На правах рукописи

## ВЕСЕЛОВСКИЙ Роман Витальевич

## ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКИХ И ПЕРМО-ТРИАСОВЫХ ПОРОД СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ГЕОМАГНИТНЫЕ СЛЕДСТВИЯ

Специальность 25.00.03 – геотектоника и геодинамика

ΑΒΤΟΡΕΦΕΡΑΤ

диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

MOCKBA 2006 Работа выполнена в Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова на кафедре динамической геологии и в Институте физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма.

#### Научные руководители:

доктор геолого-минералогических наук, профессор **КОРОНОВСКИЙ Николай Владимирович** (МГУ)

кандидат физико-математических наук, доцент ПАВЛОВ Владимир Эммануилович (ИФЗ РАН)

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, **ХУДОЛЕЙ Андрей Константинович** (СПбГУ)

доктор геолого-минералогических наук, БАЖЕНОВ Михаил Львович (ГИН РАН)

#### Ведущая организация:

Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт (ВНИГРИ), Санкт-Петербург

Защита состоится 24 ноября 2006 г. в 16 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 501.001.39 при Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, аудитория 415.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Геологического факультета МГУ (корпус А, 6 этаж).

Автореферат разослан 23 октября 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор геол.-мин. наук, профессор

AR

А.Г.Рябухин

#### Актуальность проблемы.

Построение кривой кажущейся миграции полюса (КМП) Сибирской платформы является важной задачей, решение которой внесет существенный вклад в понимание тектонической эволюции Сибири на протяжении всей ее геологической истории. К настоящему времени относительно подробно разработана модель фанерозойского участ-ка кривой КМП Сибири (*Храмов, 1991; Печерский и Диденко, 1995; Smethurst et al., 1998*). Результаты работ последних лет позволили получить существенные ограничения на конфигурацию позднерифейско-раннекембрийского отрезка кривой КМП (*Павлов и др., 2002; Shatsillo et al., 2006*). Участок кривой КМП, охватывающий интервал 1.9-1.0 млрд. лет назад, до недавнего времени оставался «белым пятном» на «палеомагнитной карте» Сибирской платформы в силу малого количества, фрагментарности (временного разброса) и, зачастую, невысокого качества имеющихся палеомагнитных данных.

В последние годы выполнено несколько надежных палеомагнитных определений по палео- и мезопротерозойским объектам Сибирской платформы, сопровождавшихся изотопным датированием этих объектов (*Ernst et al., 2000; Диденко и др., 2004*). Синтез новых данных и результатов предыдущих исследований позволил сделать первую попытку наметить тренд миграции палеомагнитного полюса Сибири в доверхнерифейское время (*Диденко и др., 2004*). Предложенный тренд базируется пока на единичных надежных полюсах и для его уточнения (статистического наполнения), необходимо получить новые палеомагнитные полюсы по мезопротерозойским объектам с современными датировками абсолютного возраста. С этой точки зрения перспективными объектами для исследования являются нижне-среднерифейские красноцветные осадочные породы Учуро-Майского района и Анабарского поднятия, а также докембрийские (среднерифейские?) дайки и силлы основного состава, широко распространенные на территории Западного и Северного Прианабарья.

В настоящее время в науках о Земле активно обсуждаются гипотезы (квази)периодического образования и распада суперконтинентов (*Трубицин*, 2003; и др.), существования палео-мезопротерозойского суперконтинента Колумбия (*Rogers*, 1996; и др.) или Пангея-1 (*Хаин*, 2001) и его гигантских обломков – суперкратонов Арктика (включавшего, в том числе, Сибирский кратон) и Атлантика (*Condie*, 2002). Разработка мезопротерозойского сегмента кривой КМП имеет принципиальное значение для тестирования этих гипотез.

Сегодня палеотектонические реконструкции строятся на основании гипотезы центрального осевого диполя (ЦОД), справедливость которой для некоторых интервалов времени, в частности для границы палеозоя и мезозоя, подвергается сомнению (*Van der Voo & Torsvik, 2001*; и др.). Возможности для проверки гипотезы ЦОД для протерозоя в настоящее время ограничены и эта задача не ставилась перед настоящей работой. Однако на территории Сибирской платформы широко развиты пермо-триасовые траппы (~250 млн. лет), палеомагнитные данные по которым могут быть использованы для тестирования гипотезы ЦОД для границы палеозоя и мезозоя. Это тестирование может показать, насколько устойчивой была дипольная конфигурация геомагнитного поля в течение геологического времени и существенно уточнить наши представления о том, в какой мере гипотеза ЦОД может быть применима для палеотектонических и палеогеографических интерпретаций древнего (в том числе протерозойского) палеомагнитного сигнала.

### Цели и задачи исследования.

Цели настоящей работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Тестирование гипотезы центрального осевого диполя для границы палеозоя и мезозоя, оценка возможного вклада недипольных компонент.

2. Получение ограничений на характер перемещения палеомагнитного полюса Сибирского кратона в мезопротерозое; построение (на основе полученных и имеющихся данных) модели соответствующего участка кривой кажущейся миграции полюса.

3. Выполнение палеомагнитного тестирования гипотезы вхождения Сибири и Лаврентии в состав палео-мезопротерозойского суперконтинента.

Для достижения поставленных целей предстояло решить следующие задачи:

1. Получить новые палеомагнитные определения для пермо-триасовых траппов Сибирской платформы. На основе полученных и имеющихся данных, отвечающих современным критериям палеомагнитной надежности, рассчитать средний полюс Сибири, отвечающий границе перми и триаса.

2. Провести сравнение одновозрастных пермо-триасовых палеомагнитных полюсов Сибири и Стабильной (внеальпийской) Европы и, в случае их статистически значимого различия, рассмотреть и оценить его возможные источники.

3. Провести палеомагнитные исследования мезопротерозойских отложений Анабарского поднятия и Учуро-Майского района.

4. Выполнить палеомагнитные исследования, а также изотопное датирование позднепротерозойских интрузивных тел Северного и Западного Прианабарья.

#### Фактический материал и методика исследований.

Основу диссертации составляет фактический материал, полученный автором в ходе экспедиционных исследований в различных районах Сибирской платформы.

На западе центральной части Сибирской платформы, в нижнем течении р.Подкаменная Тунгуска (в долинах ее правых притоков – рек Большая Нирунда и Столбовая), были опробованы практически полностью перемагниченные пермо-триасовыми траппами разрезы ордовикских осадочных отложений (*Веселовский и др., 2003*), а также интрузивные тела *P*<sub>2</sub>-*T*<sub>1</sub> возраста. Лавовые покровы и субвулканические тела того же возраста были опробованы на западном склоне Анабарского поднятия, в долине р.Котуй.

На северо-западе платформы, в долинах рек Маган, Джогджо, Котуйкан (Западное Прианабарье) и Фомич (Северное Прианабарье), на протяжении более 600 км, были исследованы докембрийские интрузивные комплексы, а также вмещающие их нижнерифейские (*R*<sub>1</sub>) осадочные породы бурдурской, лабазтахской, усть-ильинской и котуйканской свит.

На юго-восточной окраине Сибирской платформы, на территории Учуро-Майского региона, в долинах рек Мулам, Идюм, Алгама, Гонам, Учур, Аим, были изучены раннерифейские гонамская, омахтинская и эннинская свиты, слагающие нижнюю часть сибирского гипостратотипа рифея. В ряде обнажений была опробована также кондёрская свита (*Неволин, Потапов, Ставцев, 1978*), относимая в настоящее время к нижней части среднерифейской (*R*<sub>2</sub>) тоттинской свиты (*Серебряков, Семихатов, 1983*). Общая протяженность выполненных маршрутов превышает 1500 км. В общей сложности обработано около 1600 ориентированных образцов, отобранных в 90 обнажениях (сайтах). Лабораторная обработка коллекций производилась в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН (г.Москва), в палеомагнитных лабораториях Парижского института физики Земли и Мюнхенского университета. Минералогические исследования проводились в геофизической обсерватории «Борок» (Ярославская область) при непосредственном участии В.А.Цельмовича. Изотопные исследования выполнены совместно с С.Ф.Карпенко и Ю.А.Костицыным (Лаборатория изотопной геохимии, космохимии и геохронологии Института геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН).

#### Научная новизна работы.

На основе палеомагнитных определений последних лет, отвечающим современным критериям надежности (включая данные, полученные в настоящей работе) рассчитан новый средний пермо-триасовый полюс Сибирской платформы.

Показано, что средние *P*<sub>2</sub>-*T*<sub>1</sub> палеомагнитные полюсы Стабильной Европы и Сибири значимо отличаются друг от друга, выполнен анализ вероятных причин их различия. Проведена количественная оценка вклада квадрупольной и октупольной компонент, а также занижения наклонения, которые могли бы объяснить расхождение средних палеомагнитных полюсов Сибирской платформы и Стабильной Европы.

Впервые проведены площадные палеомагнитные исследования ранне- и среднерифейских магматических и осадочных пород северного и западного склонов Анабарского поднятия Сибирской платформы. Впервые получен палеомагнитный полюс котуйканской свиты (*R*<sub>1</sub>), а также полюс интрузивных тел долин рек Джогджо и Котуйкан (*R*<sub>2</sub>?). Переопределено положение палеомагнитного полюса интрузивного комплекса долины р.Фомич, а проведенное изотопное датирование и выполненный тест обжига позволили вывести этот полюс в ранг ключевых палеомагнитных полюсов Сибирской платформы. Получены новые, отвечающие современным требованиям, палеомагнитные данные по гонамской (*R*<sub>1</sub>), омахтинской (*R*<sub>1</sub>), кондёрской (*R*<sub>2</sub>?) и бурдурской (*R*<sub>1</sub>) свитам, значительно дополняющие и уточняющие результаты предыдущих исследований.

На основании результатов настоящей работы и опубликованных ранее данных (Диденко и др., 2004; Ernst et al., 2000) предложен вариант конфигурации палеомезопротерозойского сегмента кривой КМП Сибирской платформы, который позволяет описать генеральные черты ее дрейфа в интервале времени 1.9-1.1 млрд. лет. Сопоставление соответствующих участков кривых КМП Сибири и Лаврентии поддерживает гипотезу о вхождении указанных кратонов с конца раннего протерозоя по начало позднего рифея в состав единого континентального образования, что является серьезным аргументом в пользу существования палео-мезопротерозойского суперконтинента (суперкратона) Арктика (*Condie*, 2002).

Результаты, полученные в данной работе, значимо пополняют базу палеомагнитных данных по рифею Сибири и позволяют существенно продвинуться в решении вопроса построения кривой КМП Сибирской платформы, в частности ее рифейского сегмента.

#### Защищаемые положения.

- С начала раннего рифея (гонамское время) по конец среднего рифея (малгинское время) Сибирская платформа испытала значительные горизонтальные перемещения, следствием которых явилось ее смещение из приэкваториальных широт южного полушария к средним широтам северного полушария. При этом Сибирская платформа повернулась относительно меридиана на угол ~50° против часовой стрелки.
- 2. С конца палеопротерозоя (Диденко, Водовозов, 2003) по начало неопротерозоя фиксируется согласованность в генеральном тренде перемещений Сибирского и Лаврентийского древних кратонов, что поддерживает гипотезу о существовании на протяжении всего мезопротерозоя единого суперкратона Арктика (*Condie*, 2002). В составе этого суперкратона Сибирь должна была быть обращена современной юго-юговосточной окраиной к современным северным территориям Лаврентии.
- 3. Полученные данные указывают на неодновременность образования изученных анабарских и учуро-майских рифейских отложений и, в частности, на существенную разницу в возрасте пород учурской серии (*R*<sub>1</sub>) и нижнерифейских пород склонов Анабарского поднятия. Внедрение основных интрузий севера и юго-запада Анабарского поднятия происходило неодновременно, хотя и в относительно близкие интервалы геологической истории около 1.5 млрд. лет назад.
- 4. Средний пермо-триасовый палеомагнитный полюс Сибирской платформы значимо отличается от соответствующего среднего палеомагнитного полюса Стабильной Европы. Наиболее вероятными причинами различия полюсов следует считать: 1) занижение наклонений в европейских данных; 2) умеренный вклад недипольных зональных компонент в геомагнитное поле на границе палеозоя и мезозоя.

#### Теоретическое и практическое значение.

Результаты палеомагнитных исследований, полученные в ходе настоящей работы, могут быть использованы при создании геодинамических карт, палеогеографических, палеоклиматических и других реконструкций. Исключительно важным представляется использование полученных данных для выяснения положения Сибирского кратона в системе глобальных палеореконструкций для мезопротерозойского времени. Результаты, полученные в настоящей работе, важны, в частности, для восстановления структуры геомагнитного поля на рубеже палеозоя и мезозоя и развития представлений о магнитном поле Земли в целом.

#### Апробация работы.

Результаты, полученные в ходе настоящей работы, были представлены на 11-ти Всероссийских и Международных научных конференциях, совещаниях и семинарах: совещания «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород», 2001, 2002, 2003 (пос. Борок), 2004 (г. Казань); Тектонические совещания «Области активного тектоногенеза в современной и древней истории Земли» (г. Москва), 2003, 2006; 32 Международный Геологический Конгресс (г. Флоренция), 2004; XVI конференция молодых ученых, посвященная памяти профессора К.О. Кратца (г. Апатиты), 2005; XIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (г. Москва), 2006; конференция «Problems of geocosmos» (г. Санкт-Петербург), 2006; конференция Европейского Геофи-

зического Общества (г. Вена), 2006. Результаты работы регулярно докладывались и обсуждались на Общемосковском семинаре по магнетизму и палеомагнетизму в ИФЗ РАН.

#### Публикации.

В общей сложности по теме диссертационной работы подготовлено 16 публикаций: из них 3 статьи в реферируемых журналах, 13 – тезисы конференций и статьи в сборниках по материалам конференций; подготовлена 1 статья для публикации в международном издании.

#### Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, 2 частей, содержащих в себе 8 глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 138 страниц машинописного текста, из них 24 иллюстрации, 15 таблиц. Библиографический список включает 221 работу.

#### Благодарности.

Хочется выразить глубокую признательность моему научному руководителю – Владимиру Эммануиловичу Павлову, заведующему лабораторией Главного геомагнитного поля и петромагнетизма Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, где был выполнен основной объем полевых работ и лабораторных исследований. Успешному выполнению этой работы способствовала дружественная творческая атмосфера, которая сложилась на кафедре динамической геологии МГУ им. М.В.Ломоносова. Заведующий кафедрой – профессор Николай Владимирович Короновский, уделял постоянное внимание работе, а на заключительном этапе стал вторым научным руководителем.

Удивительный мир полевой геологии для меня открыл П.Ю.Петров (ГИН РАН), оказавший также неоценимую помощь в отборе палеомагнитных коллекций. Значительный объем проведенных полевых исследований был бы невозможен без А.В.Шацилло (ИФЗ РАН), И.Галле (IPGP, Париж), В.Н.Подковырова (ИГГД РАН), С.С.Терентьева (ВСЕГЕИ, СПб), И.О.Зверева (МГУ). Спасибо также сотрудникам МГУ Н.В.Лубниной, В.С.Захарову, А.В.Тевелеву и Арк.В.Тевелеву, Д.И.Панову, а также Н.В.Правиковой за всестороннюю помощь и поддержку. Я благодарен коллективу палеомагнитной лаборатории ИФЗ РАН, в частности Д.М.Печерскому, Т.С.Гендлер, В.Ю.Водовозову; сотрудникам ГИН РАН – А.Н.Диденко, М.Л.Баженову, М.В.Алексютину; А.О.Волынец (ИВиС ДВО РАН), С.В.Шипунову (СПбГУ) за помощь и консультации на разных этапах работы. Искренне признателен первым палеомагнитологам Сибири из ВНИГРИ (СПб): А.Н.Храмову, Е.Л.Гуревичу, А.Г.Иосифиди и В.В.Попову за обсуждение результатов исследований.

Большое спасибо моим родителям и друзьям за создание всех условий для написания этой работы, постоянную поддержку, помощь и вдохновение.

Финансовая поддержка полевых и лабораторных исследований осуществлялась РФФИ (гранты №№ 98-05-65082, 01-05-64819, 04-05-65024), INTAS (грант № 03-51-5807), программой ОНЗ РАН «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)» и из бюджетных средств ИФЗ РАН.

Всеволод Николаевич Вадковский... На протяжении 8 лет я имел счастье общаться с этим замечательным человеком, учиться у него. Всеволод Николаевич ввел меня в мир палеомагнетизма; был взыскательным наставником в моем первом опыте преподавания. Постоянная поддержка со стороны Всеволода Николаевича и его оптимизм помогали мне в трудных жизненных ситуациях, решении научных проблем. На протяжении двух с половиной лет Всеволод Николаевич был научным руководителем этой работы. Невозможно выразить словами благодарность Всеволоду Николаевичу. Она безгранична.

#### Содержание работы.

Во **введении** дана общая характеристика работы: обоснована актуальность изучаемой темы, обоснован выбор объектов, сформулированы цели и задачи исследований, основные защищаемые положения; кратко изложены научная новизна, теоретическое и практическое значение, степень личного участия автора в получении основных научных результатов, апробация работы и содержание диссертации.

#### **ЧАСТЬ** 1.

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ Глава 1. Методика и техника исследований.

Как правило, отбор образцов проводился в соответствии с "сайтовой" методикой, широко принятой в настоящее время в палеомагнитной практике. Однако, в том случае, если это позволял характер обнаженности, образцы отбирались более или менее равномерно по разрезу так, чтобы максимально повысить вероятность обнаружения зон разной полярности. Магматические тела опробовались преимущественно во внешних и приконтактовых своих частях, при этом, однако, некоторое количество образцов отбиралось и из центральных частей этих тел. Там, где это было возможно, опробовались экзоконтактовые зоны и удаленные на некоторое расстояние от контактов вмещающие породы.

Методический и аппаратурный уровень отбора палеомагнитных образцов и лабораторной обработки коллекций соответствует современным требованиям. Все коллекции прошли детальную температурную чистку, в некоторых случаях дублированной чисткой переменным магнитным полем, до полного разрушения намагниченности с числом шагов от 15 до 20, в отдельных случаях детальность увеличивалась. Чистки коллекций проводились на криогенных магнитометрах 2-G Enterprises (Парижский Институт физики Земли, Лаборатория палеомагнетизма и магнетизма горных пород Мюнхенского университета) и спин-магнитометре JR-4 (Москва) в пространстве, экранированном от внешнего магнитного поля. Термомагнитные исследования выполнялись на термомагнитометре конструкции Ю.К.Виноградова. При компьютерной обработке результатов применялись пакеты программ палеомагнитного анализа Р.Энкина, Т.Торсвика, С.В.Шипунова и М.В.Алексютина. Минералогические исследования проводились в геофизической обсерватории «Борок» совместно с В.А.Цельмовичем, в том числе с использованием электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализатора «Сamebax».

Геохимические исследования проводились в Лаборатории изотопной геохимии, космохимии и геохронологии ГЕОХИ РАН. Изотопный состав неодима и самария измерялся на десятиколлекторном масс-спектрометре «Triton».

В главе также описаны эксперименты, направленные на доказательство существования эффекта самообращения в ряде изученных пород и на его изучение. Из-за крайней неоднородности данных, полученных по траппам Сибирской платформы (*P*<sub>2</sub>-*T*<sub>1</sub>), нахождение среднего палеомагнитного полюса представляет собой достаточно нетривиальную задачу. Рассмотрены разные подходы к ее решению, их преимущества и недостатки. Описан алгоритм, использованный при написании программ для оценки вклада недипольных компонент в геомагнитное поле.

### Глава 2. Новые палеомагнитные данные по пермо-триасовым траппам Сибирской платформы и оценка дипольности геомагнитного поля на границе палеозоя и мезозоя.

#### §1. Современное состояние проблемы и постановка задачи.

Гипотеза центрального осевого диполя (ЦОД) является "краеугольным камнем" при палеотектонических интерпретациях палеомагнитных данных. Многочисленные исследования, выполненные к настоящему времени (обзор приведен в тексте диссертации), с большой долей вероятности указывают на существенное преобладание дипольного поля в течение геологической истории, не исключая при этом, что в отдельные интервалы времени заметную роль начинали играть зональные недипольные источники. Например, в работе (*Van der Voo and Torsvik, 2001*) авторы указывают на возможность заметного вклада зональной октупольной компоненты в суммарное осредненное по времени геомагнитное поле в периоды 120-40 и 300-200 млн. лет назад, достигавшей 10% от дипольной составляющей. Прямым путем тестирования этой гипотезы является сравнение одновозрастных палеомагнитных полюсов, полученных по удаленным регионам большого жесткого блока, каким, вероятно, уже являлась Северная Евразия 250 млн. лет назад (*Xauн, 2001*). Сибирские пермо-триасовые траппы представляют собой перспективный объект для такого исследования.

Среди многочисленных палеомагнитных определений, имевшихся до последнего времени по сибирским траппам, только небольшая часть была получена с использованием современных процедур лабораторной обработки (*Gurevich et al., 2004; Heunemann et al., 2003; Kravchinsky et al., 2002;* и др.). В ходе настоящей работы были выполнены палеомагнитные определения, которые (вместе с вышеназванными) позволили рассчитать новый пермо-триасовый палеомагнитный полюс Сибирской платформы и провести тестирование гипотезы ЦОД для границы палеозоя и мезозоя.

## §2. Результаты палеомагнитных исследований в долинах рек Котуй, Большая Нирунда и Столбовая.

В 2000-2001 годах были выполнены исследования, направленные на расширение палеомагнитной базы данных, включающей только определения, отвечающие современным критериям палеомагнитной надежности. В долине нижнего течения р.Котуй (Западное Прианабарье) было опробовано 9 трапповых силлов и потоков; в долинах правых притоков р.Подкаменная Тунгуска – рек Б.Нирунда и Столбовая – было изучено шесть опорных разрезов осадочных пород среднего и верхнего ордовика, практически полностью перемагниченных  $P_2$ - $T_1$  траппами, а также две гипабиссальные долеритовые интрузии  $P_2$ - $T_1$  возраста.

Все образцы были подвергнуты детальной температурной чистке. В большинстве случаев ЕОН образцов представлена двумя компонентами намагниченности – низкотемпературной (современной) и высокотемпературной характеристической. Отдельного обсуждения заслуживает факт наличия в образцах долеритов р.Столбовой двух, а иногда и трех антиподальных (или почти антиподальных) компонент намагниченности. Объяснить этот факт медленным остыванием интрузии не представляется возможным, поскольку в пределах одной точки отбора (т.е. на расстоянии нескольких метров друг от друга) встречаются образцы с различным характером записи. Проведенные петромагнитные исследования (*Гапеев и др., 2003*) доказывают существование частичного самообращения в ряде образцов, что объясняет наблюдаемое поведение вектора намагниченности.

В пользу древности высокотемпературной компоненты намагниченности исследованных магматических пород имеются следующие доводы: (а) наличие компонент намагниченности прямой и обратной полярности; (б) указание на частичное самообращение намагниченности в образцах долеритовой интрузии р.Столбовая; (в) выдержанность направления компонент намагниченности на большой территории; (г) отличие рассчитанного полюса от более молодых полюсов Сибирской платформы; (д) положительный тест обжига. Палеомагнитные полюсы, рассчитанные по выделенным характеристическим компонентам намагниченности, приведены в табл. 1.

## §3. Селекция палеомагнитных данных для Стабильной Европы и Сибирской платформы.

Проведен детальный анализ имеющихся палеомагнитных данных, отвечающих границе перми и триаса Сибирской платформы и Европы (рассматривался интервал 240-260 млн. лет); основными критериями отбора являлись (а) параметр DC палеомагнитной базы данных, отражающий качество лабораторной обработки палеомагнитной коллекции, (б) принадлежность объекта к территории Стабильной (доальпийской) Европы. В селекции не принимали участие данные по Русской платформе, поскольку лучше всего отклонение геомагнитного поля от поля диполя за счет аксиальных источников будет заметно при сравнении палеомагнитных полюсов по районам, максимально удаленным друг от друга по палеошироте в пределах единого тектонически жесткого блока. На основе отобранных палеомагнитных полюсов (табл. 1) рассчитаны соответствующие средние *P*<sub>2</sub>-*T*<sub>1</sub> палеомагнитные полюсы Сибири и Европы (табл. 2).

Объект	Φ	٨	A95	Κ
Полюс для района р.Большая Нирунда:	54.4	143.8	12.0	59.6
Полюс для района р.Столбовая:	55.3	148.7	11.2	68.3
Полюс для района р.Котуй:	52.7	148.4	13.9	31.1
Полюс для района Норильска [1]:	56.4	165.3	10.0	24.3
Полюс для долины р.Мойеро [2]:	61.7	153.4	7.3	36.0
Полюс для района р.Абагалах [3]:	58.0	149.9	4.4	25.0
Полюс для района р.Вилюй [4]:	52.5	153.3	17.5	20.0
Полюс для района р.Кулюмбэ [5]:	56.4	141.7	13.5	14.0
Средний Р <sub>2</sub> -Т <sub>1</sub> полюс Сибири:	56.1	151.0	3.4	268

Таблица 1. Палеомагнитные полюсы, использованные для расчета среднего пермо-триасового полюса Сибирской платформы.

**Подпись к таблице**: Ф, Л – широта и долгота палеомагнитного полюса; К – кучность; А95 – радиус круга доверия. 1 – [Павлов и др., 2001]; 2 – [Каменщиков и др., 1996]; 3 – [Gurevich et al., 2004]; 4 – [Kravchinsky et al., 2002]; 5 – [Bazhenov et al., в печати].

Исходные данные:									
Выборка			К	A95	Φ	٨	Источник		
Европа	EUR-VT	4	194	6.6	50.3	158.6	[1]		
	EUR-AS	7	139	5.2	49.3	155.7	н.р.		
Сибирь	SIB-MB	8	126	5.0	55.3	146.9	[2]		
	SIB-VP	8	268	3.4	56.1	151.0	н.р.		
Результаты сравнения:									
N⁰	Сравниваемые полюсы			γ			Ycr		
1	EUR-AS и SIB-VP				7.4°		5.6°		
2	EUR-VT и SIB-VP				7.4°		6.0°		
3	EUR-AS и SIB-MB				8.0°		6.7°		
4	EUR-VT и SIB-MB				8.6°		7.8°		

**Таблица** 2. Сравнение средних пермо-триасовых полюсов Сибирской платформы и Стабильной Европы: используемые данные и результаты.

**Подпись к таблице**:  $\Phi$ ,  $\Lambda$  – широта и долгота среднего палеомагнитного полюса; N – кол-во исходных полюсов; K – кучность; A95 – радиус круга доверия;  $\gamma$  -угловое расстояние ,  $\gamma_{cr}$  -критическое угловое расстояние (McFadden and McElhinny, 1990); 1 – (Van der Voo & Torsvik, 2004); 2 – (Bazhenov et al., в печати).

#### §4. Оценка морфологии геомагнитного поля на границе перми и триаса.

Сравнение полученных средних полюсов (для большей объективности исследования были использованы также аналогичные полюсы, полученные другими исследователями по другим выборкам исходных данных) показало, что средние полюсы Сибири значимо отличаются от соответствующих им полюсов Европы и смещены в сторону последней (рис. 1, табл. 2).

Наблюдаемое различие в положении европейских и сибирских полюсов может быть объяснено: а) наличием относительных перемещений Сибирской платформы и Европы в послепалеозойское время; б) различием возрастов европейских и сибирских полюсов; в) наличием существенного вклада в геомагнитное поле недипольных компонент на границе палеозоя-мезозоя; г) занижением магнитных наклонений в европейских данных, поскольку они получены в основном по осадочным породам; д) неустойчивостью решения из-за малой и неадекватной выборки исходных данных.

Первое предположение опровергается отсутствием в геологической структуре следов крупномасштабного сжатия, которым должно было бы сопровождаться ~500 километровое сближение Сибирской и Восточно-Европейской платформ в послепермское время. Именно такое сближение требуется при прямой тектонической интерпретации полученных палеомагнитных полюсов.

Отметим, что вращение Сибири в составе Евразии по часовой стрелке (относительно Европы), предположительно происходившее вплоть до конца мела (*Брагин*, 2005), не могло привести к наблюдаемому смещению сибирских полюсов относительно европейских. Соответствие рассчитанных средних полюсов границе перми-триаса уверенно определено. Показано, что использование других выборок исходных данных приводит к аналогичному значимому смещению сибирских полюсов в сторону Европы.



Рисунок 1. Положение средних палеомагнитных полюсов Сибири и Европы.



#### Рисунок 2.

Оценка ошибки в определении наблюденной палеошироты (вертикальная ось), возникающих при -10%-ом вкладе октупольной компоненты и при занижении наклонения с коэффициентом 0.65, в зависимости от истинной палеошироты места (горизонтальная ось).

Таким образом, наиболее вероятными причинами различия полюсов следует считать явление занижения магнитного наклонения европейских данных и/или вклад недипольных составляющих в геомагнитное поле на границе перми и триаса. Проведенные вычисления показали, что при совсем небольшом значении коэффициента занижения наклонения (f = 0.95) или при существовании отрицательного 10%-го вклада октупольной компоненты (g3/g1) в геомагнитное поле, различие между сравниваемыми  $P_2$ - $T_1$  полюсами Стабильной Европы и Сибири становится статистически незначимым. Совпадения рассматриваемых полюсов можно также достичь, комбинируя квадрупольный и октупольный источники разной интенсивности.

Проведенные исследования показали, что, несмотря на указания возможного умеренного вклада недипольных компонент в усредненное по времени геомагнитное поле, возможны также объяснения не требующие отклонения от дипольности. Таким образом, на настоящий момент не имеется достаточных оснований считать, что на протяжении геологической истории усредненное геомагнитное поле сколько-нибудь значительно отклонялось от дипольной конфигурации.

#### **ЧАСТЬ** 2.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ПОРОД СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ Глава 1. Сибирская платформа в системе палео-мезопротерозойских палеотектонических реконструкций.

На основе литературного материала приводятся сведения о существующих моделях образования и распада предполагаемых палео-мезопротерозойских суперконтинентов (*Rogers, 2003; Condie, 2002*), рассматриваются варианты вхождения в их состав Сибирского кратона, а также взаимосвязь Лаврентии и Сибири на протяжении палеомезопротерозойского времени (*Piper, 1982; Frost et al., 1998; Rainbird et al., 1998;* и др.). На настоящий момент предложено несколько взаимоисключающих реконструкций относительного положения Сибири и Лаврентии. Прямым и естественным путем их тестирования является сравнение соответствующих сегментов кривых КМП этих древних кратонов.

#### Глава 2. Анализ имеющихся палеомагнитных данных для Сибирской платформы (с конца раннего протерозоя до начала позднего рифея).

Первые и наиболее многочисленные палеомагнитные определения докембрийских объектов Сибирской платформы были получены в 60-80-ые годы группой палеомагнитологов ВНИГРИ (Ленинград) под руководством А.Н.Храмова: Е.Л.Гуревичем, Р.А.Комиссаровой, Э.П.Осиповой (Сидоровой), В.П.Родионовым, С.А.Писаревским, А.Г.Иосифиди. Отдельные определения докембрийских образований северного склона Анабарского поднятия были выполнены Г.Г.Камышевой, Дж.И.Саврасовым (Амакинская экспедиция МинГео СССР), Б.В.Гусевым (НИИГА, Ленинград), Н.П.Михайловой (ИГ, Украина).

В главе собраны и представлены в виде таблицы и рисунков все полученные к настоящему времени палеомагнитные определения по породам Сибирской платформы, охватывающие интервал времени с конца раннего протерозоя по начало позднего рифея. Для каждого палеомагнитного определения, в соответствии с последними достижениями геохронологии и стратиграфии, уточнен возраст пород по которым оно получено. В результате подробного анализа каждого палеомагнитного определения показано, что большая часть из них не удовлетворяет современным критериям палеомагнитной надежности: из 51 лишь 23 полюса получены с применением детальных магнитных чисток всего объема коллекций, из которых только 11 следует считать наиболее надежными (проведены полевые тесты, имеется хорошая возрастная привязка, полюс получен с использованием достаточного количества образцов из нескольких сайтов, имеется четкий структурный контроль). 6 из этих 11 определений приходятся на поздний рифей, 3 – на средний и ранний рифей и только 2 палеомагнитных полюса отвечают концу раннего протерозоя.

Исходя из приведенного материала ясно, что имеющиеся на настоящий момент палеомагнитные данные не позволяют уверенно проводить палео-мезопротерозойский участок кривой КМП Сибирской платформы даже с привлечением менее надежных палеомагнитных определений.

#### Глава 3. Геологическое описание районов работ и объектов исследований.

В настоящей работе за основу взята стратиграфическая схема докембрийских отложений, предложенная Семихатовым и Серебряковым (1983) с рядом уточнений, учитывающих результаты последующих исследований (*Сергеев, 2003; Худолей, 2003*). В работе использована геохронологическая терминология, принятая на территории России (*Общая стратиграфическая шкала, 1993*), а также международная терминология (*International Geologic Time Scale, 2004*). Обе шкалы приведены на обратной стороне обложки.

#### 3.1. Анабарское поднятие: западный и северный склоны.

<u>Стратиграфия.</u> Сводный разрез рифейских отложений Анабарского поднятия образован породами нижнерифейской ( $R_1$ ) мукунской и средне-верхнерифейской ( $R_{2-3}$ ) билляхской серий, несогласно залегающих на метаморфизованных породах фундамента (AR- $PR_1$ ). В состав преимущественно терригенной мукунской серии ( $R_1$ ) входят ильинская, бурдурская и лабазтахская свиты, а билляхская серия, имеющая карбонатнотерригенный состав, подразделяется на усть-ильинскую ( $R_1$ ), котуйканскую ( $R_1$ ) и юсмастахскую ( $R_{2-3}$ ) свиты.

Следует отметить, что до недавнего времени сведения об абсолютном возрасте осадочных разрезов основывались на результатах К-Аг датирования минералогически не изученных глауконитов и в настоящее время должны рассматриваться с крайней осторожностью

Имеющиеся датировки абсолютного возраста указывают на то, что накопление мукунской серии началось позднее 1760±20 млн. лет назад (Sm-Nd возраст наиболее молодых магматических серий, прорывающих породы фундамента и перекрытых мукунской серией (*Poseн u dp., 2000*)), а завершилось около 1400 млн. лет назад, судя по Rb-Sr и K-Ar датировкам минералогически изученных глауконитов из основания билляхской серии (*Горохов и dp., 1991*). Rb-Sr датировки аргиллитов юсмастахской свиты указывают на то, что верхняя возрастная граница билляхской серии не моложе 1250 млн. лет (*Сергеев, 2003; Горохов и dp., 2001; и dp.*).

<u>Магматизм.</u> В пределах Анабарского массива, на основании анализа данных о простирании интрузивных тел, их геологического положения, особенностей химического состава и К-Ar датировок абсолютного возраста (по породе в целом), А.В.Округин с соавторами (*Округин и др., 1999*) выделяют 10 поясов (роев) даек докембрийского возраста. На западном и северном склонах Анабарского поднятия выделяются, соответственно, Западно-Анабарский и Северо-Анабарский дайковые пояса, породы которых чаще всего имеют возраст от 1400 до 900 млн. лет (К-Ar, по породе в целом). Известны возрастные датировки двух силлов трахибазальтов долины реки Джогджо (Западное Прианабарье), изученных в данной работе, которые внедрены в отложения нижнеюсмастахской подсвиты на участке реки между ручьем Берелех и рекой Котуйкан. Полученный К-Ar методом по 13 валовым пробам, возраст силлов колеблется от 1397±4 до 1007±12 млн. лет (*Шпунт и др., 1982*).

Датировки абсолютного возраста (К-Аг, валовые пробы) интрузивных тел долины реки Фомич (Северное Прианабарье) составляют: 820, 912, 1085, 1135 млн. лет (*Беляков и др., 1970*), а также 1100 и 1540 млн. лет (*Кутейников и др., 1967*). Эти интрузивные тела прорывают докембрийские осадочные породы вплоть до нижнеюсмастахской под-

свиты включительно (верхнеюсмастахские отложения в этом районе размыты) и отсутствуют в перекрывающих их венд-кембрийских отложениях.

### 3.2. Учуро-Майский район.

<u>Стратиграфия.</u> Сводный разрез рифейских отложений Учуро-Майского района представлен учурской (*R*<sub>1</sub>), аимчанской (*R*<sub>2</sub>), керпыльской (*R*<sub>2</sub>), лахандинской (*R*<sub>3</sub>) и уйской (*R*<sub>3</sub>) сериями (*Семихатов*, *Серебряков*, 1983). В настоящей работе исследованы породы гонамской, омахтинской и эннинской свит учурской серии (*R*<sub>1</sub>), а также кондёрской свиты (согласно (*Неволин и др.*, 1978)), рассматриваемой в настоящее время в качестве нижней подсвиты тоттинской свиты керпыльской серии (*Семихатов*, *Серебряков*, 1983). Отметим, однако, что кондёрские слои долгое время отождествлялись с эннинской свитой (*Нужнов С.В.*, 1967; Потапов С.В. и др., 1974) и полученные нами данные (см. ниже), возможно, поддерживают эту точку зрения.

Имеются следующие данные об абсолютном возрасте учурской серии: 1) К-Аг (глауконит, валовая проба) из нижних горизонтов – 1520-1450 млн. лет (Шенфиль, 1991); 2) в пределах Горностахской антиклинали, в нижних горизонтах учурской серии, найдены обломочные цирконы с возрастом 1717±32 млн. лет (U-Pb), а рвущая эти горизонты дайка имеет возраст 1340±55 млн. лет (Sm-Nd (*Худолей, 2003*)); 3) на востоке Алданско-го щита учурская серия перекрывает гранитоиды Улканского грабена, возраст наиболее молодых из которых составляет 1703±18 млн. лет (U-Pb, (*Худолей, 2003*)). Определенный по глаукониту (K-Ar, валовая проба) возраст омахтинских отложений составляет 1360 млн. лет (*Шенфиль, 1991*). Полученные по глаукониту K-Ar и Rb-Sr определения возраста эннинской свиты, составляющие 1158 и 1140 млн. лет, рассматриваются авторами определения как омоложенные (*Семихатов и др., 1987*).

Из тоттинской свиты известно несколько К-Ar определений по глаукониту (валовые пробы, снизу вверх по разрезу): 1170, 1140, 1120, 1070, 1000, 970 млн. лет (Шенфиль, 1991). Модельные Rb-Sr определения возраста иллита и глауконита колеблются от 876 до 774 млн. лет и, по всей видимости, омоложены (*Семихатов и др., 1987*). Согласно недавним определениям, песчаники нижних горизонтов тоттинской свиты содержат обломочные цирконы с U-Pb возрастом 1300±5 млн. лет (*Худолей, 2003*) (по последним данным — около 1100 млн. лет (*А.К.Худолей, у.с.*)).

#### 3.3. Результаты изотопных исследований.

Для определения изотопного возраста были использованы пробы, отобранные из силла, вскрытого в долине реки Фомич приблизительно в 10 км ниже устья руч.Бурустах. Морфология выделенных цирконовых зерен с большой вероятностью указывает на то, что они являются захваченными (*Wingate, y.c.*), поэтому U-Pb исследования этих зерен не проводились. С помощью Sm-Nd метода исследовались валовая проба, а также плагиоклаз, апатит и два пироксена, выделенные из исходного образца с использованием магнитной сепарации и тяжелых жидкостей (чисто отобранный гиперстен и тонкая вкрапленность ортопироксена в магнетите). На основе полученных результатов построена изохронная диаграмма, по которой возраст изученных долеритов определяется с довольно высокой для используемого метода точностью и составляет 1513±51 (2δ) млн. лет.

## Глава 4. Палеомагнетизм рифейских пород северного и западного склонов Анабарского поднятия.

#### 4.1. Западный склон Анабарского поднятия.

В долинах рек Джогджо и Котуйкан был изучен интрузивный магматический комплекс, представленный дайками и силлами преимущественно основного состава. На протяжении около 150 км, в 17 обнажениях (сайтах), было опробовано 15 интрузивных тел и приконтактовые зоны там, где это было возможно. Изученные интрузивные тела внедрены в карбонаты верхней подсвиты котуйканской свиты (*R*<sub>1</sub>), нижнюю и верхнюю подсвиты юсмастахской свиты (*R*<sub>2-3</sub>) и отсутствуют среди несогласно перекрывающих их венд-кембрийских отложений. Также для палеомагнитных исследований были опробованы терригенные осадочные породы бурдурской, лабазтахской и усть-ильинской свит (*R*<sub>1</sub>), обнажающиеся в долине реки Маган.

Температурная чистка выявила наличие четко интерпретируемой палеомагнитной записи в 9 из 15 исследованных интрузивных тел; породы остальных несут хаотичный сигнал или перемагничены современным полем. Естественная остаточная намагниченность (ЕОН) изученных образцов имеет в своем составе одну, две или три компоненты намагниченности как прямой, так и обратной полярности. В самом простом случае выделяется единственная характеристическая компонента намагниченности, разрушающаяся при нагревании до 580-595°С. В случае двухкомпонентной намагниченности выделяются низкотемпературная компонента, разрушающаяся при нагреве до 200-250°С, близкая по направлению к современному полю, а также характеристическая высокотемпературная компонента (250°-595°С). В случае трехкомпонентной намагниченности выделяется низкотемпературная компонента современного возраста (до 300°C), а также две древние стабильные компоненты – средне- («СТ», 300-500°С) и высокотемпературная («BT», 500-595°C). Векторы компонент намагниченности «CT» и «BT» противоположно направлены, однако угол между ними отличается от 180° (на величину порядка 20°), что не позволяет считать эти компоненты строго антиподальными. Подобную ситуацию можно было бы наблюдать в случае перемагничивания пород путем их вторичного прогрева, источником которого могли являться либо более молодые протерозойские интрузии, либо трапповые образования пермо-триасового возраста. Однако следы такого перемагничивающего события следовало бы ожидать в палеомагнитной записи всех образцов в пределах одного тела, а не в единичных случаях, как это наблюдается. Кроме того, направление намагниченности трапповых тел и выделенных компонент резко различно, что опровергает гипотезу траппового перемагничивания. Возможным объяснением наблюдаемого поведения вектора намагниченности может служить явление частичного самообращения, подобное обнаруженному нами в близких по составу основных породах пермо-триасовой трапповой интрузии р.Столбовой (см. ниже).

Отличие же компонент «CT» и «BT» от антиподальности логично объяснить неполным удалением современной компоненты намагниченности при выделении компоненты «CT», что подтверждается тем фактом, что проекция вектора «CT» лежит на большом круге между проекциями векторов современного поля и компоненты «BT».

Магнитные чистки объемной (более 200 образцов) коллекции осадочных пород бурдурской, лабазтахской и усть-ильинской свит (*R*<sub>1</sub>) показали, что эти породы, за исключением единичных образцов, содержат крайне шумный нерегулярный сигнал или перемагничены современным полем.

В пользу первичности намагниченности пород интрузивных тел долин рек Джогджо и Котуйкан свидетельствует: (а) указание на возможность частичного самообращения намагниченности в нескольких образцах, (б) наличие двух противоположно направленных компонент намагниченности, (в) выдержанность выделенных компонент намагниченности на большой территории, а так же (г) отличие рассчитанных палеомагнитных полюсов от более молодых полюсов Сибирской платформы.

Дополнительным аргументом в пользу первичности намагниченности может служить также то обстоятельство, что палеомагнитный полюс интрузивных тел Западного Прианабарья (табл. 3) лежит в той же области Тихого океана, что и палеомагнитные полюсы, полученные ранее по мезопротерозойским интрузиям реки Сололи (*Гуревич*, 1983; Константинов и др., 2004), дайкам р.Куонамки и чиэресской дайке (*Ernst et al.*, 2000).

#### 4.2. Северный склон Анабарского поднятия.

В долине реки Фомич был опробован интрузивный магматический комплекс докембрийского возраста и вмещающие его рифейские осадочные породы. Интрузивные тела сложены долеритами и представляют собой силлы, реже встречаются дайки. На протяжении более 150 км, в 16 точках, было опробовано 8 интрузивных тел (по одному из которых получен абсолютный возраст – более подробно см. п. 3.3) и зоны контакта трех из них. Для палеомагнитного изучения было также опробовано по два обнажения котуйканской и бурдурской свит ( $R_1$ ).

Детальные температурные чистки образцов пород интрузивных тел выявили наличие четко интерпретируемого палеомагнитного сигнала во всех точках опробования, кроме одной. В составе ЕОН уверенно выделяются низкотемпературная (современная) и высокотемпературная (характеристическая, 250°-580°С) компоненты намагниченности. Характеристическая компонента имеет как прямую, так и обратную полярность, причем в нескольких исследованных телах обе полярности выделяются одновременно. Важно отметить, что в ряде образцов выделяются две практически противоположно направленные компоненты намагниченности, что, как и в случае намагниченности образцов долины реки Джогджо, может указывать на частичное самообращение намагниченности.

При исследовании образцов из интрузивных тел долины реки Фомич с помощью микрозонда «Camebax» были обнаружены высокотемпературно окисленные зерна титаномагнетитов. Показано, что хотя процессы вторичного изменения затронули краевые части некоторых зерен, основная часть титаномагнетитовых зерен остается неизмененной. Этот факт позволяет надеяться на сохранность палеомагнитного сигнала. Микроструктурный геотермометр (*Гапеев, Цельмович, 1986*) указывает, что ламели магнетита (или низкотитанистого титаномагнетита), судя по их размеру (0.3-0.7 мкм), формировались при температуре около 600°С, что является доводом в пользу термоостаточной природы исследуемой намагниченности.

Осадочные породы бурдурской и котуйканской свит также несут четкий палеомагнитный сигнал. Намагниченность образцов двухкомпонентная: выделяются низкотемпературная современная компонента и высокотемпературная характеристическая компонента (560-685°C). В трех обнажениях, на контактах интрузивных тел и пород бурдурской и котуйканской свит, был проведен тест обжига, показавший, что при сходстве направлений характеристических компонент намагниченности интрузий и обожженных ими пород, они обе заметно отличаются по направлению от вмещающих их осадочных толщ (тест положительный).

Кривые зависимости магнитной восприимчивости (k), термонамагниченности ( $J_{rt}$ ) и отношения  $J_n/J_{n-max}$  от температуры свидетельствуют, что главными носителями намагниченности в образцах из изученных районов Анабарского поднятия являются магнетит и низкотитанистый титаномагнетит в магматических породах, а магнетит и гематит – в осадочных породах.

Доводами в пользу первичности намагниченности исследованных интрузивных тел являются: (а) указания на частичное самообращение намагниченности, (б) наличие двух противоположно направленных компонент намагниченности, (в) выдержанность выделенных компонент намагниченности на значительном удалении, (г) положительный тест обжига, (д) наличие зерен титаномагнетита со структурами высокотемпературного окисления, что указывает на вероятную термоостаточную намагниченность этих зерен, (е) отличие полученного полюса интрузивных тел от более молодых полюсов Сибирской платформы. Палеомагнитный полюс интрузий реки Фомич (табл. 3, рис. 3) лежит относительно недалеко от полученных ранее мезопротерозойских полюсов Ангаро-Анабарского блока и полюса интрузивных тел Западного Прианабарья.

В силу геологической ситуации, обоснование первичности намагниченности осадочных пород бурдурской и котуйканской свит ограничивается (а) выдержанностью выделяемых компонент в удаленных обнажениях и (б) отличием палеомагнитных полюсов этих свит от более ранних полюсов Сибирской платформы. Палеомагнитные полюсы бурдурской и котуйканской свит (табл. 3, рис. 3) лежат в той же области Тихого океана, что и полученные ранее мезопротерозойские полюсы Сибири.

#### Глава 5. Палеомагнетизм рифейских отложений Учуро-Майского района.

В Учуро-Майском районе, в долинах рек Мулам, Идюм, Алгама, Гонам, Учур, Б.Аим и Аим, были проведены геологические и палеомагнитные исследования осадочных пород учурской серии ( $R_1$ ). Гонамская свита опробована в 10 обнажениях; омахтинская свита – в 7 обнажениях, в том числе стратотипическом разрезе; эннинская свита была опробована в двух обнажениях (в т.ч. в стратотипе). Кондёрская свита ( $R_2$ ?) была опробована в четырех обнажениях (по описаниям в работе (*Семихатов и Серебряков*, *1983*)).

Гонамская свита. В образцах из опробованных обнажений гонамской свиты, несмотря на преобладающее низкое качество палеомагнитного сигнала, удалось выделить компоненты ЕОН. В большинстве случаев выделяются низкотемпературная (современная) и высокотемпературная компоненты намагниченности. Последняя выделяется в интервале 250-670°С и имеет как прямую, так и обратную полярность. Направления выделенных характеристических компонент 9 обнажений гонамской свиты кучно группируются вокруг их среднего значения.

Направление высокотемпературной компоненты намагниченности выдержано от разреза к разрезу, расстояние между которыми достигает 150 км. Эти факты, а также отличие полученного палеомагнитного полюса от более молодых полюсов Сибирской

платформы, являются доводами в пользу древности намагниченности пород гонамской свиты.

Омахтинская свита. ЕОН пород омахтинской свиты представлена одной, двумя и тремя компонентами. В коллекции выделяются следующие компоненты намагниченности: высокотемпературная компонента «Om-B» (до 680°C), выделяемая в пяти обнажениях; среднетемпературная компонента «Om-A» (до ~615°C), выделяемая в двух обнажениях; среднетемпературная компонента «Om-C» (520-630°C) (обнаружена в одном обнажении) и высокотемпературная компонента «Om-C» (540-690°C), также выделяемая лишь в одном обнажении.

В силу геологических условий района исследований можно привести лишь несколько доводов в пользу омахтинского возраста компоненты «Om-B»: (a) она, в отличие от всех остальных компонент, выделяется в пяти изученных обнажениях, находящихся на расстоянии порядка 100 км друг от друга; (б) рассчитанный по среднему направлению компоненты «Om-B» палеомагнитный полюс лежит близко к полюсу гонамской свиты, что выглядит логично, принимая во внимание отсутствие перерыва в осадконакоплении между гонамской и омахтинской свитами; (в) полюс компоненты «Om-B» отличается от более молодых полюсов Сибири.

Компоненты намагниченности «Om-A», «Om-C» и «Om-30» выделяются в отдельных обнажениях или в близко расположенных сайтах. Возможно, они обязаны своим происхождением неким перемагничивающим событиям, локально проявившихся в конкретных обнажениях. Полюсы этих компонент расположены до области развития позднемезопротерозойских полюсов Сибири (табл. 3, рис. 3), что, возможно, указывает на возраст перемагничивающих событий.

В шести изученных обнажениях гонамской и омахтинской свит уверенно выделяются две высокотемпературные компоненты намагниченности, обозначенные «J-60» и «West». В большинстве образцов эти компоненты единственные (за исключением низкотемпературной современной компоненты намагниченности) и имеют одну полярность. Полюс компоненты «West» лежит в области нахождения полюсов интрузивных тел Анабарского поднятия, а полюс, соответствующий компоненте «J-60», находится в непосредственной близости к полюсу тоттинской свиты (Павлов, 1992). Указанные компоненты являются, по всей видимости, результатом регионального перемагничивания, возраст которого может быть оценен как мезопротерозойский.

**Эннинская свита**. ЕОН всех образцов представлена либо современной компонентой намагниченности, либо крайне шумным сигналом.

Кондёрская свита. Из четырех опробованных обнажений лишь в двух, разнесенных на 40 км, оказалось возможным выделить компоненты намагниченности. ЕОН образцов из этих обнажений представлена двумя компонентами – низкотемпературной современной (до 240°C) и четкой высокотемпературной характеристической (400-700°C). В двух других обнажениях породы либо перемагничены современным магнитным полем, либо направление стабильной компоненты намагниченности, выделенное в отдельных образцах, распределено хаотично.

Указаниями на древность намагниченности кондёрских отложений следует считать (а) выдержанность направления компоненты намагниченности в удаленных обнажениях; (б) наличие векторов намагниченности прямой и обратной полярности, а также



**Рисунок** 3. Полученные в этой работе мезопротерозойские палеомагнитные полюсы Сибири и предложенная конфигурация палеомезопротерозойского участка кривой КМП. Цифрами обозначены наиболее надежные полюсы из прежде опубликованных.

(в) отличием полюса (табл. 3, рис. 3), соответствующего среднему направлению намагниченности, от более молодых полюсов Сибири.

Необходимо заметить, что полученное направление намагниченности изученных пород, изначально относимых нами к нижним слоям тоттинской свиты, существенно отличается от ожидаемого направления тоттинской свиты (*Павлов*, *1992*). Этот факт следует рассматривать как сильный довод в пользу высказывавшейся ранее точке зрения о том, что кондёрские слои следует относить к более древнему временному уровню (эннинскому?, талынскому?) чем тот, к которому относится тоттинская свита (*Нужнов С.В.*, *1967; Потапов С.В. и др.*, *1974*).

Объект		Точка	Точка отбора Палеомагнитный полюс (* – с поправ					вкой)			
		φ	λ	N (S)	Φ	٨	dp/dm	<b>φ</b> m	Qv	Φ*	۸*
Анабарское под	нятие:										
западный склон:		70°25′	104°08′	122 (10)	24.5	236.0	7.6/14.5	10.8	5	-13.4	32.7
северн	ый склон:										
- И	нтрузивы	71°30′	106°30′	77 (11)	18.9	256.9	5.0/9.9	2.7	6	-9.5	51.6
- котуйканс	кая свита	71°40′	108°02′	16 (2)	-2.3	275.9	5.4/9.2	-20.3	3	8.5	74.7
- бурдурская свита		71°19′	107°02′	20 (1)	2.5	270.6	1.9/3.5	-15.4	3	4.6	68.6
Учуро-Майский район:											
гонамская свита		57°00′	131°15′	59 (9)	32.1	273.6	4.3/8.5	4.6	5	-32.1	93.6
	"Om-A"	56°29′	131°45′	31 (2)	-10.3	275.5	3.2/4.4	-35.9		10.3	95.5
омахтинская	"Om-B"	57°00′	132°00′	16 (5)	23.7	265.4	2.9/5.8	-0.3	3	-23.7	85.4
свита	"Om-C"	57°23′	131°14′	10 (1)	9.4	279.5	3.8/6.7	-18.4		-9.4	99.5
	"Om-30"	58°22′	133°18′	16 (1)	-5.6	245.2	2.0/3.7	-16.1		5.6	65.2
омахтинская и	"West"	57°00′	132°00′	17 (3)	2.7	227.8	2.7/5.3	-0.9		-2.7	47.8
гонамская	"J-60"	57°00′	132°00′	19 (4)	-27.6	251.4	4.9/6.6	-38.7		27.6	71.4
кондёрская свита		58°05′	133°19′	22 (2)	2.2	266.3	5.6/9.7	-19.2	4	-2.2	86.3

Таблица 3. Палеомагнитные полюсы исследованных мезопротерозойских объектов Сибирской платформы.

**Подпись к таблице**:  $\varphi$ ,  $\lambda$  – широта и долгота (средние) объекта; N – число образцов, S – кол-во сайтов;  $\Phi$ ,  $\Lambda$  – широта и долгота палеомагнитного полюса; dp/dm – величины полуосей овала доверия;  $\varphi_m$  – палеоширота;  $Q_v$  – надежность согласно (Van der Voo, 1990).

\* – полюсы с поправкой за раскрытие Вилюйского рифта и инвертированные в соответствии с выбором альтернативной полярности палеомагнитных направлений (см. текст).

## Глава 6. Палеотектоническая интерпретация результатов палеомагнитных исследований.

#### 6.1. Оценка надежности полученных результатов.

В соответствии со схемой, предложенной Ван дер Ву (*Van der Voo, 1990*), проведена оценка надежности полученных в настоящей работе палеомагнитных полюсов, соответствующих выделенным первичным компонентам намагниченности (таблица 3, параметр *Q<sub>v</sub>*).

# 6.2. Сегмент КМП Сибирской платформы с конца раннего протерозоя по начало позднего рифея.

Отобранные палеомагнитные данные были объединены с полученными в настоящей работе по Алданскому и Ангаро-Анабарскому блокам Сибирской платформы. В отличие от работы (Диденко и др., 2004), в выборку не вошли следующие полюсы: а) полюс анортозитов Джугджурского массива, в силу неопределенности в возрасте соответствующей компоненты намагниченности (*Михайлова и др., 1994*); б) полюс габбродиабазовой интрузии, полученный Камышевой (*ПНиППП, 1984*), по причине малой статистики (12 образцов из 1 обнажения) и вероятности того, что возраст этой интрузии превышает время консолидации Сибирского кратона; в) полюс малокосинской свиты (*Диденко и др., 2004*), из-за сложной тектонической истории и значительной дислоцированности пород в местах отбора образцов, создающих предпосылки для получения смещенной оценки положения полюса; г) полюс дайки голоустинского выступа фундамента (*Диденко и др., 2004*), поскольку имеются сведения об ее палеозойском возрасте (*Д.П.Гладкочуб, у.с.*). Прошедшие селекцию палео-мезопротерозойские палеомагнитные полюсы Сибири перечислены и изображены на рис. 3.

Данные по Ангаро-Анабарскому блоку были скорректированы за раскрытие Вилюйской рифтовой системы – произведен поворот анабарских полюсов и полюса шумихинских гранитоидов вокруг 117° в.д. и 62° с.ш. на 25° по ч.с., в соответствие с работами (Павлов и Петров, 1997; Bachtadse et al., готовится к печати). В результате была предложена модель кривой кажущейся миграции полюса Сибирской платформы с конца раннего протерозоя по начало позднего рифея (рис. 3).

Кривая начинается в северных приэкваториальных широтах вблизи 280° в.д. Практически точное совпадение трех полюсов, полученных по метаморфическим породам фундамента Алданского и Анабарского блоков, позволяет уверенно фиксировать прохождение кривой в этой области. Эти полюсы рассматриваются как отражающие направление геомагнитного поля времени формирования Сибирской платформы и связанного с ним регионального метаморфизма, охватившего значительную часть платформы (Павлов, 2006). Далее кривая продолжается через полюсы чайской свиты, шумихинских гранитоидов, гонамской и омахтинской свит и уходит к полюсам кондёрской свиты, алданских интрузий. Затем кривая последовательно проходит через полюсы нижнерифейских осадочных пород Анабарского поднятия, полюсы интрузий Северного и Западного Прианабарья, даек долины р.Куонамки. Конец этого участка, маркируемый полюсом чиэресской дайки, находится относительно недалеко от полюса тоттинской свиты, что позволяет связать отрезки кривых кажущейся миграции полюса Анабарского и Алданского блоков и подвести синтетическую кривую к началу неопротерозойского тренда Сибири (Павлов и др., 2002). Полюсы вторичных компонент, выделенных в омахтинской и гонамской свитах, хорошо согласуются с предлагаемой синтетической кривой.

Предлагаемый вариант кривой КМП Сибирской платформы не претендует на точность в деталях, но, являясь фактически одним из самых первых обобщений сибирских палеомагнитных данных для интервала 1.9-1.0 млрд. лет, имеет своей целью выявить основные генеральные тенденции смещения палеомагнитного полюса Сибирской платформы в это время.

Рисунок 3 демонстрирует, что анабарские мезопротерозойские палеомагнитные полюсы лежат в стороне от учуро-майских полюсов. Это указывает на неодновременность образования изученных рифейских отложений названных регионов и, в частности, на существенную разницу в возрасте пород учурской серии (*R*<sub>1</sub>) Учуро-Майского района и пород бурдурской и котуйканской свит (*R*<sub>1</sub>) склонов Анабарского поднятия.

Полюсы интрузивных тел Северного и Западного Прианабарья лежат близко друг от друга, однако их различие статистически значимо. Эти данные являются прямым указанием на то, что магматические события, связанные с внедрением этих тел, происходили неодновременно, но в относительно близкие интервалы геологической истории около 1.5 млрд. лет назад.

#### 6.3. Основные черты миграции палеомагнитного полюса Лаврентии в протерозое: сопоставление взглядов и компиляция данных.

В главе рассмотрены палеомагнитные полюсы Лаврентии для интервала 1.9-0.9 млрд. лет. Анализ имеющихся палеомагнитных данных показывает, что, несмотря на значительные усилия, направленные в последние десятилетия на изучение палеомагнетизма докембрия Северо-Американского кратона, представления о форме лаврентийской кривой КМП все еще находятся в стадии становления. При этом существуют отдельные интервалы времени, для которых количество имеющихся полюсов крайне мало, либо получаемые данные противоречивы. Тем не менее, исходя из простых критериев надежности и принимая во внимание выводы исследований (*Pesonen et al., 2003; Irving et al., 2004; Buchan et al., 2000; Weil et al., 2003, 2004*), в работе предлагается последовательность палеомагнитных полюсов Лаврентии, которая отражает основные черты ее дрейфа в рассматриваемом временном интервале, и которая может быть использована, в частности, для тестирования гипотезы палео-мезопротерозойского суперконтинента.

#### 6.4. Сибирская платформа и Лаврентия в позднем протерозое.

На рисунке 4 представлены кривые КМП Сибири и Лаврентии для интервала времени 1.9-0.9 млрд. лет. Анализ этих кривых показывает, что их возможно согласовать, однако согласованность может быть достигнута только в том случае, если палеомагнитные полюсы Сибири будут взяты с использованием «нетрадиционной» опции полярности палеомагнитных направлений. Обоснованность такого выбора подтверждается последними данными, полученными по позднему докембрию Сибирской платформы (*Shatsillo et al., 2005; Shatsillo et al., 2006*). Полюс Эйлера, наилучшим образом совмещающий кривую КМП Сибири с кривой Лаврентии в современных ее координатах, расположен на 73° с.ш., 110° в.д., угол поворота составляет 165° против часовой стрелки.

На рисунке 5 изображена последовательность географических положений Сибири и Лаврентии во временном интервале 1.85-0.9 млрд. лет. Так, с начала раннего рифея (гонамское время) по конец среднего рифея (малгинское время) Сибирская платформа испытала горизонтальные перемещения из приэкваториальных широт южного полушария к средним широтам северного, повернувшись при этом относительно меридиана на угол ~50° против часовой стрелки. Важно отметить, что за это время (~500-600 млн. лет) сибирский палеомагнитный полюс сместился на расстояние более 60° дуги большого круга, что близко по масштабу смещению палеомагнитного полюса за последние 400 млн. лет фанерозоя. Это обстоятельство указывает на то, что в среднем скорость перемещения тектонических плит в мезопротерозое была того же порядка, что и в фанерозое.

Рисунок 5 иллюстрирует координацию перемещений Сибири и Лаврентии, проявляющуюся как в согласованном широтном перемещении кратонов, так и в их вращении

относительно меридиональной сетки. Существование такой координации является сильным доводом в пользу того, что Сибирь и Лаврентия на протяжении всего мезопротерозоя входили в состав единого суперконтинентального образования.



**Рисунок** 4. Наилучшее совмещение кривых КМП Сибири и Лаврентии для интервала времени 1.9-0.9 млрд. лет. Дж – интрузивы З.Прианабарья; Б – бурдурская свита; Кт – котуйканская свита; Кн – кондёрская свита; Ом – омахтинская свита; Гн – гонамская свита.



Рисунок 5. Реконструкция взаимных положений Сибири и Лаврентии 1850-950 млн. лет назад.

Важно отметить, что полученные данные для всего рассматриваемого временного интервала допускают только такое взаимное расположение рассматриваемых кратонов, при котором Сибирь обращена своей современной юго-юго-восточной окраиной к современной северной окраине Лаврентии (Северной Америки). Этот вывод хорошо согласуется с геодинамическими реконструкциями, выполненными на основе анализа геологических данных Рейнбердом с соавторами (*Rainbird et al., 1998*), Фростом (*Frost et al., 1998*), Худолеем (*Khudoley et al., 2001*), а также с реконструкцией суперкратона Арктика, выполненной Конди (*Condie, 2002*).

#### Заключение.

Впервые на современном уровне выполнены региональные палеомагнитные исследования широкого круга ранне- и среднерифейских геологических объектов Сибирской платформы, часть из которых до сих пор не изучалась палеомагнитным методом. Полученные результаты имеют большое значение для восстановления тектонической истории Сибирского кратона в докембрии и позволяют существенно продвинуться в решении одной из важнейших задач палеомагнетизма Сибири, заключающейся в построении кривой кажущейся миграции ее палеомагнитного полюса. Проведенные изыскания определяют направления дальнейших исследований, посвященных решению задач палеомагнетизма докембрия Сибирской платформы.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- 1. Пермо-триасовые палеомагнитные полюсы Стабильной Европы и Сибирской платформы значимо различаются. Наиболее вероятными причинами наблюдаемого систематического отклонения одновозрастных полюсов этих платформ следует считать занижение магнитного наклонения европейских данных и/или 10%-ый отрицательный вклад октупольной компоненты в геомагнитное поле на границе палеозоя и мезозоя.
- Большинство из изученных мезопротерозойских объектов Сибирской платформы сохранили запись древнего геомагнитного поля. На основе рассчитанных палеомагнитных полюсов и новых геохронологических данных предложена новая модель палеомезопротерозойского отрезка кривой кажущейся миграции полюса Сибирской платформы, заметно дополняющая и развивающая первую модель, представленную Диденко с соавторами (Диденко, Водовозов, 2004).
- 3. Палеомагнитные данные указывают на неодновременность образования нижнерифейских отложений Учуро-Майского и Анабарского районов, а также на то, что внедрение интрузивных тел Западного и Северного Прианабарья происходило неодновременно, но в относительно близкие интервалы времени около 1.5 млрд. лет назад.
- 4. Произведена серия реконструкций взаимного положения Сибири и Лаврентии в мезопротерозойское время. Показано, что палеомагнитные данные в первом приближении согласуются с имеющимися геологическими и геохронологическими данными (*Frost et al., 1998; Rainbird et al., 1998; Xydoneŭ, 2003*; и др.) и говорят в пользу существования трансдокембрийского суперкратона Арктика, включавшего в себя Сибирь и Лаврентию.

#### Список работ, опубликованных по теме диссертации.

1. Веселовский Р.В., И.Галле, В.Э. Павлов. Палеомагнетизм траппов долин рек Подкаменная Тунгуска и Котуй: к вопросу о реальности послепалеозойских относительных перемещений Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Физика Земли. №10. 2003. с. 78-94.

2. Веселовский Р.В., Галле И., Павлов В.Э. Палеомагнетизм траппов долин рек Подкаменная Тунгуска и Котуй: к вопросу о реальности послепалеозойских относительных перемещений Сибирской и Восточно-Европейской платформ. В кн.: Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. 2002. М.: ГЕОС. С.25-27.

3. Веселовский Р.В., Павлов В.Э., Петров П.Ю. Результаты палеомагнитных исследований магматических тел Западного Прианабарья. В кн.: Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. 2001. М.: ГЕОС. с.59-62.

4. Веселовский Р.В., Павлов В.Э. Палеомагнетизм гонамской свиты нижнего рифея Сибирской платформы // в сб. Современные вопросы геологии. М.: Научный мир, 2003. с.72-74.

5. Веселовский Р.В., Павлов В.Э. Новые палеомагнитные данные по раннему рифею Учуро-Майского района Сибирской платформы. В кн.: Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. 2003. М.: ГЕОС. С.13-15.

6. Павлов В.Э., **Веселовский Р.В.**, Шацилло А.В. Магнитостратиграфия опорного разреза ордовика среднего течения р.Ангары - еще один аргумент в пользу существования третьего фанерозойского суперхрона. В кн.: Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. 2003. М.: ГЕОС. С.57-60.

7. Веселовский Р.В. Тестирование предположения о дипольности геомагнитного поля на рубеже палеозоя и мезозоя в свете новейших палеомагнитных данных по траппам Сибирской платформы // в сб. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика и эксперимент (материалы международного семинара). Казань: изд-во Казанск. ун-та, 2004. с. 18-22.

8. Веселовский Р.В., Павлов В.Э. Новые палеомагнитные данные по рифейским интрузивным образованиям севера Сибирской платформы (предварительные результаты) // Геология и геоэкология: исследования молодых. Материалы XVI конференции молодых ученых, посвященной памяти членакорреспондента профессора К.О. Кратца. Под редакцией акад. РАН Митрофанова Ф.П. г.Апатиты, 15-18 ноября 2005 г. – Апатиты, 2005, с.15-18.

9. Веселовский Р.В. Новые палеомагнитные данные по рифейским геологическим объектам севера Сибирской платформы (р.Фомич) (предварительные результаты) // Области активного тектоногенеза в современной и древней истории Земли. Материалы XXXIX Тектонического совещания. Том 1.-М.:ГЕОС, 2006, с.83-86.

10. Pavlov V., Veselovskiy R., Shatsillo V. Unusual geomagnetic field behavior at Precambrian-Phanerozoic boundary? // Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 2006, EGU06-A-00489. EGU General Assembly 2006.

11. Веселовский Р.В. Сибирская платформа: от Колумбии до Родинии (в свете новых палеомагнитных и изотопных данных) // Материалы XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». Том II. — М.: Изд-во МГУ, 2006. С.50.

12. Veselovsky R.V., Gallet Y., Pavlov V.E. Paleomagnetism of Traps in the Podkamennaya Tunguska and Kotuy River Valleys: Implications for the Post-Paleozoic Relative Movements of the Siberian and East European Platforms // Physics of the Solid Earth. Vol.39. No.10. 2003. pp. 856-871.

13. Veselovskiy Roman. The new paleomagnetic data from the Siberian traps indicate the rigidity of the Northern Eurasian plate since Late Permian // 32nd IGC Florence 2004 - Scientific Sessions: abstracts (part 2), P.1120.

14. Veselovskiy R., Pavlov V. New paleomagnetic data for the Permian-Triassic Trap rocks of Siberia and the problem of a non-dipole geomagnetic field at the Paleozoic-Mesozoic boundary // Russian Journal of Earth Sciences. Vol. 8, No. 1, February 2006.

15. Veselovskiy R., Petrov P., Karpenko S., Kostitsyn Yu., Pavlov V. Paleomagnetic pole from Precambrian North Anabarian magmatic complex: new constraint on the Mesoproterozoic APWP of the Siberian platform // Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 2006, EGU06-A-00493. EGU General Assembly 2006.

16. Веселовский Р.В., Петров П.Ю., Карпенко С.Ф., Костицын Ю.А., Павлов В.Э. Новые палеомагнитные и изотопные данные по позднепротерозойскому магматическому комплексу северного склона Анабарского поднятия // Доклады Академии наук. т.410. №6. (в печати).

Российская			- шкала -	Международная				
540 650	V			Неопротерозой	542			
1000	R <sub>3</sub>			(Neoproterozoic)	1000			
1350	R <sub>2</sub>	$PR_2$		Мезопротерозой				
4050	R <sub>1</sub>		PR	(Mesoproterozoic)	1600			
1650			-					
1900	PR <sub>1</sub> <sup>2</sup>	PR₁		Палеопротерозой (Paleoproterozoic)				
2500	$PR_1^1$				2500			
	AI	$R_2$		<b>Неоархей</b> (Neoarchean)	2800			
3150				Мезоархей				
			AR	(Mesoarchean)	3200			
	AI	$R_1$		Палеоархей (Paleoarchean)	3600			
3800			<b>Эоархей</b> (Eoarchean)					