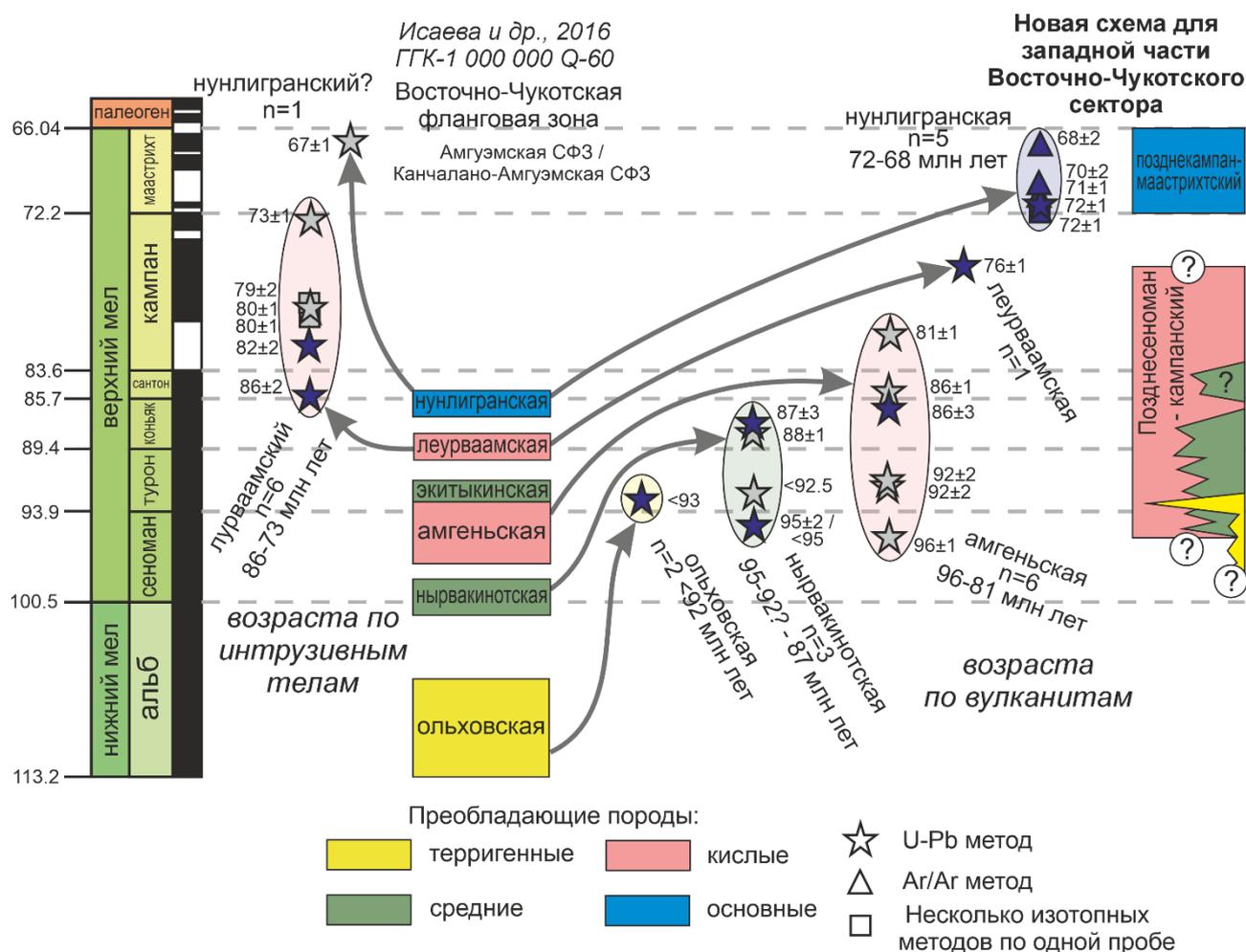


Рисунок 3. Схема корреляции изотопно-геохронологических данных и принятых стратиграфических подразделений ОЧВП согласно (Исаева и др., 2016) для западной части Восточно-Чукотского сегмента. Справа показана предлагаемая новая схема для данного региона с учетом данных об изотопном возрасте. Границы подразделений геохронологической шкалы указаны в соответствии с (Gradstein et al., 2020). Изотопные определения, отмеченные синим цветом, – данная работа; серым - из работ (Сахно и др., 2010; Тихомиров и др., 2006; Тихомиров, 2020; Тихомиров, Гульпа, 2025; Щелетов и др., 2020). n – количество определений возраста для соответствующих стратонов.

Анализ новых и ранее опубликованных изотопно-геохронологических данных позволяет предложить следующую последовательность событий на территории западной части ВЧС в альб-маастрихтское время (рис. 3):

1. Внедрение плутонов Чаунской магматической провинции ~109-100 млн лет (альб) (Тихомиров, 2020; Akinin et al., 2020)
2. Этап глубокой эрозии в сеноманское время (в интервале ~100-96 млн лет). Параллельно с этими событиями продолжают формироваться магматиты, наиболее вероятно, начальной стадии ОЧВП, которые могли быть эродированы на этом же этапе.

3. Формирование вулканитов западной части ВЧС ОЧВП с конца сеномана (96 млн лет). Как минимум до коньякского времени (~87 млн лет) состав вулканитов в данной области не постоянен - от средних (нырвакинотская толща) до кислых (амгеньская толща). Примерно в это же время заканчивают накапливаться терригенные породы ольховской свиты.
4. Этап кислого вулканизма, начавшийся с сеномана, продолжался вплоть до кампанского времени (до 79 млн лет, возможно, до 73 млн лет).
5. Этап преимущественно основного вулканизма в позднекампанское – маастрихтское время (72-67 млн лет) (нунлигранская свита).

Таблица 2. Результаты изотопно-геохронологических исследований.

проба	Lat°	Lon°	Порода	Свита/комплекс	метод	возраст	±2σ
Юго-западная часть Центрально-Чукотского сегмента (объект «Купол»)							
0400	67.015	170.259	кристаллоигнимбрит дацита	пыкарваамская	U-Pb SIMS	84.4	0.7
					⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar амфибол	85.6	1.6
					⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar биотит	84.8	1.7
0405	67.002	170.294	кристалловитротуф риолита	пыкарваамская	U-Pb SIMS	86.9	0.8
					⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar биотит	88.8	2.4
0117	66.871	169.746	игнимбрит риолита	эмунеретская	U-Pb SIMS	87.9	0.5
0107	66.887	169.802	лава риолита	пыкарваамская	U-Pb SIMS	88.1	0.5
0101	66.905	169.781	кристаллоигнимбрит дацита	пыкарваамская	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar амфибол	91.2	1.5
					⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar биотит	91.0	3.7
Западная часть Восточно-Чукотского сегмента (объекты «Валунистое» и «Залив Креста»)							
Ch21 (1011)	66.398	177.517	игнимбрит риолита	леурваамская	U-Pb SIMS	75.9	0.7
Ch21 (0906)	66.445	177.673	туф риолита	нунлигранская	U-Pb SIMS	72.4	0.4
					⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar санидин	72.1	1.1
Ch6 (VP4-16)	66.433	177.615	базальт	нунлигранская	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar плагиоклаз	71.3	1.4
Ch24 (0910)	66.442	177.682	базальт	нунлигранская	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar плагиоклаз	67.5	1.8
Ch26 (1203)	66.428	177.549	базальт	нунлигранская	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar плагиоклаз	70.4	1.8
0800	66.514	177.299	игнимбрит риолита	нунлигранская	U-Pb LA-ICP-MS	71.7	0.5
14-18	66.334	-179.153	туф риолита	амгеньская	U-Pb LA-ICP-MS	86.3	3.5
14-22	66.323	-179.139	туф риолита	нырвакинотская	U-Pb LA-ICP-MS	87.3	2.8
14-3g	66.538	-179.162	гранит	леурваамский	U-Pb LA-ICP-MS	85.5	2.5
14-4g	66.527	-179.151	гранит	леурваамский	U-Pb LA-ICP-MS	81.8	1.7
23-6k	66.548	-179.44	туфоконгломерат	нырвакинотская	U-Pb LA-ICP-MS	< 95 / 95.0	2.1
23-1s	66.532	-179.381	песчаник среднезернистый	ольховская	U-Pb LA-ICP-MS	< 93	

Примечания. Все определения U-Pb методом сделаны по циркону.

Отмеченные нестыковки геохронологических данных и стратиграфических схем, принятых для юго-западной части Центрально-Чукотского сегмента и западной части Восточно-Чукотского сегмента (Решения..., 2009), приводят к выводу о необходимости

корректировки существующих стратиграфических схем и геологических карт. Новые схемы, лучше согласующиеся с новыми данными по геохронологии, изображены на рис. 2 и 3.

Оценка возраста исследованных палеомагнитных разрезов. Важным результатом проведенных изотопно-геохронологических исследований явилось существенное уточнение возрастных ограничений на время формирования разрезов, палеомагнетизм которых был изучен в ходе настоящей работы. Возраст вулканитов объекта «Купол» определяется как интервал 88-84 млн лет (коньяк-сантон) (среднее значение, используемое далее для палеомагнитного полюса - ~86 млн лет), а объекта «Валунистое» как интервал – 76-67 млн лет (поздний кампан-маастрихт) (среднее значение ~72 млн лет).

Глава 5. Результаты палеомагнитных исследований и их интерпретация

Основным носителем намагниченности в породах ОЧВП является низкотитанистый титаномагнетит, значительно реже встречаются титаномагнетиты с большим содержанием титана (до 10%). Качество палеомагнитной записи варьирует от хорошей до отличной. Характеристическая компонента имеет высокие наклонения, а ее первичность поддерживается: (1) положительным тестом контакта; (2) наблюдением в породах структур высокотемпературного распада титаномагнетита; (3) статистически значимым различием среднесайтовых направлений, рассчитанным для разных уровней разрезов; (4) близостью полученных палеомагнитных полюсов с полученными ранее по породам схожего возраста в данном регионе (Райкевич, 1995; Stone et al., 2009). Для выбора системы координат использовался палеомагнитный тест складки (Watson, Enkin, 1993; Enkin, 2003), который указывает на вторичную природу наблюдаемого наклона вулканических толщ.

По результатам обширных палеомагнитных исследований вулканических толщ на двух объектах «Купол» и «Валунистое» были вычислены надежные палеомагнитные полюса K86 и V72 ($Q_v=4$ и 6, соответственно (Van der Voo, 1990)) (координаты приведены в табл. 1).

Как можно увидеть на рис. 4, новые чукотские палеомагнитные полюса находятся вблизи североамериканских и евразийских референтных полюсов того же или близкого возраста, однако они статистически значимо отличаются от них (по (Debichi, Watson, 1995)). Небольшое отличие полученных полюсов от референтных полюсов Евразийской плиты неудивительно, поскольку, согласно традиционному мнению (Ле Пишон и др., 1977; Wilson, 1963), изученные объекты принадлежат к Северо-Американской плите. Однако эти полюсы отличаются также и от североамериканских референтных полюсов. Указанное различие полюсов свидетельствует об относительно небольших, но статистически значимых смещениях соответствующих тектонических блоков в позднем мелу или в кайнозойское время относительно Северо-Американской плиты. Вулканические толщи объекта «Купол» испытали

с момента своего образования вращение против часовой стрелки на угол порядка 30° относительно Северо-Американской плиты, тогда как объект «Валунистый» испытал с момента своего образования смещение к северу относительно Северо-Американской плиты на величину порядка 4.5° (~ 500 км).

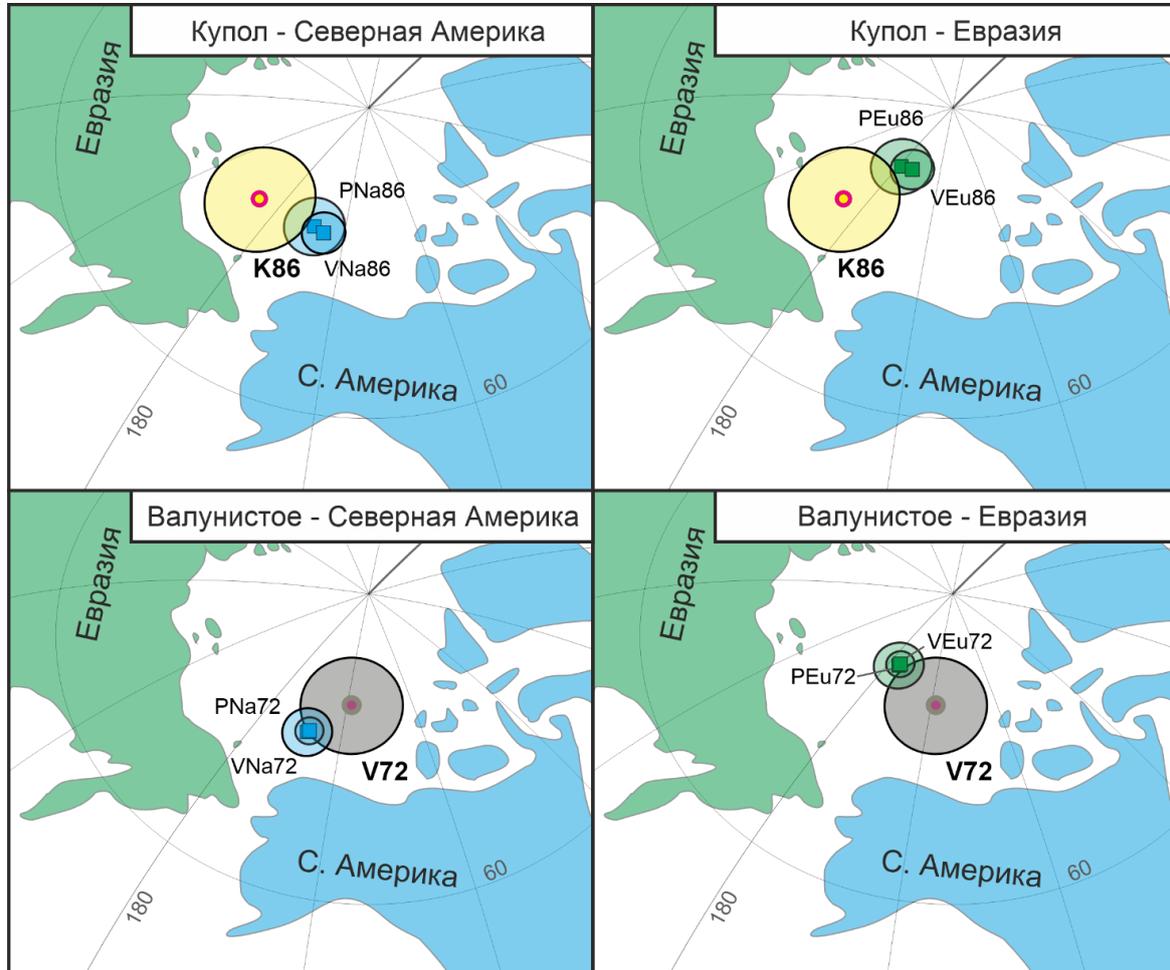


Рисунок 4. Сравнение новых палеомагнитных полюсов для объектов «Купол» (K86) и «Валунистое» (V72) с референтными полюсами Северной Америки и Евразии. Расшифровка сокращений опорных полюсов дана в табл. 1.

Среди множества моделей (Dumitru et al., 1995; Mackey et al., 1997; Nokleberg et al. 2000, Redfield et al., 2007; Чехович и др., 2014 и др.) описывающих тектоническую эволюцию Берингоморского региона, наиболее согласующейся с новыми палеомагнитными данными представляется модель Редфилда и Фитцджеральда (Redfield, Fitzgerald, 1993). Согласно ей, Берингоморская малая плита, по крайней мере, в своих периферийных частях, представляет собой серию тектонических блоков, движущихся на север под давлением Тихоокеанской плиты (рис. 5Б). В рамках этой модели также допускается вращение этих блоков против часовой стрелки к западу от 148 меридиана западной долготы (Чукотка и Западная Аляска) (рис. 5Б).



Рисунок 5. А – Абсолютная реконструкция Берингоморского региона на 72 млн лет (по Meredith et al., 2021) с изображением положения объекта «Валунистое», ожидаемого в предположении его тектонической когерентности с Северо-Американской плитой (фиолетовая звезда) и исходя из полученных новых палеомагнитных данных (черная звезда). Фиолетовым/черным пунктиром показаны возможные границы тектонического блока, к которому относится объект «Валунистое»; желтой звездой показано положение объекта «Купол» на 72 млн лет; черными стрелками показана кинематика деформаций по новым палеомагнитным данным; красными линиями показаны границы плит и других тектонических блоков: сплошными – достоверные, пунктиром – предполагаемые. Б – схематическое изображение тектонической модели Берингоморского региона по (Redfield, Fitzgerald, 1993) с положением изученных объектов: желтая звезда – «Купол», фиолетовая звезда – «Валунистое».

В развитие данной модели предлагается следующая схема (рис. 5А). Оба изученных объекта располагаются в пограничной области, разделяющей Берингоморскую плиту и расположенную от нее к западу часть Северо-Американской плиты. Берингоморская плита представляет (полностью или в значительной своей части) серию тектонических блоков, которые движутся (или могли двигаться) в северном направлении и могут (или могли) вращаться против часовой стрелки относительно Северо-Американской плиты.

Тектонический блок, к которому относится объект «Валунистое», является одним из наиболее западных блоков Берингоморской плиты. Тектонический блок объекта «Купол» рассматривается в составе чукотской деформированной окраины Северо-Американской плиты. Деформации, возникающие в процессе взаимодействия Берингоморской и Северо-Американской плит, в рассматриваемом регионе носят преимущественно диффузный характер. Потенциальной областью наибольших концентраций этих деформаций представляется северная ветвь Транс-Берингоморского сейсмического пояса (Fujita et al., 2002; Maskey et al., 1997), которая также имеет отражение в виде Амгуэмской и Анадырской шовных зон по данным глубинной геофизики (Сидоров и др., 2020).

Имеющиеся немногочисленные данные по термохронологии (Dumitru et al., 1995; McDannell et al., 2014), геологии (Moiseev et al., 2023; Федоров и др., 2011; Филатова, 2015; Akinin et al., 2020) и сейсмопрофилированию (Антипов и др., 2009; Ershova et al., 2025; Nikishin et al., 2025) по Чукотке и сопредельным территориям, позволяют предварительно ограничить время фиксируемых по палеомагнитным данным тектонических движений маастрихт – эоценовым интервалом (~72 - ~38 млн лет).

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы проведены палеомагнитные и геохронологические исследования пород Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, выходящих на поверхность на самой северно-восточной окраине Евразии – Чукотском полуострове.

В ходе проведенных исследований получены следующие основные результаты:

1. Разработан и опробован метод ориентирования геологических проб, альтернативный таковым, использующим магнитный или солнечный компасы, и предназначенный для работы с сильномагнитными породами в полярных областях и в других регионах с малым количеством солнечных дней.
2. На примере исследования вулканических пород ОЧВП определен масштаб ошибок, связанных с использованием магнитного компаса, изучен характер их распределения и влияния на палеомагнитные направления. Выполнено численное моделирование, которое показало, что масштаб искажений, связанных с использованием магнитного компаса, при достаточной степени осреднения, меньше типичных погрешностей определения палеомагнитных полюсов и амплитуды вековых вариаций.
3. Для значительной части стратонов северной части ОЧВП представлены новые определения U-Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраста, которые оказались отличными от ожидаемых, согласно существующим стратиграфическим схемам (Варламова, 2004; Исаева и др., 2016; Малышева и др., 2012; Решения..., 2009). На основе полученных данных для

рассмотренных областей - юго-западной части Центрально-Чукотского и западной части Восточно-Чукотского сегментов разработаны предложения по существенной модификации существующих стратиграфических схем.

4. Получены новые палеомагнитные данные для пород Охотско-Чукотского вулканического пояса в окрестностях месторождений Купол и Валунистое, которые указывают на их формирование значительно севернее современного положения и на наличие относительно небольших, но статистически значимых смещений изученных территорий относительно Северо-Американской плиты на интервале времени с позднего мела по современность. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии тектонической когерентности рассматриваемых территорий с Северо-Американской плитой и о наличии дифференциальных движений блоков внутри Чукотского террейна на указанном интервале времени. Полученные данные согласуются с моделью тектонической эволюции Берингоморского региона Редфилда и Фитцджеральда (Redfield, Fitzgerald, 1993) и позволяют в ее рамках предложить схему, согласно которой объекты «Купол» и «Валунистое» принадлежат пограничной области между Северо-Американской и Берингоморской плитами, при этом последняя представляется не единой жесткой тектонической единицей, а серией тектонических блоков. Тектонический блок, к которому относится объект «Валунистое», является одним из наиболее западных блоков, объединяемых в Берингоморскую плиту, а объект «Купол» относится к наиболее восточным областям чукотской деформированной окраины Северо-Американской плиты. Тектонические деформации, возникающие в процессе взаимодействия Берингоморской и Северо-Американской плит, в рассматриваемом регионе имеют преимущественно диффузный характер. Потенциальной областью, в которой могут быть наиболее сконцентрированы эти деформации, представляется Транс-Берингоморский сейсмический пояс.

В завершении работы необходимо отметить перспективы развития данной темы, которые, главным образом, связаны с получением современных фактических данных, отвечающих современным критериям надежности и качества. Подобных данных, как палеомагнитных, так и геохронологических, для Северо-Востока Евразии, и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса в частности, явно недостаточно.

Палеомагнитные данные. Для более детальной расшифровки тектонической истории любого региона необходимы десятки палеомагнитных определений для разных временных интервалов. Палеомагнитные полюса, полученные в рамках данной работы, открывают свет только на пост-позднемеловую тектоническую эволюцию региона, происходившую сразу после основной фазы формирования Верохожно-Чукотской складчатой области. Получение

надежных палеомагнитных данных для более древних комплексов, содержащих информацию о становлении данной складчатой области, было бы особенно интересно и перспективно.

Геохронологические данные. Возраст многих этапов формирования Охотско-Чукотского вулканогенного пояса до сих пор определен недостаточно надежно. Например, таковых определений вовсе нет для Пенжинского сегмента ОЧВП, а также они являются единичными для его начальных стадий на всем его протяжении. Остается нерешенным вопрос геодинамической позиции кампан-маастрихтского преимущественно основного вулканизма, имеющего место на восточной Чукотке.

Таким образом, настоящее исследование, раскрывая лишь один из аспектов мезозой-кайнозойской тектонической эволюции, служит важным, но отдельным фрагментом в сложной мозаике геологической истории Северо-Востока Евразии. Последовательная реализация указанных перспективных направлений позволит существенно дополнить и уточнить эту картину.

Благодарности. Первым делом необходимо выразить благодарность моим научным руководителям: д.ф.-м.н. Павлову В.Э., в многочисленных дискуссиях и горячих спорах с которым родилась основная часть данной работы, и д.г.-м.н. Веселовскому Р.В. за постоянную всестороннюю поддержку и предоставленную мне возможность заняться данной темой.

Д.г.-м.н. П.Л. Тихомирову за многочисленные консультации в области стратиграфии, геохронологии, петрологии и геологии Северо-Востока Евразии в целом и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса в частности. PhD Люлье Флориану за критический анализ палеомагнитных данных. Чл.-корр. д.г.-м.н. РАН Соколову С.Д., академику РАН д.г.-м.н. Диденко А.Н., к.г.-м.н. Пасенко А.М. за критические замечания и общий научный интерес к данной работе. Коллегам при непосредственном участии или советах которых была выполнена значительная часть геохронологических исследований: к.г.-м.н. Юдину Д.С., к.г.-м.н. Ларионову А.Н., д.г.-м.н. Иванову А.В., к.ф.-м.н. Брянскому Н.В., Ефремовой У.С., к.г.-м.н. Хубанову В.Б., Чистяковой А.В. Моим первым научным руководителям, которые открыли для меня мир геологии в целом и палеомагнетизма в частности: к.г.-м.н. В.Н. Войтенко и д.г.-м.н. Н.В. Лубниной. Всем без исключения коллегам лаборатории Главного геомагнитного поля Земли и петромагнетизма Института физики Земли им О.Ю. Шмидта за критические, но всегда доброжелательные замечания к работе, и в особенности к ее палеомагнитной части.

Необходимо выразить отдельную благодарность всем коллегам, которые участвовали в полевых экспедициях на Чукотке в разные годы: Павлову В.Э., Люлье Ф., Моисееву А.В., Пасенко А.М., Гаврюшкину Д.А., Усановой О.И., Фадеевой Т.И., Багдасарян Т.Э., Бобровниковой Е.М., Ушакову Д.А., Звереву А.Р., Дудановой В.И. и Заике Г.П.

Российскому Научному Фонду за финансирование данной работы (проекты №19-47-04110 и №23-17-00112), в том числе, что наиболее важно, полевых работ в столь удаленных и дорогостоящих для посещения уголках нашей страны, как Чукотка.

Большое спасибо всем членам моей семьи за создание условий для написания работы и постоянную поддержку.

IV. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук:

1. *Лебедев И.Е., Тихомиров П.Л., Пасенко А.М., Эйд Б., Люилье Ф., Павлов В.Э.* Новые палеомагнитные данные по позднемеловым вулканитам Чукотки: к вопросу о возможности перемещений Чукотского блока относительно Северо-Американской и Евразийской плит после формирования Охотско-Чукотского вулканического пояса // Физика Земли. 2021. № 2. С. 103-118. EDN: HWAHTI (1.12 п.л., вклад автора – 50%, импакт-фактор 1.176 (РИНЦ))

Lebedev I.E., Tikhomirov P.L., Pasenko A.M., Pavlov V.E., Eid B., Lhuillier F. New paleomagnetic data on Late Cretaceous Chukotka volcanics: the Chukotka block probably underwent displacements relative to the North American and Eurasian plates after the formation of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt? // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2021. vol. 57. № 2. pp. 232-246. EDN: KTDNLB (1.08 п.л., импакт-фактор 0.343 (SJR))

2. *Тихомиров П.Л., Лебедев И.Е., Пасенко А.М., Люилье Ф., Алексеев Д.В., Павлов В.Э.* "Верхние базальты" Восточно-Чукотского сегмента Охотско-Чукотского пояса: продольная миграция вулканической активности или наложение позднего магматического события? // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 501. № 2. С. 167-172. EDN: DRSSOS (0.37 п.л., вклад автора – 50%, импакт-фактор 0,795 (РИНЦ))

Tikhomirov P.L., Lebedev I.E., Pasenko A.M., Pavlov V.E., Lhuillier F.J.L., Alekseev D.V. The “upper basalts” of the East Chukotka segment of Okhotsk–Chukotka belt: the along strike migration of volcanic activity or the overprint by later magmatic event? // *Doklady Earth Sciences*. 2021. vol. 501. № 2. pp. 1038-1042. EDN: DHNXJO (1.03 п.л., импакт-фактор 0.261 (SJR))

3. *Тихомиров П.Л., Лебедев И.Е., Люилье Ф., Павлов В.Э.* Стратиграфия комплексов Охотско-Чукотского пояса в верховьях р. Малый Анюй (район месторождения Купол):

данные U-Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 501. № 2. С. 192-198. EDN: СКООТС (0.51 п.л., вклад автора – 50%, импакт-фактор 0,795 (РИНЦ))

Tikhomirov P.L., Lebedev I.E., Pavlov V.E., Lhuillier F.J.L. Stratigraphy of the Okhotsk–Chukotka belt in the headwaters of the Malyi Anyui river (the vicinity of Kupol deposit): U–Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age data // Doklady Earth Sciences. 2021. vol. 501. № 2. pp. 1059-1064. EDN: WQSPLS (0.48 п.л., вклад автора – 50%, импакт-фактор 0.261 (SJR))

4. *Bobrovnikova E.M., Lhuillier F., Shcherbakov V.P., Shcherbakova V.V., Zhidkov G.V., Lebedev I.E., Eid B., Pavlov V.E.* High-Latitude Paleointensities During the Cretaceous Normal Superchron From the Okhotsk–Chukotka Volcanic Belt // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2022. vol. 127. № 2. e2021JB023551 EDN: ERTYXL (1.8 п.л., вклад автора – 20%, импакт-фактор 1.820 (SJR))

5. *Лебедев И.Е., Бобровникова Е.М., Тихомиров П.Л., Эйд Б., Люилье Ф., Павлов В.Э.* Амплитуда вековых геомагнитных вариаций в позднем мелу по результатам палеомагнитных исследований вулканитов Охотско-Чукотского пояса верхнего течения реки Малый Анюй (Западная Чукотка) // Физика Земли. 2022. № 2. С. 41-59. EDN: РТКООЕ (1.4 п.л., вклад автора – 50%, импакт-фактор 1.176 (РИНЦ))

Lebedev I.E., Bobrovnikova E.M., Tikhomirov P.L., Pavlov V.E., Eid B., Lhuillier F. Amplitude of secular geomagnetic variation in Late Cretaceous based on paleomagnetic studies of the Okhotsk–Chukotka volcanic belt from upper reaches of Malyi Anyui river, West Chukotka // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2022. vol. 58. № 2. pp. 185-202. EDN: ECONLK (1.34 п.л., импакт-фактор 0.343 (SJR))

6. *Лебедев И.Е., Павлов В.Э., Минаев П.А.* Ошибки ориентирования палеомагнитных образцов при использовании магнитного компаса и возможные пути их преодоления // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2023. Т. 165. № 4. С. 633-645. EDN: IVOFWL (0.73 п.л., вклад автора – 80%, импакт-фактор 0,691(РИНЦ))

7. *Lhuillier F., Lebedev I.E., Tikhomirov P.L., Pavlov V.E.* High-Latitude Geomagnetic Secular Variation at the End of the Cretaceous Normal Superchron Recorded by Volcanic Flows From the Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2024. vol. 129. № 1. e2023JB027550 EDN: BNDYHW (2.3 п.л., вклад автора – 60%, импакт-фактор 1.820 (SJR))

8. *Ушаков Д.А., Лебедев И.Е., Павлов В.Э.* Влияние ошибок ориентации, связанных с использованием магнитного компаса, на точность определения положения

палеомагнитного полюса и амплитуды древних геомагнитных вариаций // Геодинамика и тектонофизика. 2024. Т. 15. № 2. С. 0752. EDN: ADJXPH (1.49 п.л., вклад автора – 20%, импакт-фактор 0,952 (РИНЦ))

9. *Lhuillier F., Lebedev I.E., Tikhomirov P.L., Pavlov V.E.* Is the Geodynamo Characterized by a Distinct Geomagnetic Secular Variation Regime During the Cretaceous Normal Superchron? // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2025. vol. 130. № 4. e2024JB030928. EDN: SNFXUE (1.62 п.л., вклад автора – 60%, импакт-фактор 1.820 (SJR))

10. *Лебедев И.Е., Павлов В.Э., Тихомиров П.Л., Пасенко А.М., Ефремова У.С.* Граница между Северо-Американской и Беринговоморской плитами: новые палеомагнитные данные по позднемеловым вулканитам Центральной Чукотки // *Геология и геофизика*. 2025. Т. 66. №11. С. 1393-1417. EDN: RDFYAS (2.8 п.л., вклад автора – 80%, импакт-фактор 1,490 (РИНЦ))

Lebedev I.E., Pavlov V.E., Tikhomirov P.L., Pasenko A.M., Efremova U.S. North American – Bering plate boundary: new paleomagnetic data on Late Cretaceous volcanic rocks of Central Chukotka // *Russian Geology and Geophysics*. 2025. vol. 66. № 11. pp. 1359–1381. EDN: FOSAYK (2.74 п.л., импакт-фактор 0.425 (SJR))