

На правах рукописи



**Пасенко Александр Михайлович**

**ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ПОРОД  
СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Специальность 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени кандидата  
геолого-минералогических наук

МОСКВА – 2021

**Работа выполнена** в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.

*Научный руководитель:* **Павлов Владимир Эммануилович**, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук;

*Официальные оппоненты:* **Кузьмичев Александр Борисович**, доктор геолого-минералогических наук, заведующей лабораторией геологии складчатых поясов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Российской академии наук;

**Минюк Павел Сергеевич**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геологии кайнозоя и палеомагнетизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Северо-восточного комплексного научно-исследовательского института им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук.

*Ведущая организация:* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского (г. Саратов).**

Защита состоится 27 мая 2021 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.001.01 при Институте Физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук по адресу: г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН и на сайте [www.ifz.ru](http://www.ifz.ru). Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации [www.vak.minobrnauki.gov.ru](http://www.vak.minobrnauki.gov.ru) и на сайте института [www.ifz.ru](http://www.ifz.ru).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, в 2-х экземплярах просьба направлять по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, ИФЗ РАН, ученому секретарю диссертационного совета Владимиру Анатольевичу Камзолкину.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » апреля 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук



В.А. Камзолкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа направлена на разработку одной из фундаментальных проблем палеомагнетизма: построение траектории кажущейся миграции полюса (ТКМП) для Сибирской платформы в мезопротерозое. Эта проблема решается на основании изучения осадочных и магматических пород Уджинского и Оленекского поднятий северо-востока Сибирской платформы.

### Актуальность работы

Для успешного решения ряда важных геологических (палеотектонических, палеогеографических, геохронологических, стратиграфических и др.) задач докембрия Сибири необходимо разработать детальную траекторию (кривую) кажущейся миграции полюса. Эта кривая являясь, фактически, выражением истории дрейфа Сибирского кратона на протяжении времени его существования, имеет множество различных геологических приложений. На данный момент степень разработки этой кривой неодинакова для разных интервалов. К настоящему времени более-менее подробно разработан фанерозойский сегмент ТКМП Сибири [Храмов и др., 1982; Smethurst et al., 1998; Torsvik et al., 2012]. В то же время существуют интервалы, для которых количество имеющихся палеомагнитных полюсов все еще крайне мало, что существенно ограничивает возможность не то чтобы построения детальной кривой, но, даже, определения ее тренда.

К таким интервалам относится, в частности, период времени между 1600 и 1000 млн лет назад, отвечающий мезопротерозою международной геохронологической шкалы [Cohen et al., 2013]. Несмотря на то, что в последние годы для этого интервала для Сибири получен ряд важных палеомагнитных определений, в той или иной степени удовлетворяющих современным требованиям надежности и качества [Веселовский и др., 2009; Павлов и др., 2015; Evans et al., 2016 и ссылки в этих работах], число имеющихся палеомагнитных полюсов остается все еще недостаточным для уверенного определения мезопротерозойского сегмента сибирской ТКМП. Малое число имеющихся полюсов связано, в значительной степени, как с небольшим числом объектов, благоприятных для выполнения соответствующих палеомагнитных определений, так и с их крайней удаленностью.

Актуальность разработки мезопротерозойского сегмента ТКМП Сибири обуславливается также и необходимостью тестирования различных геодинамических, суперконтинентальных моделей с участием Сибири [Метелкин и др., 2005; Pesonen et al., 2003; Pehrsson et al., 2014; Khudoley et al., 2015; Didenko et al., 2015; Meert, Santosh, 2017; Merdith et al., 2017 и ссылки в этих работах]. Одна из таких моделей предусматривает существование «транскокеанского суперконтинента» и в последнее время широко обсуждается в мировом научном сообществе [Метелкин и др., 2007; Gladkochub et al., 2006;

Evans et al., 2016]. Согласно этой гипотезе на протяжении значительной части протерозоя древние кратоны Сибирь, Лаврентия и Балтика входили в состав единого суперконтинента. В этом ансамбле континентальных блоков, согласно последним реконструкциям [см, например, Khudoley et al., 2015; Ernst et al., 2016; Evans et al., 2016], своей северной частью (в нынешних координатах) Сибирь была обращена в сторону океана и там располагалась сначала пассивная, а начиная с неопротерозоя – активная окраина. Своей южной частью Сибирь была обращена в сторону Лаврентии. При всей важности этих реконструкций, очевидно, что имеющихся на настоящий момент данных недостаточно для их апробации и существует острая необходимость их тестирования независимыми методами. Такое тестирование может быть выполнено путем сравнения мезопротерозойских сегментов ТКМП соответствующих кратонов.

Настоящая работа направлена на получение новых палеомагнитных полюсов мезопротерозойского возраста для Сибирской платформы на основании изучения осадочных и магматических пород Уджинского и Оленекского поднятий с целью их дальнейшего использования при разработке ТКМП Сибирской платформы. Выбор именно этих регионов для проведения палеомагнитных исследований обусловлен широким распространением на их территории пород мезопротерозойского возраста [Шпунт и др., 1982; Zaitseva et al., 2017; Malyshev et al., 2018], а также существенным заделом, образованным результатами рекогносцировочных исследований прошлых лет, которые показали перспективность ряда объектов и необходимость постановки на них детальных работ на современном методическом уровне [Гуревич, 1983; Родионов, 1984; Константинов и др., 2007; Павлов и др., 2015].

#### **Цели и задачи исследования**

Основными **целями** настоящей работы являются:

1. Разработка мезопротерозойского сегмента ТКМП Сибирской платформы.
2. Тестирование гипотезы о вхождении в мезопротерозое Сибири и Лаврентии в состав единого суперконтинента.

Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Получить надежные палеомагнитные полюсы для мезопротерозойских пород Уджинского поднятия.
2. Получить геохронологические данные для мезопротерозойских пород Уджинского поднятия.
3. Выполнить анализ имеющихся палеомагнитных определений для мезопротерозойских пород Сибири и Лаврентии и выбрать из них наиболее надежные.

4. На основе отобранных палеомагнитных полюсов предложить современные версии мезопротерозойских сегментов ТКМП Сибири и Лаврентии, оценить их согласованность и соответствие гипотезе трансдокембрийского суперконтинента.

#### **Фактический материал, методы исследований и личный вклад автора**

Материал для данной работы был отобран лично автором во время полевых сезонов 2016 и 2020 годов на территории Уджинского и Оленекского поднятий (северо-восток Сибирской платформы), выполненных в составе полевого отряда ИФЗ РАН.

На территории Уджинского поднятия были опробованы осадочные породы докембрийских унгуохтахской, хапчаньской и уджинской свит, а также докембрийские магматические тела, прорывающие эти свиты. В пределах Оленекского поднятия отбор образцов для палеомагнитных исследований осуществлялся из пород верхней подсвиты хайпахской свиты.

Проведен полный цикл петромагнитных, палеомагнитных, микроскопических и электронномикроскопических исследований отобранных образцов. Общее число образцов пород, подвергшихся палеомагнитным исследованиям – 883. Описано 25 шлифов изученных горных пород.

Непосредственно автором диссертации был проделан полный комплекс работ, включавший в себя: организацию и проведение экспедиций в труднодоступные регионы полярной Сибири; выбор методики опробования и непосредственно опробование изучаемых горных пород; пробоподготовку образцов и выбор методики проведения и непосредственно проведение анализов, представленных в данной работе; интерпретацию полученных петро- и палеомагнитных данных и формулирование основных выводов исследований; проведение обширного литературного анализа имеющихся палеомагнитных данных; анализ надежности палеомагнитных определений и проведение последующей селекции палеомагнитных полюсов для построения соответствующих сегментов ТКМП; построение палеореконструкций и формулирование соответствующих выводов.

#### **Научная новизна**

Впервые на современном методическом уровне получены палеомагнитные определения для докембрийских пород Уджинского и Хараулахского поднятий. Впервые показано, что уджинская свита Уджинского поднятия имеет мезопротерозойский возраст, а не неопротерозойский, как полагалось ранее, а значит в геологической летописи Уджинского поднятия существует перерыв длительностью около 800 млн лет (~1400 – ~600 млн лет).

На основании палеомагнитных данных показано, что существующая схема корреляции рифейских отложений Сибири [Решения..., 1983; Семихатов, Серебряков, 1983], предполагающая близкое стратиграфическое положение (и возраст) уджинской свиты

Уджинского поднятия, верхней подсвиты хайпахской свиты Оленекского поднятия и лахандинской серии Учуро-Майского региона, не верна.

Предложена авторская модель мезопротерозойского сегмента ТКМП Сибири, на основе которой выполнено тестирование гипотезы трансдокембрийского суперконтинента на примере Сибири и Лаврентии.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Новые палеомагнитные определения имеют большое значение для разработки новых качественных и количественных тектонических, геодинамических и палеогеографических реконструкций суперконтинентов в протерозое.

Результаты, полученные в данной работе, вносят существенный вклад в разработку стратиграфических схем докембрия севера Сибирской платформы

Полученные геохронологические и палеомагнитные данные имеют важное значение для разработки легенд геологических карт и для геологического картирования региона. Эти данные позволяют по-новому взглянуть на историю формирования Уджинского поднятия, что крайне важно при решении вопросов поиска месторождений полезных ископаемых, характерных для данного региона (алмазы, благородные металлы, редкоземельные элементы).

### **Защищаемые положения**

На основании представленных в работе палеомагнитных и геохронологических исследований сформулированы следующие защищаемые положения:

1. На территории Уджинского поднятия Сибирской платформы проявлены два этапа мезопротерозойского магматизма – с возрастaми ~1380 и ~1500 млн лет. Магматизм возрастa ~1500 млн лет отвечает времени формирования Куонамской крупной магматической провинции, что расширяет ее область распространения на всю территорию северо-востока Сибирской платформы.

2. Существенно уточнена схема корреляции опорных разрезов рифея Сибирской платформы: Уджинского, Оленекского и Учуро-Майского. Уточненная схема, в частности, предполагает мезопротерозойский возраст уджинской свиты (Уджинское поднятие), различный возраст уджинской свиты, верхнехайпахской подсвиты (Оленекское поднятие) и лахандинской серии (Учуро-Майский регион), а также наличие длительного (~800 млн лет) перерыва в осадконакоплении (~1400 до ~600 млн лет назад) на территории современного Уджинского поднятия.

3. Новые палеомагнитные и геохронологические данные позволяют предложить авторскую модель мезопротерозойского сегмента ТКМП Сибирской платформы, дополняющую и развивающую предыдущие модели [Веселовский, 2006; Evans et al., 2016].

Сравнение мезопротерозойских сегментов ТКМП Сибири и Лаврентии указывает на то, что на временных интервалах ~1600–1380 и ~1100–960 млн лет назад эти древние кратоны входили в состав единого континентального блока, что согласуется с гипотезой о существовании трансдокембрийского суперконтинента.

### **Апробация работы**

Результаты исследований, которые легли в основу данной диссертационной работы, докладывались на отечественных и международных конференциях и семинарах, среди которых: Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН (г. Москва, 2016, 2017, 2018, 2019 гг); Международная школа-семинар «Problems of Geocosmos» (г. Санкт-Петербург, 2016, 2018 гг); Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) (г. Иркутск, 2016, 2017, 2018); Международная конференция по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород (г. Казань, 2017); AGU (г. Новый Орлеан, США, 2017); XVIII всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов (г. Саратов, 2018); Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. I Тектоническое совещание (г. Москва, 2018); XXV всероссийская школа-семинар по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород (пос. Борок, Ярославская обл., 2019); Широкомасштабный вулканизм Арктики: роль мантии и тектоники (г. Селфосс, Исландия, 2019); EGU (г. Вена, Австрия, 2020); XXI международная конференция молодых геологов (г. Нейдзика, Польша, 2020).

### **Публикации**

По теме диссертационной работы автором лично и в соавторстве было подготовлено 19 публикаций: 3 статьи в рецензируемых отечественных и международных журналах, рекомендованных ВАК и 16 тезисов и материалов отечественных и международных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, двух глав, включающих 13 разделов, заключения и списка литературы. Работа включает 144 страницы машинописного текста, 33 иллюстрации, 10 таблиц. Библиографический список состоит из 176 работ.

### **Благодарности**

Хочется выразить огромную благодарность моему научному руководителю – В.Э. Павлову, заведующему лабораторией Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН. Успешному выполнению работы способствовала прекрасная обстановка научного

поиска и доброжелательности в лаборатории, за что хочется выразить особую признательность всем ее сотрудникам.

Я благодарен В.Ю. Водовозову и, особенно, Н.В. Лубниной – моим первым научным руководителям, познакомившим меня с миром палеомагнетизма и предоставившим возможность начать развиваться как специалисту в этом научном направлении.

Я благодарен коллективу палеомагнитной лаборатории ИФЗ РАН, в частности Р.В. Веселовскому, А.М. Фетисовой, А.В. Латышеву и А.В. Шацилло за оказанную всестороннюю поддержку, помощь и консультации на разных этапах работы.

За ценные замечания и советы на финальном этапе написания этой работы я благодарен Р.В. Веселовскому и А.Ю. Казанскому. Отдельно искреннюю благодарность выражаю А.В. Шацилло за ценные советы и качественное обсуждение методики и результатов этой работы.

Отдельную благодарность хочется выразить С.В. Малышеву и А.В. Иванову за плодотворные работы на территории Уджинского поднятия, за проведение изотопных исследований, за успешные научные изыскания и не менее успешные попытки разобраться в геологии этого региона.

Также, большое спасибо моим близким и друзьям за создание условий и поддержку во время написания данной работы. Особую благодарность я выражаю И.А. Прудникову за плодотворные обсуждения петрографии осадочных пород и геологии Сибири и А.О. Хотылеву за мотивацию и всестороннюю поддержку.

Финансовая поддержка полевых и лабораторных исследований осуществлялась Минобрнауки (№ 14.Z50.31.0017), фондами РФФИ (№ 18-05-00285) и РНФ (№ 19-77-10048).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы основные цели и поставлены задачи диссертационной работы. Также кратко приведены фактические материалы, на которых построено исследование, сформулированы защищаемые положения и отражены новизна и практическая значимость этой работы.

### **ГЛАВА 1. Палеомагнетизм мезопротерозойских пород Уджинского и Оленекского поднятий северо-востока Сибирской платформы**

#### **1.1 Степень изученности палеомагнетизма докембрия Сибири**

Первые палеомагнитные данные для докембрийских пород Сибирской платформы были получены в 60 – 80-х годах XX века группой палеомагнитологов ВНИГРИ (Ленинград) под руководством А.Н. Храмова, в которую входили Е.Л. Гуревич, Р.А. Комиссарова, Э.П. Осипова, В.П. Родионов, С.А. Писаревский, А.Г. Иосифиди, Г.Г. Камышева, Л.П. Беляков. Примерно в это же время активно работали в районе Присяянья и Енисейского кряжа В.Ф. Давыдов, А.Я. Кравчинский, С.С. Брагин, А.Я. Власов, В.П. Апарин и А.В. Попова. Параллельно докембрийские тела Анабарского массива и крупные интрузии Алданского щита изучаются Б.В. Гусевым и Н.П. Михайловой. В результате проведенных исследований было определено значительное количество докембрийских полюсов для Сибири, которые, впоследствии, были собраны в каталогах палеомагнитных направлений и полюсов [ПНиПП,1971; ПНиПП,1982; ПНиПП,1984; ПНиПП,1986].

За последние тридцать лет методология палеомагнитных исследований существенно изменилась, а среди исследований палеомагнетизма докембрия Сибири четко определилось два основных, направления: первое – нацеленное на изучение эволюции геомагнитного поля [Gallet et al., 2000; Gallet et al., 2012; Pavlov et al., 2019], и второе – главной целью которого является решение геологических (палеотектонических, палеогеографических, геохронологических, стратиграфических и др.) задач [Ernst et al., 2000; Gallet et al., 2000; Metelkin et al., 2007; Wingate et al., 2009; Didenko et al., 2009; Evans et al., 2016; Павлов, 1994; Павлов и др., 2002; Веселовский и др., 2006]. В результате активных работ 1990-х – 2010-х годов, проведенных такими исследователями докембрия Сибири, как В.Э. Павлов, А.Н. Диденко, Р. Эрнст, К.М. Константинов, Р.В. Веселовский, А.В. Шацилло, Д.В. Метелкин, И. Галле, С.А. Писаревский, Водовозов В.Ю. и др., был получен большой массив палеомагнитных данных качественно нового уровня.

Непосредственно по докембрийским породам Уджинского поднятия к началу выполнения настоящей работы было опубликовано всего три исследования. Первые два, проведенные в начале 80-х годов и направленные на решение задач корреляции изучаемых разрезов методами магнитостратиграфии [Гуревич, 1983; Родионов, 1984] и третье, носящее

скорее рекогносцировочный характер, исследование осадочных пород уджинской и томторской свит, а также базитов, прорывающих уджинскую свиту [Константинов и др., 2007]. Для пород хайпахской свиты Оленекского поднятия в настоящее время опубликовано всего две работы [Гуревич, 1983; Павлов и др., 2015], однако по-прежнему остаются вопросы к надежности полученных данных.

## 1.2 Геологическое строение Уджинского и Оленекского поднятий

Уджинское и Оленекское поднятия образованы преимущественно докембрийскими породами и расположены на северо-востоке Сибирской платформы в долинах рек Уджа (правый приток р. Анабар), Оленек и их притоков, соответственно.

Уджинское поднятие. Протерозойская часть разреза Уджинского поднятия представлена 4 свитами, падающими моноклинально на юг – юго-восток под углами 5-15°: терригенно-карбонатной улахан-курунгской, вулканогенно-осадочной унгуохтахской, терригенно-карбонатной хапчаньрской и преимущественно терригенной уджинской [Шпунт и др., 1976]. В нашей работе будут представлены результаты палеомагнитного изучения унгуохтахской, хапчаньрской и уджинской свит.

*Унгуохтахская свита* согласно [Охлопков и др., 1987] подразделяется на три подсвиты, сложенные туфами, алевролитами, сланцами. Для палеомагнитных исследований опробовалась средняя подсвита мощностью около 100 м, представленная в основании туфобрекчиями и туфоконгломератами, сменяющимися выше по разрезу красноцветными алевролитами.

*Хапчаньрская свита* представлена чередованием карбонатных и терригенных пород. Для палеомагнитного анализа нами была отобрана рекогносцировочная коллекция из верхней части свиты, мощностью около 50 метров. Опробовались прослой желто-серых и черных доломитов, серых песчаников и темно-вишневых алевролитов.

*Уджинская свита* включает две подсвиты, представленные пестроцветными песчаниками, алевролитами и аргиллитами с прослоями мелкогалечных внутриформационных конгломератов, а также прослоями строматолитовых известняков. Обе подсвиты, а также конгломераты были отобраны для палеомагнитного анализа.

До недавнего времени на основании межрегиональной корреляции строматолитовых форм и K-Ar валовых датировок базитов, прорывающих уджинскую свиту, возраст последней определялся как неопротерозойский [Осипова, Поршнева, 1966; Шпунт и др., 1982; Семихатов, Серебряков, 1983]. Однако в этой работе приводится полученная нами новая изотопная датировка, ограничивающая возраст уджинской свиты – не моложе  $1386 \pm 30$  млн лет [Malyshev et al., 2018; Savatenkov et al., 2019].

Уджинская свита с угловым и стратиграфическим несогласием перекрывается вендскими томторской и туркутской свитой [Геологическая..., 1983; Охлопков и др., 1987]. Томторская свита сопоставляется с маастахской свитой Оленекского поднятия, которая согласно последним изотопным данным [Vishnevskaya et al., 2017] накапливалась в промежутке 630-580 млн лет.

*Магматические тела* Уджинского поднятия на основании петрографических и петрохимических критериев разделяются на две разновозрастные группы [Шпунт и др., 1976; Гладкочуб и др., 2009]. Возраст первой группы будет обсуждаться ниже. Для второй группы имеются следующие датировки:  $1074 \pm 11$  млн лет (Ar-Ar, плагиоклаз [Гладкочуб и др., 2009]) и  $1386 \pm 30$  млн лет (U-Pb, апатит, [Malyshev et al., 2018]). В нашем исследовании для второй группы тел мы принимаем более древний возраст (~1385 млн лет), поскольку он получен по более «устойчивой» изотопной системе. Наличие в относительной близости (на Анабарском поднятии) проявлений магматизма со схожим возрастом (Чизресская дайка,  $1384 \pm 2$  млн лет [Ernst et al., 2000]) поддерживает этот выбор. В тоже время, на севере Сибири интрузивные тела с возрастaми ~1070 млн лет нигде более не отмечались.

При проведении палеомагнитных исследований нами были опробованы различные магматические тела, относящиеся к обоим этапам докембрийского магматизма Уджинского поднятия.

Оленекское поднятие. В пределах Оленекского поднятия нами была изучена верхняя подсвита хайпахской свиты [Пасенко, Малышев, 2020]. Хайпахская свита залегает на мезопротерозойских доломитах дебенгдинской свиты и представлена чередованием карбонатных и терригенных пород. В районе работ изученные породы хайпахской свиты залегают субгоризонтально. Внутри нее отмечены два перерыва в осадконакоплении, разделяющие ее на три подсвиты [Шпунт и др., 1982; Государственная..., 2013]. В каждой из подсвит отмечены различные ассоциации строматолитов, по смене которых в основании самой молодой из подсвит проведена граница мезо- и неопротерозоя, отвечающая возрасту ~1030 млн лет [Семихатов и др., 2000]. На мезопротерозойский возраст нижней части хайпахской свиты указывают K-Ar и Rb-Sr датировки глауконитов ( $1172 \pm 18$  и  $1112 \pm 24$  млн лет) [Зайцева и др., 2017]. Сверху возраст верхнехайпахской подсвиты ограничивается лишь датировками, полученными по детритовым цирконам подошвы вышележащей маастахской свиты (~630 млн лет) [Vishnevskaya et al., 2017].

Согласно межрегиональным схемам корреляции строматолитовых форм [Семихатов, Серебряков, 1983; Решения..., 1983] верхняя подсвита хайпахской свиты сопоставляется по возрасту с уджинской свитой Уджинского поднятия. Но если эта корреляция верна, то, исходя из полученных нами ограничений на возраст уджинской свиты (древнее 1385 млн

лет), верхнехайпахская подсвета не может быть неопротерозойской. Если же она действительно имеет неопротерозойский возраст, тогда ее корреляцию с уджинской свитой следует признать неправильной. Результаты палеомагнитных исследований уджинской свиты и верхнехайпахской подсветы могут помочь разрешить это противоречие.

### **1.3 Методика исследований**

В данной работе палеомагнитные исследования проводились по классической схеме [Храмов и др., 1982]. Осадочные породы отбирались по разрезу снизу-вверх с различным шагом. Магматические породы отбирались преимущественно «сайтовым» методом. Лабораторная обработка образцов производилась на базе лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН.

Комплекс петромагнитных исследований проводился на термомагнитометре конструкции Ю.К. Виноградова (ГО «Борок»), на вибромагнитометре PMC MicroMag 3900 (Lake Shore, США) и на капнометре MFK1-FA с термоприставкой CS3 (AGICO, Чехия). Измерения остаточной намагниченности в процессе температурных чисток и чисток переменным магнитным полем выполнялись на криогенном (SQUID) магнитометре производства 2G Enterprises (США) с автоматической подачей образцов и на спин-магнитометре JR-6 (AGICO, Чехия) в пространстве, экранированном от внешнего геомагнитного поля при помощи системы колец Гельмгольца, или же в немагнитной комнате (магнитное поле внутри комнаты меньше земного в 200 раз). Для ступенчатой температурной чистки образцов использовалась немагнитная печь MMTD80 (Magnetic Measurements Ltd., Великобритания) с величиной нескомпенсированного поля не более 5–10 нТл. Общее количество шагов магнитной чистки варьировалось от 10 до 20.

Оптические исследования шлифов в проходящем и отраженном свете проводились на поляризационном микроскопе Olympus BX53M. Микрозондовые исследования выполнялись в ГО «Борок» с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega II и в лаборатории локальных методов исследования вещества МГУ им. М.В. Ломоносова с использованием сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-6480LV.

### **1.4 Результаты исследований**

Все отобранные образцы осадочных и магматических пород были подвергнуты ступенчатому температурному размагничиванию с последующим проведением компонентного анализа [Храмов и др., 1982; Kirschvink, 1980]. Во всех изученных образцах осадочных пород на интервале температур 50-250°C выделяется низкотемпературная компонента намагниченности, которая имеет либо хаотические направления, либо направления, близкие к направлению современного поля в районе работ. Далее эта компонента обсуждаться не будет.

В породах *уджинской свиты* определяются две стабильные компоненты намагниченности: среднетемпературная и высокотемпературная. Направления среднетемпературной компоненты на стереограмме образуют два кластера: один – с северо-западными склонениями и умеренными наклонениями (МТW), другой – с восточными склонениями и умеренно-высокими наклонениями (МТЕ) (таблица 1). Высокотемпературная компонента характеризуется биполярным распределением и близкими к нулю наклонениями при СВ и ЮЗ-склонениях (таблица 1).

Лабораторные исследования пород *хапчаньрской свиты* показали их неперспективность для палеомагнитных исследований, поэтому далее в этой работы мы их рассматривать не будем.

Из пород *унгуохтахской свиты* магнитным чисткам подверглись туфы, туфобрекчии и алевролиты. Во всех образцах была выделена высокотемпературная компонента намагниченности. В алевролитах также выделяется среднетемпературная компонента, направления которой образуют отчетливый кластер с северо-западными склонениями и умеренными положительными наклонениями (таблица 1).

В *магматических породах* Уджинского поднятия для каждого тела были выделены высокотемпературные компоненты намагниченности (таблица 1). Рассчитанные средние направления этих компонент на стереограмме образуют два кластера: с юго-западными склонениями и отрицательными наклонениями, а также с северо-восточными склонениями и отрицательными наклонениями.

В изученных образцах *верхнехайпахской подсвиты* хайпахской свиты выделена высокотемпературная компонента намагниченности с биполярным распределением направлений с СВ и ЮЗ склонениями и пологими наклонениями (таблица 1).

В разделе 1.4.3 настоящей главы, посвященном описанию результатов петромагнитных и электронно-микроскопических исследований пород Уджинского и Оленекского поднятий, показано, что в песчаниках и алевролитах *уджинской свиты* основным минералом - носителем намагниченности является гематит (находящийся здесь как в виде детритовых зерен, так и в виде пигмента).

В алевролитах *унгуохтахской свиты* отмечено присутствие как гематита, так и детритовых зерен титаномагнетита, находящихся в преимущественно однодомном состоянии. В туфах и туфоконгломератах носителями остаточной намагниченности являются зерна титаномагнетита, также находящиеся преимущественно в однодомном состоянии. Для туфоконгломератов показано, что составляющие их обломки прогревались до температур выше точки Кюри, что указывает на то, что они несут намагниченность времени остывания толщи.

В известняках *верхнехайпахской подсквиты* основным минералом-носителем намагниченности является гематит. Присутствуют также детритовые зерна магнетита размером 10-20 мкм.

Практически во всех изученных магматических породах Уджинского поднятия магнитные минералы представлены зернами титаномагнетитов скелетной формы или со структурами гетерофазного окисления, что свидетельствует об их быстрой кристаллизации и способности нести первичный палеомагнитный сигнал.

**Таблица 1.** Направления компонент намагниченности, выделенных в породах Уджинского и Оленекского поднятий

Сайт	n	Стратиграфическая СК				Координаты полюса		
		D°	I°	K	$\alpha_{95}^{\circ}$	$\Phi^{\circ}$	$\Lambda^{\circ}$	$dp/dm, A_{95}^{\circ}$
<b>Хайпахская свита (Оленекское поднятие) (координаты у.с.т. N 71.1°, E 124.1°)</b>								
<i>Компонента НТ</i>								
Среднее по образцам Сайты 2а, 2б, 2с, S14, S15	50	237.4	-13.8	19.5	4.7	-16.8	63.4	2.5/4.8, 3.4
<b>Уджинская свита (Уджинское поднятие) (координаты у.с.т. N 70.8°, E 117.0°)</b>								
<i>Компонента МТЕ</i>								
1, 2	16	130.0	45.4	9.2	12.8	13.8	161.7	10.3/16.3, 13.0
<i>Компонента НТ</i>								
Среднее по образцам Сайты 1, 2	61	229.9	9.4	18.1	4.4	-7.7	66.7	2.2/4.4, 3.2
<b>Унгуохтахская свита (Уджинское поднятие) (координаты у.с.т. N 70.9°, E 116.9°)</b>								
<i>Компонента НТ</i>								
Среднее по образцам Сайты 3, 4, 5	52	217.0	-24.0	31.0	3.6	-27.4	75.0	2.1/3.8, 2.8
<b>Компонента МТW</b>								
<i>(уджинская и унгуохтахская свиты, координаты у.с.т. N 70.8°, E 117.0°)</i>								
Сайты 1, 2, 3, 4, 5	38	340.9	45.6	10.8	7.4	-44.9	141.2	6.0/9.4, 7.5
<b>Магматические тела Уджинского поднятия</b>								
<i>(координаты у.с.т. N 71.0°, E 117.0°)</i>								
<i>Первая фаза магматизма (компонента НТ)</i>								
6 (базальт)	7	197.4	-33.5	42.2	9.4	-36.3	96.4	6.1/10.7, 8.1
7 (базальт)	7	220.9	-37.4	33.4	10.6	-34.6	69.0	7.3/12.5, 9.6
8 (карбонатит)	25	26.5	7.5	37.3	4.8	-20.7	88.6	2.4/4.8, 3.4
9+10 (долерит)	19	211.0	-41.9	21.3	7.4	-39.9	79.2	5.9/9.1, 7.1
18-2020 (базальт)	14	208.2	-35.4	28.5	7.6	-35.9	83.6	5.1/8.8, 6.7
Все сайты кроме 8-го	4	-	-	-	-	-37.1	82.0	10.7
<i>Вторая фаза магматизма (компонента НТ)</i>								
11, 7+8-2020 (габбро)	21	37.8	-27.2	26.2	6.3	0.8	80.6	3.7/6.9, 5.1
12 (долерит)	13	28.6	-26.0	50.3	5.9	-3.1	89.2	3.4/6.4, 4.7
13 (долерит)	10	20.5	-12.6	52.1	6.8	-11.4	96.2	3.5/6.9, 4.9

*Примечание: МТW, МТЕ – среднетемпературные компоненты намагниченности (объяснения см в тексте), НТ – высокотемпературная компонента намагниченности, у.с.т. – условная средняя точка. n – количество векторов, используемых в статистике; D – склонение, I – наклонение, K – кучность,  $\alpha_{95}$  – радиус 95%-го овала доверия;  $\Phi$  – широта,  $\Lambda$  – долгота;  $A_{95}$  – радиус 95%-го овала доверия для палеополюса.*

### **1.5 Ограничения на время формирования древних компонент намагниченности, выделенных в изученных породах**

Результаты палеомагнитного анализа показывают, что во всех изученных объектах присутствуют высокотемпературные компоненты намагниченности НТ, а в породах унгуохтахской и уджинской свит выделяются также среднетемпературные компоненты МТW и МТЕ (уджинская свита).

Палеомагнитный полюс, рассчитанный по компоненте МТW лежит в области ранне-среднекембрийских палеомагнитных направлений Сибирской платформы [Храмов и др., 1982; Павлов и др., 2018]. На территории Уджинского поднятия на данный момент не описано проявлений геологических процессов, которые могли бы послужить источником перемагничивания изучаемых пород, однако на северо-востоке Сибирской платформы отмечены свидетельства раннекембрийской магматической активизации [Геологическая..., 1983; Прокопьев и др., 2016; Bowring et al., 1993].

Палеомагнитный полюс, рассчитанный с компоненты МТЕ, располагается вблизи раннекаменноугольного сегмента ТКМП Сибирской платформы [Torsvik et al., 2012]. Близкие возрасты (~360–330 млн лет) на севере Сибирской платформы были отмечены среди К-Аг и U-Pb изотопных датировок интрузивных тел восточного склона Анабарского щита, Уджинского и Оленекского поднятий [Геологическая..., 1983; Государственная..., 2013].

Таким образом, наличие компонент МТW и МТЕ мы связываем, предположительно, с воздействием на осадочные породы Уджинского поднятия ранне- и среднепалеозойских магматических событий, происходивших в относительной близости от рассматриваемого региона.

Высокотемпературные компоненты НТ унгуохтахской и уджинской свит биполярны, тест обращения для первой – положительный ( $\gamma/\gamma_c=3.6^\circ/8.6^\circ$ , класс В), для второй – отрицательный ( $\gamma/\gamma_c=27.8^\circ/8.7^\circ$ ) [McFadden, McElhinny, 1990]. Направления высокотемпературных компонент этих свит заметно отличаются, в то время как в обеих свитах выделена общая вторичная компонента МТW. Это свидетельствует против наличия в пределах Уджинского поднятия полного регионального перемагничивания и поддерживает гипотезу о первичности выделенных высокотемпературных компонент. В пользу этой гипотезы также говорит отличие соответствующих полюсов от более молодых полюсов Сибирской платформы. Отрицательный тест обращения для пород уджинской свиты

указывает на то, что выделенные направления характеристической компоненты заметно контаминированы наложенными вторичными компонентами. Однако проведенное нами простое моделирование показывает, что в случае осреднения биполярных компонент намагниченности, влияние вторичной компоненты заметно уменьшается, а в некоторых частных случаях может и вовсе нивелироваться. Таким образом, полученное среднее направление будет незначительно отклонено от истинного.

Для пород верхнехайпахской подсвиты Оленекского поднятия показано, что направления намагниченности для гематитовых и магнетитовых зерен разных размерностей / генераций совпадают, что вкупе с наличием векторов прямой и обратной полярности и отличием направления высокотемпературной компоненты от более молодых сибирских палеомагнитных направлений дают основания полагать, что высокотемпературная компонента намагниченности верхнехайпахской подсвиты близка по возрасту ко времени формирования породы.

Направления высокотемпературных компонент намагниченности, определенные в магматических породах Уджинского поднятия 1-го и 2-го этапов магматизма, формируют два четко различающихся кластера. Направления НТ компонент тел первого этапа магматизма близки между собой и также близки среднему направлению НТ компоненты унгуохтахской свиты, что указывает на близкий возраст формирования этих пород. В туфах унгуохтахской свиты нами были выделены единичные, предположительно первичномагматические, зерна цирконов, U-Pb возраст которых составляет  $1436 \pm 72$ ,  $1480 \pm 58$  и  $1527 \pm 75$  млн лет. Эти определения, в виду крайне малого количества зерен, нельзя уверенно соотносить с возрастом породы, однако их можно рассматривать как указание на то, что рассматриваемые породы, вероятно, сформировались вблизи уровня  $\sim 1500$  млн лет. При расчете среднего палеомагнитного полюса для магматических тел первого этапа магматизма мы не учитывали виртуальный полюс, полученный по дайкам карбонатитов сайта 8. Это обусловлено тем, что недавно для них был определен возраст ( $706.1 \pm 8.8$  млн лет, Ar-Ar, флогопит, А.В. Иванов, устное сообщение), позволяющих их соотносить с более поздним, неопротерозойским этапом магматизма, связанным с формированием Томторского массива.

Виртуальные геомагнитные полюсы (ВГП), рассчитанные с направлений НТ компонент магматических тел второго этапа магматизма близки друг к другу, а также совпадают с ВГП Чиэресской дайки Анабарского поднятия. Возраст этой дайки определен как  $1384 \pm 2$  млн лет [Ernst et al., 2000], а возраст одного из изученных нами магматических тел, входящих в рассматриваемую группу, определен как  $1386 \pm 30$  млн лет [Malyshev et al., 2018]. Близость ВГП практически одновозрастных магматических тел из разных регионов, а также положительный тест контакта для одного из рассматриваемых тел Уджинского

поднятия свидетельствуют в пользу первичности определенных в них палеомагнитных направлений.

### **1.6 Результаты изотопного датирования Большой Уджинской дайки**

Большая Уджинская дайка прорывает всю толщу рифейских пород Уджинского разреза и по геохимическим [Гладкочуб и др., 2009] и палеомагнитным данным относится ко второму этапу уджинского мезопротерозойского магматизма, поэтому ее датирование важно как для определения возраста этого этапа, так и для получения возрастных ограничений на время формирования всего рифейского разреза Уджинского поднятия. Для датирования этой дайки нами бы произведен отбор геохронологических проб и подготовка для изотопного датирования. Подготовка состояла в изучении шлифов, дроблении и выделении минеральных фракций, пригодных для выполнения изотопного датирования. В ходе этих работ удалось выделить первичномагматический апатит U-Pb датирование которого было выполнено в Университете Тасмании (Хобарт, Австралия) при помощи масс-спектрометрии с лазерной абляцией с индуктивно-связанной плазмой (LA-ICPMS).

На диаграмме Тера-Вассербурга проанализированные зерна апатита лежат в стороне от конкордии, однако они формируют выраженную линию регрессии. В нуле (по оси  $^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb}$ ) эта линия зафиксирована изотопным составом свинца, полученного из кристаллов кальцита этой же дайки. В нижней части конкордии линия регрессии пересекает ее в районе  $1386 \pm 30$  млн лет, что является показателем времени кристаллизации изученных зерен апатита.

### **1.7 Обсуждение результатов**

Таким образом, на территории Уджинского поднятия по палеомагнитным и геохимическим данным выделяется две разновозрастные группы магматических тел. Совпадение палеомагнитного полюса, полученного по уджинским магматическим телам первого этапа магматизма, с полюсами интрузий Куонамской крупной изверженной провинции (КИП) (~1500 млн лет) (рисунок 1) определенно указывает на то, что Куонамская большая магматическая провинция захватывала не только территорию Анабарского и Оленекского районов, но распространялась также на Уджинское поднятие [Пасенко, Малышев, 2020].

Изотопные данные, полученные для Уджинской дайки, позволяют ограничить возраст второго этапа Уджинского магматизма. Совпадение палеомагнитных полюсов уджинских интрузивных тел второго этапа магматизма с ВПП Чиэресской дайки Анабарского поднятия (рисунок 1) вместе с близостью их изотопных возрастов свидетельствуют в пользу широкого распространения на севере Сибирской платформы магматизма с возрастом ~1385 млн лет [Malyshev et al., 2018].

Магматические тела второго этапа магматизма (~1385 млн лет) являются секущими относительно уджинской свиты, что позволяет также получить верхнее ограничение на возраст ее накопления и, вместе с этим, на возраст формирования всех рифейских толщ Уджинского поднятия. Поскольку уджинская свита моложе ~1385 млн лет и залегает в верхней части разреза, низ которого датируется возрастом ~1500 млн лет, мы условно принимаем для нее возраст ~1400 млн лет. Принимая во внимание, что возраст томторской свиты, перекрывающей уджинский рифей, определяется как ~600 млн лет, мы приходим к выводу о том, что при формировании геологического разреза Уджинского поднятия имел место перерыв в осадконакоплении, длительность которого составляла не менее ~800 млн лет (от ~1400 до ~600 млн лет) [Пасенко, Малышев, 2020].

Палеомагнитные полюсы, полученные для пород верхней подсвиты хайпахской свиты и уджинской свиты, значимо различаются (рисунок 1), что указывает на то, что они формировались в разное время. Это противоречит принятой схеме их корреляции [Решения...1983; Семихатов, Серебряков, 1983]. Полученные палеомагнитные определения [Пасенко, Малышев, 2020] также лежат на значительном расстоянии от полюса лахандинской серии Учуро-Майского гипостратотипа рифея (рисунок 1), что противоречит возрастному сопоставлению этих свит с лахандинской серией [Решения...1983; Семихатов, Серебряков, 1983]. Взятые вместе, эти данные указывают на необходимость существенного пересмотра существующих схем корреляции рифея Сибири.

Возраст верхнехайпахской подсвиты в настоящее время ограничен рамками ~1110–630 млн лет [Зайцева и др., 2017; Vishnevskaya et al., 2017]. В то же время полюс верхнехайпахской подсвиты [Пасенко, Малышев, 2020] заметно отличается от надежно установленных сибирских полюсов возраста 1100–950 млн лет. Это означает, что породы подсвиты моложе 950 млн лет и имеют определенно неопротерозойский возраст.

Полученные нами данные указывают на то, что в интервале времени ~1500–1380 лет Сибирская платформа испытывала перемещения из приэкваториальных широт южного полушария в приэкваториальные широты северного полушария и при этом была обращена к северу своей нынешней юго-западной окраиной [Пасенко, Малышев, 2020].



## **ГЛАВА 2. Мезопротерозойский сегмент ТКМП Сибири и проблема трансдокембрийского суперконтинента**

Данная часть посвящена анализу палеомагнитных определений, полученных в настоящей работе и предшественниками для мезопротерозоя Сибирской платформы и Лаврентии, а также построению соответствующих сегментов ТКМП и обсуждению возможности существования Лаврентии и Сибири в составе единого суперконтинента.

**В разделе 2.1** описывается методика оценки качества палеомагнитных определений. В настоящий момент для оценки качества палеомагнитного определения используется два основных подхода. Первый подход состоит в использовании формального показателя надежности – фактора Q [Van der Voo, 1990]. Второй подход был разработан как раз для работы с палеомагнетизмом докембрия и предлагает использовать для построения ТКМП т.н. «ключевые» палеомагнитные полюсы [Buchan et al., 2000; Buchan, 2013]. Принимая во внимание особенности, сильные и слабые стороны каждого из подходов формулируется набор критериев, использованных в данной работе при селекции имеющихся палеомагнитных данных.

**В разделе 2.2** автором обсуждаются имеющиеся в настоящий момент палеомагнитные определения для временного интервала ~1750 – ~900 млн лет Сибирской платформы. Всего для дальнейшего анализа отобран 31 палеомагнитный полюс, 18 из них полностью удовлетворяют критериям, сформулированным в главе 2.1, остальные 13 рассматриваются как вспомогательные.

Эти полюсы использованы для построения моделей (включая сплайн-модели) мезопротерозойских сегментов ТКМП как отдельно для Алданского и Ангаро-Анабарского блоков Сибирской платформы, так и для всей платформы в целом. Поправка за относительное вращение этих блоков в позднем палеозое выполняется с применением параметров из работы [Pavlov et al., 2008].

При построении сплайн-моделей рассматриваются различные варианты таких моделей, выбираются их параметры, позволяющие наилучшим образом описать рассматриваемые последовательности полюсов.

По результатам рассмотрения предложенных моделей мезопротерозойского сегмента ТКМП выполнена реконструкция палеоширотного дрейфа Сибирской платформы. Согласно этой реконструкции, в начале мезопротерозоя Сибирская платформа была обращена своей современной юго-западной окраиной на север и располагалась в 20-х широтах южного полушария. На интервале ~1700 – ~970 млн лет Сибирская платформа испытывала медленный дрейф в пределах субтропических широт обоих полушарий, который

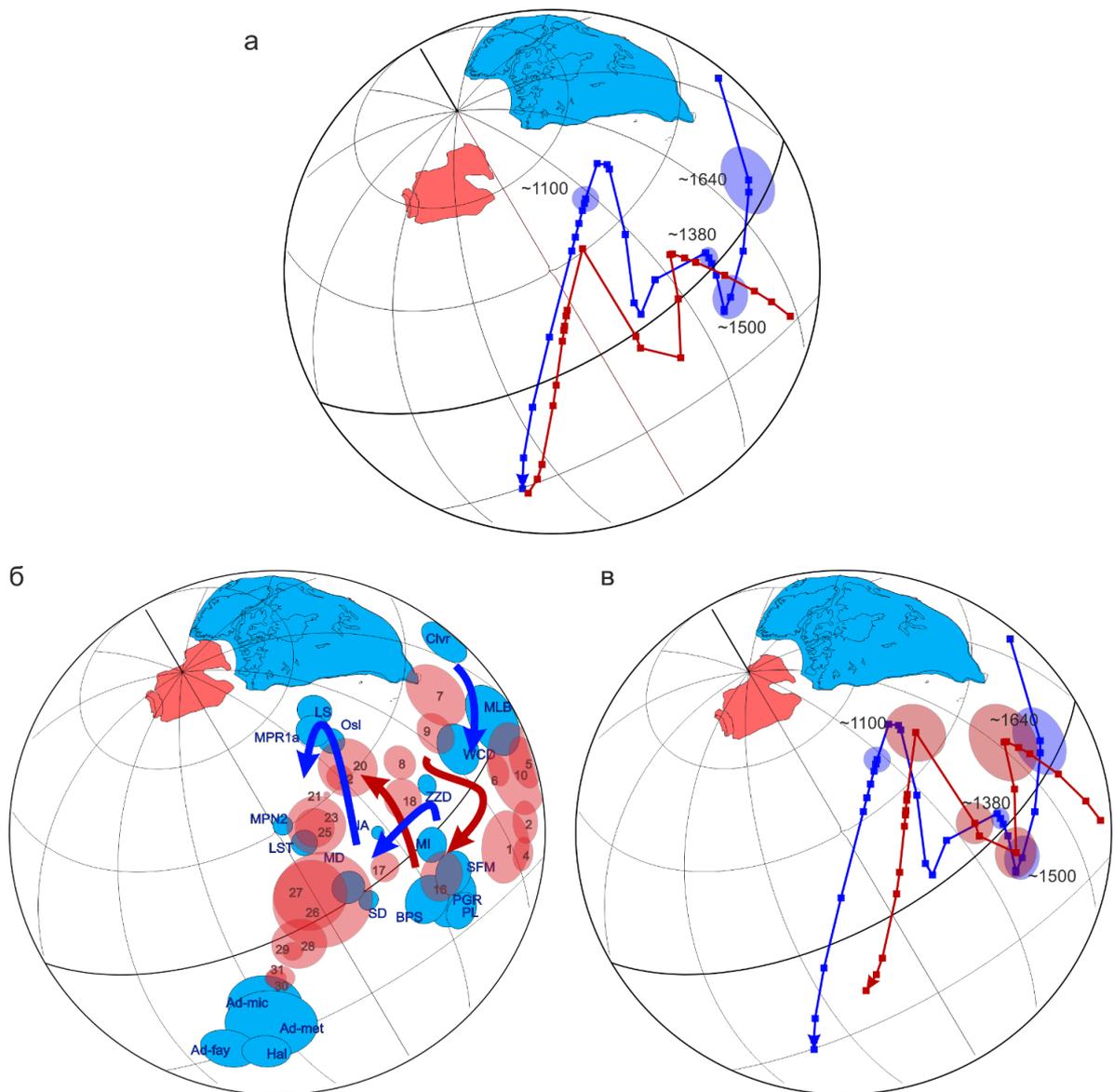
сопровождался вращением платформы против часовой стрелки относительно меридиана примерно на  $70^\circ$ .

**В разделе 2.3** выполнен обзор имеющихся палеомагнитных определений для мезопротерозоя Лаврентии. В рамках нашего обзора мы опирались на анализ, выполненный недавно Д. Эвансом и соавторами [Evans et al., 2016], а также привлекали данные других авторов, например, [Pisarevsky et al., 2014; Meert and Santosh, 2017]. По результатам данного обзора для временного интервала  $\sim 1740 - \sim 960$  млн лет было отобрано 22 палеомагнитных определения, с использованием которых для мезопротерозоя Лаврентии построена сплайн-модель ТКМП.

**В разделе 2.4** на основе сравнения предложенных моделей мезопротерозойских сегментов ТКМП для Сибири и Лаврентии выполняется тестирование гипотезы о вхождении этих крупных блоков земной коры в состав трансдокембрийского суперконтинента. На настоящий момент мезопротерозойский сегмент ТКМП Лаврентии является одним из самых детально разработанных для древних кратонов, поэтому такое сравнение удобно выполнять путем вращения сравниваемых блоков (в данном случае – Сибири) относительно современного положения Лаврентии и ее полюсов.

Сравнение ТКМП различных кратонов в работе осуществлено двумя методами – при помощи формального подхода, описанного в работе [Evans, Pisarevsky, 2008], и при помощи метода, основанного на совмещении «реперных» полюсов и выделения сходных по конфигурации участков кривых кажущейся миграции полюсов подбором параметров вращения, основываясь на предпочтениях автора (рисунок 2). Сравнивая результаты обоих подходов, наиболее надежным нам представляется результат, определенный с использованием именно второго (рисунок 2 в). Формальный подход (рисунок 2 а) представляется менее оправданным в силу того, что, во-первых, он слабо учитывает реальные неопределенности, заложенные в данных (такие, например, как возможность систематических ошибок), во-вторых, приводит к интерпретациям, вступающим в противоречие с имеющимися геологическими наблюдениями [см например, Khudoley et al., 2015].

Применение «авторского» метода сопоставления кривых КМП позволяет совместить значительную часть сибирских и лаврентийских палеомагнитных полюсов. По результатам выполненного сравнения заметно, что тренды совпадают на участках  $\sim 1600 - 1380$  и  $\sim 1100 - 960$  млн лет, а для участка  $\sim 1380 - 1100$  млн лет количество имеющихся данных явно не достаточно для того, чтобы делать определенный вывод. Таким образом, наши результаты, в целом, согласуются с гипотезой о вхождении Сибири и Лаврентии в состав единого суперконтинента в мезопротерозое.



**Рисунок 2.** Сравнение мезопротерозойских участков ТКМП Лаврентии (синяя) и Сибири (красная). Реконструкция построена относительно современного положения Лаврентии. Полюс Эйлера для Сибири: (а)  $Lat=70^\circ$ ;  $Long=123^\circ 4'$ ; угол поворота= $116^\circ$ ; совмещение сплайн-моделей по методу Эванса-Писаревского; (б)  $Lat=77^\circ$ ;  $Long=98^\circ$ ; угол поворота= $137^\circ$ , совмещение палеомагнитных полюсов, приведенных в тексте работы в таблицах 7 и 9; (в)  $Lat=76^\circ$ ;  $Long=116^\circ$ ; угол поворота= $141^\circ$ , совмещение сплайн-моделей ТКМП, с основными реперными полюсами (~1640, ~1500, ~1380, ~1100 млн лет). Пояснения к рисунку см в тексте. Цифры и кодовые обозначения полюсов смотри в тексте работы в таблице 9.

Мезопротерозойские сегменты сибирской и лаврентийской ТКМП, предлагаемые в настоящей работе, позволяют совместить в рамках суперконтинента северные территории Лаврентии с южными – юго-восточными окраинами Сибири подобно тому, как это предлагается в работах [Павлов и др., 2002; Диденко и др., 2003; Метелкин и др., 2007; Evans, Mitchell, 2011], и не требует существования значительного расстояния между этими

кратонами, как это предусматривается реконструкциями [Pisarevsky et al., 2008; Pisarevsky, Natarov, 2003; Богданова и др., 2009].

## 2.5 Выводы и защищаемое положение

Синтез приведенных в этой работе новых палеомагнитных данных, а также палеомагнитных определений для мезопротерозоя Сибирской платформы полученных ранее позволил предложить авторскую модель мезопротерозойского сегмента ТКМП Сибирской платформы. На основе этой модели определено, что в промежутке времени ~1680 – ~970 млн лет Сибирская платформа дрейфовала между 30-ми широтами южного и северного полушарий испытывая медленное вращение против часовой стрелки на ~90°.

Сопоставление модели мезопротерозойского сегмента ТКМП Сибирской платформы и аналогичного участка ТКМП Лаврентии позволило протестировать гипотезу мезопротерозойского суперконтинента. Результаты тестирования сформулированы в следующих выводах:

1. Наши новые палеомагнитные данные для Сибирской платформы указывают на то, что в интервалах ~1600–1380 и ~1100–960 млн лет назад Сибирь и Лаврентия существовали в структуре единой литосферной плиты и входили в состав единого суперконтинента.

2. Временной промежуток ~1400–1100 млн лет является ключевым для тестирования гипотезы трансдокембрийского суперконтинента, и на настоящий момент нет убедительных доказательств как в пользу полного распада конгломерата Сибири и Лаврентии в это время, так и в пользу его существования на всем протяжении мезопротерозоя. Для продвижения в решении этого вопроса необходимо продолжить наращивать количество палеомагнитных и геологических данных для этого времени.

Приведенные выше выводы позволяют нам сформулировать **защищаемое положение** второй главы:

1. Новые палеомагнитные и геохронологические данные позволяют предложить авторскую модель мезопротерозойского сегмента ТКМП Сибирской платформы, дополняющую и развивающую предыдущие модели [Веселовский, 2006; Evans et al., 2016]. Сравнение мезопротерозойских сегментов ТКМП Сибири и Лаврентии указывает на то, что на временных интервалах ~1600–1380 и ~1100–960 млн лет назад эти древние кратоны входили в состав единого континентального блока, что согласуется с гипотезой о существовании трансдокембрийского суперконтинента

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные палеомагнитные и геохронологические исследования мезопротерозойских пород позволили не только получить надежные палеомагнитные полюсы для соответствующих времен для Сибирской платформы, но также послужили источником важных геологических данных. Так, на основе палеомагнитных данных показана необходимость существенного корректирования схемы стратиграфической корреляции осадочных верхнерифейских толщ Сибирской платформы; показано существование длительного перерыва в докембрийской истории осадконакопления на Уджинском поднятии; показано существование на Уджинской поднятии двух разновозрастных мезопротерозойских фаз базитового магматизма. Все приведенные данные вносят существенный вклад и значительно уточняют наши представления о докембрийской геологии северо-востока Сибирской платформы.

Новые надежные палеомагнитные данные значительно уточняют мезопротерозойский сегмент ТКМП Сибирской платформы, что позволяет более надежно тестировать различные суперконтинентальные реконструкции.

Показано, что на территории Сибирской платформы еще есть районы и объекты, исследования которых могут существенно изменить наши представления о ее геологии. А новые исследования могут преподнести, зачастую, революционные результаты.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в реферируемых журналах из списка ВАК:

1. **Пасенко А.М.**, Малышев С.В. Палеомагнетизм и возрастная корреляция мезопротерозойских пород Уджинского и Оленекского поднятий (северо-восток Сибирской платформы) // Физика Земли. – 2020. – №5. – С. 145-169. DOI:10.31857/S0002333720050063
2. Malyshev S.V., **Pasenko A.M.**, Ivanov A.V., Gladkochub D.P., Savatenkov V.M., Meffre S., Abersteiner A., Kamenetsky V.S., Shcherbakov V.D. Geodynamic significance of the Mesoproterozoic magmatism of the Udzha Paleo-Rift (Northern Siberian Craton) based on U-Pb geochronology and paleomagnetic data // Minerals. – 2018. – Т. 8. – №. 12. – С. 555. DOI:10.3390/min8120555
3. Savatenkov V.M., Malyshev S.V., Ivanov A.V., Meffre S., Abersteiner A., Kamenetsky V.S., **Pasenko A.M.** An advanced stepwise leaching technique for derivation of initial lead isotope ratios in ancient mafic rocks: A case study of Mesoproterozoic intrusions from the Udzha paleo-rift, Siberian Craton // Chemical Geology. – 2019. – Т. 528. – С. 119253. DOI:10.1016/j.chemgeo.2019.07.028

### Материалы и тезисы российских конференций:

1. **Пасенко А.М.**, Павлов В.Э. Палеомагнетизм протерозоя Сибири – синтез новых и старых данных // XXV юбилейная Всероссийская школа-семинар по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород. филиал ИФЗ РАН, пос. Борок, Ярославская область, Россия, 25-29 сентября 2019
2. **Пасенко А.М.** Существовал ли трансдокембрийский мегаконтинент? Тестирование гипотезы на основании палеомагнитных данных // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН. – 2019. – С. 66-66
3. **Пасенко А.М.**, Малышев С.В. Палеомагнетизм докембрийских пород севера сибирской платформы на примере Уджинского и Оленекского поднятий // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). – 2018. Выпуск 16. С. 201–203
4. **Пасенко А.М.** Положение Сибирской платформы в рифее по палеомагнитным данным // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН, Москва, Россия, 23-24 апреля 2018. – С. 64-64.
5. **Пасенко А.М.** Положение Сибирской платформы в рифее по палеомагнитным данным // Геология XXI века XVIII Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. — Саратов, 2018. — С. 8–9.
6. Малышев С.В., Иванов А.В., **Пасенко А.М.**, Гладkochуб Д.П., Худолей А.К., Саватенков В.М., Каменецкий В.С., Меффра С., Аберштайнер А. Мезопротерозойский магматизм Уджинского палеорифта и его геодинамическое значение: новые изотопные и палеомагнитные данные // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту), – 2018. Выпуск 16. С. 175–177
7. **Пасенко А.М.** Новые палеомагнитные данные для Уджинской свиты Сибирской платформы (Верхний рифей)/ Конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН, Институт физики Земли РАН, Россия, 24-28 апреля 2017
8. Малышев С.В., Дюфрейн С.Э., Худолей А.К., **Пасенко А.М.** Новые данные о возрасте обломочных цирконов из терригенных толщ севера Сибирской платформы (Уджинское поднятие и северный склон Анабарского щита) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту), – 2017, Выпуск 15. С. 179–180

9. **Пасенко А.М.** Новые данные по Хайпахской свите (Верхний Рифей Оленекского поднятия) / Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту), – 2016, Выпуск 14. С. 220
10. **Пасенко А.М.** Палеомагнетизм неопротерозоя северо-востока Сибирской платформы / Конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН, 25-26 апреля 2016 г, ИФЗ РАН, Россия.

#### **Материалы и тезисы зарубежных и международных конференций:**

1. **Pasenko A.,** Savelev A., Malyshev S. Paleomagnetic data of the Siberian Mesoproterozoic rocks (Udzha Uplift, Northern Siberia) //EGU General Assembly Conference Abstracts. – 2020. – С. 9315. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9315>, 2020
2. **Pasenko А.М.** Paleomagnetic and Geochronological data from Mesoproterozoic rocks of Northern Siberia // XXIst International Conference of Young Geologists, Herlany, 2020, Poland, November 5 - 7, V.89. P.60-61. ISBN: 978-83-933330-2-8
3. Malyshev S.V., Ivanov A.V., **Pasenko А.М.** Mesoproterozoic magmatism of the Udzha paleo-rift (Northern Siberian Craton) based on gechemical and paleomagnetic data // Largescale Volcanism in the Arctic: The Role of the Mantle and Tectonics, Selfoss, Island, 13-18 oktober 2019.
4. **Pasenko А.М.,** Malyshev S.V. Paleomagnetism of the Udzha and Olenek Uplifts, Northern Siberia // 12th International Conference and School “PROBLEMS OF GEOCOSMOS”, October 8-12, 2018, SPbU.
5. **Pasenko А. М.,** Malyshev S. V. New paleomagnetic poles from Arctic Siberia support Indian Ocean option for the Neoproterozoic APWP of the Siberian craton // American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, 11-15 December 2017. – Т. 2017. – С. GP43B-0983
6. **Pasenko А.М.** The new paleomagnetic data from Udja Uplift (Northern Siberia) // International conference on paleomagnetic, and rock magnetism, Kazan', Russia, 2 -7 October 2017.

Тексты и полный список публикаций автора располагается в сети Интернет на сайте: <https://istina.msu.ru/profile/Aleskandr/>

Подписано в печать \_\_ апреля 2021 г.  
 Формат 64×84/16. Объем 1.0 усл. печ. л.  
 Тираж 100 шт. Заказ №

Отпечатано в ИАЦ ИФЗ РАН  
 123242, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1  
 Тел./факс: (499) 254-90-88. E-mail: [serg@tigra-press.ru](mailto:serg@tigra-press.ru)