

*На правах рукописи*

МЕТЕЛКИН Дмитрий Васильевич

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУР ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ  
И РОЛЬ СДВИГОВОЙ ТЕКТониКИ  
ПО ПАЛЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

25.00.03 – геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук



НОВОСИБИРСК 2010

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН.

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук  
член-корреспондент РАН  
СКЛЯРОВ Евгений Викторович

доктор геолого-минералогических наук  
ДИДЕНКО Алексей Николаевич

доктор геолого-минералогических наук  
ПОЛЯНСКИЙ Олег Петрович

Ведущая организация: Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Защита состоится 12 октября 2010 г. в 10:00 час. на заседании диссертационного совета ДМ 003.067.01 при Учреждении Российской академии наук Институте геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения РАН, в конференц-зале.

Адрес: пр-т. Ак.Коптюга, 3, Новосибирск, 630090.

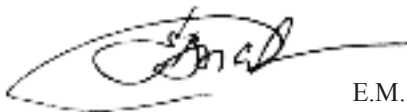
Факс: (383) 333-27-92

e-mail: vysotsky@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института.

Автореферат разослан 25 августа 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат геол.-мин. наук



Е.М. Высоцкий

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Объект исследования** - тектонические структуры Сибири на предмет определения палеогеографического положения составляющих их террейнов, кинематики горизонтальных перемещений в прошлом и выяснения роли сдвиговой тектоники на основных этапах эволюции коры Центральной Азии по палеомагнитным данным.

**Актуальность исследования** определена необходимостью поиска новых решений для повышения качества тектонических моделей, описывающих развитие геологических структур Центральной Азии. Палеомагнитные данные содержат количественную информацию о палеогеографическом положении и кинематике дрейфа террейнов, а значит, позволяют восстановить геологическую историю древних океанов и континентов даже на ранних этапах эволюции литосферы Земли. Недочет этой информации, часто из-за скудности данных, значительно снижает достоверность и обоснованность существующих моделей.

**Цель исследования** - выяснить соотношение Сибирского кратона с другими континентами и смежными структурами в неопротерозойско-фанерозойской истории и построить качественно новые тектонические модели эволюции коры Центральной Азии с количественной (палеомагнитной) оценкой палеогеографического положения и кинематики горизонтальных перемещений террейнов, составляющих их основу. Показать возможности палеомагнитного метода в реконструкции трансформно-сдвиговых систем различного масштаба.

### **Научные задачи:**

1. Выявить закономерности в распределении палеомагнитных полюсов для территории Сибирского кратона и террейнов его обрамления во времени и пространстве.

2. Дополнить отсутствующие отрезки в траектории кажущегося движения полюса (ТКДП) Сибирского кратона и обосновать тренды КДП террейнов, составляющих основу структур в его складчатом обрамлении.

3. Восстановить палеогеографическое положение и кинематику горизонтальных перемещений главных элементов реконструируемых тектонических систем в неопротерозое, палеозое и мезозое с использованием палеомагнитной основы.

4. Выполнить палеомагнитное обоснование известных моделей и создать качественно новые тектонические модели эволюции структур Центральной Азии.

5. Оценить роль сдвиговой тектоники на этапах роста и преобразования коры Центральной Азии.

**Фактический материал и методы исследования.** Теоретической основой являются концепция тектоники литосферных плит, гипотеза

центрального осевого диполя и принцип актуализма. Основным методом исследования является палеомагнитный, включающий стандартные методические приемы. Большая часть экспериментов проведена автором на аппаратуре Новосибирского палеомагнитного центра ИНГГ СО РАН, ряд определений получен в лабораториях Калифорнийского (г.Санта-Круз, США) и Лундского (г. Лунд, Швеция) университетов. Фактический материал собран в экспедициях в Кузнецком Алатау, Горном Алтае, Западном и Восточном Саянах, Енисейском кряже, Туве, Забайкалье, Кузнецком, Минусинском, Присаянском и Приверхоянском прогибах, на п-ове Таймыр и о-вах Северной Земли. Изучено более 100 геологических тел различного возраста, масштаба и генезиса, порядка 2000 ориентированных образцов, использованы материалы Мировой базы палеомагнитных данных “IAGA GPMDB”, а также большое количество опубликованных данных. Проведен сравнительный анализ и палеомагнитное тестирование более 10 моделей.

### **Защищаемые положения и результаты.**

1. В неопротерозое сдвиговые перемещения предопределили распад Родинии и океаническую стадию эволюции структур Центральной Азии. Неопротерозойский тренд КДП Сибири имеет характерную петлеобразную форму, сходную с ТКДП Лаврентии. Совмещение названных трендов показывает, что в начале неопротерозоя Сибирский кратон надстраивал Северо-Американский к северу таким образом, что его западная, в современных координатах, окраина являлась продолжением западной окраины Лаврентии. Дезинтеграция континентальных масс Сибири и Лаврентии и раскрытие океанического бассейна вдоль южной, в современных координатах, окраины Сибири проходили постепенно с востока на запад как результат сдвига.

2. В палеозое, на этапе роста континентальной коры Центральной Азии, сдвиговые перемещения играли определяющую роль, но механизм деформации на севере и юге подвижного пояса был различен. Трансформация структуры активной окраины на юге в Алтае-Забайкальском сегменте пояса в ходе ордовикской аккреции связана с дроблением коры и отставанием фрагментов первоначально единой островной дуги вдоль системы левых сдвигов на фоне общего вращения Сибирской плиты по часовой стрелке. На севере формирование покровно-чешуйчатой структуры Таймырского сегмента пояса обусловлено наличием крупноамплитудных трансформно-сдвиговых зон, по которым осуществлялось перемещение Карского микроконтинента к Сибири и его косое столкновение в конце палеозоя при вращении взаимодействующих плит в противоположных направлениях.

3. В мезозое структуры Центральной Азии, спаявшие Евразийский континент, не придали ему тектонической жесткости, напротив, являлись

местом концентрации сдвиговых деформаций. Палеомагнитные данные для территории Сибири имеют систематические отличия от данных для Европы, Китая и Монголии и по широте и по направлению палеомеридианов. Эти отличия - результат внутриплитных сдвиговых перемещений как отдельных тектонических элементов внутри подвижного пояса, так и всего ансамбля Сибирских структур, обусловленных поворотом Сибирской части континентальной плиты по часовой стрелке. Левосдвиговая кинематика внутриплитных перемещений сохранялась в течение всего мезозоя и по палеомагнитным данным уверенно фиксируется с триаса по мел.

### **Научная новизна и личный вклад.**

1. По результатам анализа палеомагнитных данных обоснован новый вариант неопротерозойского тренда КДП Сибири и проведено тестирование тектонических моделей, связанных с Родиной:

– опираясь на ключевые палеомагнитные полюсы, построена ТКДП, отличающаяся от известных более узкими интервалами интерполяции данных и существенно большим количеством реальных определений;

– исходя из принципа минимизации горизонтальных перемещений, дается иная интерпретация полярности установленных компонент намагниченности, что приводит к изменению представлений о кажущемся смещении неопротерозойских полюсов в направлении от современных координат Африки к Австралии;

– основываясь на сравнении с ТКДП Лаврентии и учитывая наличие характерной “гренивильской” петли, обоснована тектоническая связь и положение кратонов в составе Родины, реконструирован сдвиговый механизм раскрытия океанического бассейна вдоль южной окраины Сибири в ходе дезинтеграции суперконтинента.

2. Предложены оригинальные подходы к анализу и интерпретации палеомагнитных данных по палеозою Сибири и верифицированы модели эволюции коры Центральной Азии для этого времени:

– исходя из закономерности в распределении палеомагнитных полюсов кембрия, установлено положение террейнов Алтае-Забайкальской области в составе единой островной дуги и показано, что ордовикская трансформации структуры активной окраины при аккреции дуги к континенту - результат преобладающей сдвиговой тектоники;

– с использованием авторского тренда КДП обоснована террейновая история Карского блока и сдвиговый механизм его коллизии с Сибирью в конце палеозоя.

3. Построен позднемезозойский тренд КДП Сибири, который кардинально меняет традиционные представления о тектонической жесткости Евразийской плиты в это время:

– используя комплекс статистических и геологических критериев доказаны систематические различия в распределении палеомагнитных полюсов для территорий Европы и Сибири, которые обосновывают несостоятельность модели “Стабильной Азии” и синтетических трендов КДП Евразии как тектонически жесткого элемента в мезозое;

– опираясь на количественные оценки перемещений, показана определяющая роль сдвигов, которые в современных тектонических моделях эволюции коры Центральной Азии обычно не учитываются;

– на основе установленных различий в трендах КДП Сибирской, Европейской, Монголо-Китайской частей Евразии расширены и дополнены модели закрытия Монголо-Охотского бассейна и внутриплитной стадии эволюции коры Центральной Азии с учетом сдвиговых перемещений.

**Теоретическое и практическое значение.** Новые палеомагнитные определения и установленные закономерности - основа нетрадиционного взгляда на геологическую историю Центральной Азии и смежных территорий, новое решение фундаментальной проблемы тектоники складчатых поясов, эволюции континентальной коры. Палеомагнитный метод - геолого-геофизический инструмент, привлечение которого способствует повышению качества тектонических моделей и опровергает ряд геологических гипотез. Новые данные необходимо учитывать при тектонических построениях разного масштаба, включая тектонические и геодинамические карты, карты террейнов, а также разнообразные палеотектонические схемы и реконструкции. Восстановленные перемещения литосферных блоков могут иметь практическое применение при выяснении закономерностей формирования региональных тектонических структур и, соответственно, генезиса и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых.

**Апробация работы.** По теме опубликовано 80 научных работ, в том числе, авторские главы в 3 монографиях, 23 статьи в ведущих журналах по перечню ВАК. Результаты исследования обсуждались на совещаниях по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород (Обсерватория «Борок», 1996-2002), по проблемам геологии Сибири и Центральной Азии (Иркутск, 2003-2008, Томск, 1996, 2003, 2005, Новокузнецк, 1999, Тюмень, 2008), конференциях РФФИ (Новосибирск, 1996, Иркутск, 2002), Тектонических совещаниях (Москва, 2000, 2010, Новосибирск, 2004,), рабочем заседании INTAS-Europrobe (Санкт-Петербург, 2000), международном конгрессе “ГЕО-Сибирь-2008” (Новосибирск, 2008), семинаре по палеомагнитным исследованиям Гималаи-Каракорумского пояса и прилегающих территорий (Исламабад, Пакистан, 1996); сессиях AGU (Сан-Франциско и Бостон, США, 1998, 1999, 2001) и EGU (Страсбург, Франция, 2001); 8-ой ассамблеи IAGA (Упсала, Швеция, 1997), конференции

по Арктическим окраинам (Дартмунд, Канада, 2003), симпозиуме “Суперконтиненты и эволюция Земли” (Фримантл, Австралия, 2005), рабочем совещании IGCP-480 (Пекин, Китай, 2007), Геологических Конгрессах (Флоренция, Италия, 2004, Осло, Норвегия, 2008).

**Структура и объем работы.** Диссертация общим объемом 482 страницы состоит из введения, шести глав и заключения. Она включает 259 рисунков, 41 таблицу. Библиография содержит 798 наименований.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю признательность академику Н.Л. Добрецову, усилиями которого палеомагнитно–тектоническое направление в СО РАН создано и успешно развивалось, чьи советы и поддержка способствовали успешному проведению работ и современному состоянию Новосибирского палеомагнитного центра, способного конкурировать с лучшими зарубежными лабораториями. Неоценимую поддержку в становлении и развития палеомагнитных исследований оказал доктор геол.-мин. наук С.А. Тычков†, светлая память о котором жива в сердце автора. С особой теплотой автор благодарит чл.-корр. РАН В.А. Верниковского, инициатора и руководителя ряда крупных проектов по палеомагнитному изучению Сибири, соавтора цикла работ по палеомагнетизму и геотектонике региона. Выражаю признательность чл.-корр. РАН И.В. Гордиенко, чл.-корр. РАН Е.В. Склярову, оказавшим поддержку в разработке отдельных разделов и положений настоящей работы. Огромную поддержку в начинаниях по магнитотектоническому исследованию территории Сибири оказали Н.А. Берзин, Л.В. Кунгурцев. Особую благодарность хочется выразить доктору геол.-мин. наук А.Ю. Казанскому, воспитавшему меня как специалиста в области палеомагнетизма и магнитотектоники. Большое влияние на формирование научных взглядов автора оказали Д.М. Печерский, А.Н. Диденко, А.Н. Храмов, В.Э. Павлов, С.В. Шипунов, А.Ю. Гужиков, М.Л. Баженов, Г.А. Поспелова, которым автор искренне признателен. На разных направлениях и этапах исследования автор пользовался советами, рекомендациями и помощью российских и зарубежных геологов: В.В. Благовидова, О.К. Боголеповой (Швеция), А.С. Борисенко, М.М. Буслова, А.Е. Верниковской, А.Г. Владимирова, А.С. Гибшера, Д.П. Гладкочуба, А.П. Губанова (Швеция), А.Э. Изоха, В.С. Климук, Д.В. Козмина, В.А. Каширцева, В.А. Кравчинского (Канада), Н.Н. Крука, А.В. Лавренчука, Е.Ф. Летниковой, Н.Ю. Матушкина, О.Р. Мининой, Г.В. Полякова, А.А. Постникова, В.Ф. Проскурнина, В.А. Симонова, Ю.К.Советова, С.И. Ступакова, Г.С. Федосеева, Е.В. Хаина, В.А.Цельмовича, А.А. Юлдашева, а также Д. Джи (Швеция), Т. Торсвика (Норвегия), В. Пиис (Швеция), Х. Жао (США), Р. Коз (США), Т. Ватанабэ† (Япония), Ё.Фудживары (Япония), которым искренне признателен. Автор благодарен

коллегам – бывшим и настоящим сотрудникам палеомагнитной группы, соавторам работ: И.В. Белоносову, В.Ю. Брагину, П.А. Кизубу, А.С. Крамарову, Г.Г. Матасовой, Д.В. Митрохину, Н.Э. Михальцову. Особую признательность хочется выразить З.Л. Шмыревой за неоценимую помощь при проведении лабораторных исследований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ КАК МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРОШЛЫХ ЭПОХ**

Глава посвящена краткому описанию основ палеомагнетизма и магнетизма горных пород; стандартных приемов анализа палеомагнитных данных для решения тектонических вопросов; принципов построения палеотектонических реконструкций по палеомагнитным данным, проблем и неоднозначности интерпретации палеомагнитной информации; приемов построения и анализа ТКДП; возможностей и способов оценки сдвиговых перемещений по палеомагнитным данным. Изложенные материалы представляют авторскую компиляцию справочных сведений по геомагнетизму и магнитотектонике и ориентированы на специалистов в смежных областях геологии. Эти сведения необходимы для понимания фактурной части работ и обоснования сделанных тектонических выводов.

### **Глава 2. НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ ЭТАП ЗАЛОЖЕНИЯ ОКЕАНОВ И РАННЕЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

**2.1. Реорганизация континентальных масс в неопротерозое** связана с распадом Родинии. Несмотря на детальный анализ геологического материала, который позволил восстановить общую структуру и даже создать тектоническую карту [Li et al., 2008], обоснование Родинии не однозначное. Острым вопросом остается “архитектура” континента, в частности, положение Сибирского кратона. Предполагается соседствующее положение Сибири с Лаврентией, но их взаимная ориентировка самая разнообразная. Наиболее правдоподобной считается реконструкция, в которой Сибирский кратон отделен от Лаврентии неизвестным массивом, например, блоками Арктиды [Pisarevsky et al., 2008]. Авторы карты Родинии помещают Сибирь на довольно значительном расстоянии к северу от канадской окраины и ориентируют к Лаврентии южным бортом. Вопрос о динамике и времени распада Родинии стоит не менее остро. Раскол агломерата Сибирь-Лаврентия в основном связывают с рубежом 750 млн. лет. Неоднозначность интерпретации архитектуры не позволяет расшифровать эволюцию позднедокембрийских океанических бассейнов.

**2.2. Неопротерозойские геологические комплексы – индикаторы палеотектонического режима**, тяготеют к окраинам Сибирского кратона, формируя как осадочные последовательности шельфовых



бассейнов, так и магматические образования, генезис которых отвечает условиям спрединга и субдукции. Последние входят в состав складчатых поясов, окружающих кратон. Обзор сведений о структурном положении, составе, условиях формирования, возрасте комплексов показывает, что неопротерозойский интервал практически по всей периферии кратона связан с эволюцией океанических бассейнов, но время их заложения и этапы развития дискуссионны. К числу индикаторов тектонического режима, палеомагнитное изучение которых перспективно в связи с проблемой Родинии, можно отнести дайковые серии Учуро-Майского района [Павлов и др., 2002] и Саяно-Байкальской полосы [Гладкочуб и др., 2007]. Очевидно, перспективными являются островодужные серии Енисейского кряжа [Vernikovskiy et al., 2003] и Центрального Таймыра [Vernikovskiy, Vernikovskaya, 2001]. Эволюция этих орогенов отражает ранние стадии развития докембрийских бассейнов и опосредованно свидетельствует о положении кратона в Родинии. Важную информацию о палеогеографии и динамике дрейфа Сибири могут дать осадочные комплексы, распространенные практически повсеместно на окраинах кратона [Pisarevskiy, Natapov, 2003]. Недостатком этих индикаторов являются отсутствие точной возрастной привязки и многовариантность интерпретации условий формирования толщ.

**2.3. Палеомагнитная изученность неопротерозоя Сибири.** Первые определения появились в 60-80 годах и обобщены в каталогах Мирового центра данных «Б». Индекс достоверности большинства из них невысокий из-за несовершенства аппаратной базы того времени. Из числа определений, полученных за последние 20 лет, в мировой сети данных IAGA GPMDB находят отражение чуть более 20. Они характеризуют два относительно узких и дискретных интервала позднего докембрия: 1050–950 млн. лет и 650–540 млн. лет. Большая часть неопротерозоя представляет “белое пятно”. Из числа индикаторных комплексов хорошо изученными являются осадочные разрезы позднего мезопротерозоя Учуро-Майского региона и распространенные в них дайки, данные по которым заполняют первый из названных интервалов [Павлов и др., 2002] и приняты для реконструкции Родинии. Из-за отсутствия данных неопротерозойский интервал в широко используемом варианте ТКДП Сибири [Smethurst et al, 1998] является простой интерполяцией между сравнительно хорошо обоснованными палеозойскими и упомянутыми выше полюсами. Для неопротерозоя в качестве северных приняты полюсы, расположенные в южном полушарии и надстраивающие палеозойский тренд с востока. В принятой карте Родинии предполагается обратная полярность мезопротерозойских полюсов, а соответственно смещение полюсов в неопротерозое с запада [Метелкин и др., 2005].

#### 2.4. Палеомагнетизм неопротерозойских комплексов северной и юго-западной окраин Сибирского палеоконтинента.

*Породы островодужного комплекса Центрального Таймыра* изучены в восточной части аккреционной структуры пояса. В районе оз. Трех Сестер представлен комплекс, включающий кислые лавы, андезитбазальты, базальты и туфы, мелкие субвулканические тела габбро-диабазов. U-Pb данные указывают на возраст вулканизма  $961 \pm 3$  млн. лет, что на 200 млн. лет древнее известных вулканических проявлений. Вероятно, полученные цифры соответствуют наиболее раннему субдукционному этапу для длительно развивавшегося Центрально-Таймырского пояса. Установлено направление характеристической компоненты намагниченности (*ChRM*), происхождение которой на основании тестов складки и обращения предполагается первичным. Палеомагнитный полюс  $Plat=17.8$ ,  $Plong=326.8$   $A_{95}=4.0$  близок к одновозрастному полюсу для кратона [Павлов и др., 2002]: угловое расхождение около  $30^\circ$ , а широтное не более  $9^\circ$ . Таким образом, островная дуга вблизи таймырской окраины существовала уже в самом начале неопротерозоя, что исключает возможность сочленения Сибири с Лаврентией на этом участке, как предполагалось в классических схемах Родинии [Hoffman, 1991, Dalziel, 1992] и в соответствии с интерполяционной кривой КДП Сибири [Smethurst et al., 1998].

*Терригенно-карбонатные отложения карагасской серии Бирюсинского Присянья* изучены в среднем течении р. Бирюсы и по р. Уде [Метелкин и др., 2010]. Возраст толщи дискуссионный и на основании ряда фактов может быть оценен в интервале 800–720 млн. лет [Станевич и др., 2007]. Условия формирования осадков, несмотря на различие в интерпретациях, бесспорно, связаны с континентальной окраиной. В составе естественной остаточной намагниченности (NRM) установлено преобладание регулярной биполярной доскладчатой компоненты *A*. Наряду с ней широко представлена метакронная, синскладчатая компонента *B*. Палеомагнитный полюс по компоненте *B*:  $Plat=-41.9$   $Plong=150.4$   $A_{95}=8.4$ , совпадает с кембрийско-ордовикским участком ТКДП Сибири [Cocks, Torsvik, 2007]. Проявление синхронных этому интервалу термальных преобразований в Присянье достоверно фиксируется изотопными данными [Верниковская и др., 2004; Туркина и др., 2007] и может быть сопоставлено с раннекаледонским этапом роста коры в обрамлении кратона. Отсутствие статистически значимых различий в положении полюсов по компоненте *A*:  $Plat=4.2$   $Plong=292.1$   $A_{95}=6.2$  для базальной и кровельной части серии, вероятно, отражает интенсивность осадконакопления в течение сравнительно короткого промежутка времени между 800 и 720 млн. лет.

**Субвулканические интрузии нерсинского комплекса в Бирюсинском Присянье** повсеместно прорывают отложения карагасской серии и породные ассоциации древнего основания. Интрузии варьируют по мощности до десятков метров, образуют субпластовые и секущие тела. По химическому составу породы соответствуют субщелочным базальтам и андезитобазальтам и рассматриваются в качестве индикаторов режима растяжения [Гладкочуб и др., 2007]. Результаты Ar-Ar датирования свидетельствуют, что основной этап становления даек  $741 \pm 4$  млн. лет [Gladkochub et al., 2006]. Установлено присутствие в NRM пород двух регулярных компонент: *A* и *B* [Метелкин и др., 2005]. Компонента *B* не отличается от одноименной компоненты во вмещающих породах карагасской серии. Первичный генезис характеристической компоненты *A* обоснован тестами отжига, обращения и складки. Исходя из координат палеомагнитных полюсов, можно заключить, что в момент внедрения нерсинских интрузий Сибирская плита находилась непосредственно в экваториальном секторе, переместившись с карагасского времени в северном направлении более чем на 2500 км.

**Интрузии нерсинского комплекса Шарыжалгайского выступа** считаются аналогами бирюсинских [Гладкочуб и др., 2007]. Химический состав пород соответствует базальтам нормальной и умеренной щелочности. Цифры Ar-Ar  $758 \pm 4$  млн. лет [Гладкочуб и др., 2000] и Sm-Nd  $743 \pm 47$  млн. лет [Sklyarov et al., 2003] датирования не отличаются от возраста бирюсинского петротипа. Петромагнитные характеристики долеритов, изученных в среднем течении р. Китой, также не отличаются от бирюсинских. Фиксируется присутствие типичных компонент *A* и *B*. Однако в NRM пород одной дайки установлена характеристическая компонента *D*, отличная от *A* на  $90^\circ$  по склонению. По имеющимся сведениям [Эволюция..., 2006], распространенность таких интрузий большая. Генезис компоненты *D* не ясен. Координаты полюса  $Plat = -10.3$   $Plong = 58.9$   $A_{95} = 12.7$  могут быть сопоставлены с вендом Сибири [Kvavchinsky et al., 2001; Казанский, 2002] и связаны с перемагничиванием при формировании коры Приенисейского пояса [Верниковский, Верниковская, 2006]. Однако одновременного присутствия компонент *A*, *D* и *B*, что ожидаемо, исходя из такой магнитотектонической картины, в одном образце или хотя бы интрузии не описано. Не исключается первичная природа компоненты *D*, при условии различного возраста интрузий, ошибочно объединяемых в нерсинский комплекс. Признаки этого на примере бирюсинского поля обсуждаются [Gladkochub et al., 2006]. Возможно, компонента *D* отвечает первичной намагниченности для рубежа 610 млн. лет.

**Усть-ангарский дайко-силловый комплекс Енисейского кряжа** включает интрузии, распространенные среди довендских терригено-

карбонатных отложений сухопитской и тунгусикской серий в районе слияния рек Ангары и Енисея [Метелкин и др., 2007]. Их особенностью является малая (до первых метров) мощность. По химическому составу породы соответствуют низкощелочным и субщелочным базальтам. Редкоземельные и мультиэлементные спектры не отличаются от нерсинских [Лавренчук и др., 2005]. По косвенным признакам время формирования интрузий может быть ограничено интервалом 800 – 700 млн. лет, вероятно, одновременно с нерсинским комплексом. В половине интрузий установлена типичная метакхронная компонента *B*. Регулярная компонента *A*, которая по результатам тестов обращения и складки может быть первичной, отсутствует только в одной дайке. Таким образом, палеомагнитные данные подтверждают единство усть-ангарского события на Енисейском кряже и нерсинского – в Присяянье. Средний полюс по компоненте *A* усть-ангарского и нерсинского комплексов:  $Plat=18.4$   $Plong=311.0$   $A_{95}=5.6$ .

**Ранневендская островадужная серия Предивинского террейна** изучена на юге Енисейского кряжа [Метелкин и др., 2004]. Вулканогенные образования представлены дифференцированной известково-щелочной серией, включающей базальты, андезибазальты, дациты и риолиты. U-Pb и Ar-Ar данные ограничивают время формирования серии  $637 \pm 5.7$  млн. лет, а время аккреции дуги интервалом 620 – 600 млн. лет [Vernikovskiy et al., 2003]. Логично предполагать, что дуга находилась вблизи континента и их полюсы на 640 млн. лет различаются незначительно. В породах установлен мультикомпонентный состав NRM. Стабильная компонента, вероятно, имеет первичный генезис, о чем свидетельствует тест складки. Координаты полюса по этой компоненте:  $Plat=-8.2$   $Plong=7.7$   $A_{95}=4.7$ , соответствуют общему тренду вендских полюсов Сибири [Pisarevsky et al., 2000; Kravchinsky et al., 2001; Казанский, 2002; Shatsillo et al., 2005, 2006].

**2.5. Анализ совокупности палеомагнитных и геологических данных по мезо-неопротерозою Сибири.** Новые данные заполняют пробел в западном варианте неопротерозойского тренда КДП Сибири. Полюсы распределены в форме петли, наподобие “гринвильской” в ТКДП Лаврентии (рис. 1). Сходство в траекториях предполагает близкую кинематику и соседствующее положение кратонов в составе Родинии. Петлеобразная форма ТКДП описывает загибающуюся перемещение плиты сначала на юг с поворотом против часовой стрелки, а затем обратно на север до сопоставимых широт с поворотом по часовой стрелке. Причем скорость дрейфа составляет в среднем 2 – 3 см/год, а вращение не превышает 1°/млн. лет. Совмещение позднемезопротерозойских участков ТКДП достигается эйлеровым поворотом на 150° вокруг точки 77°с.ш. 115°в.д, что обосновывает сочленение южного фланга Сибири с северной окраиной Лаврентии, как предполагалось ранее [Rainbird et al., 1998]. При этом

среднепротерозойские (850 – 750 млн. лет) сегменты ТКДП сдвинуты вдоль широты на расстояние до 50° (рис. 1). Этот факт обосновывает функционирование между Сибирским и Северо-Американским кратонами сдвиговой зоны правосторонней кинематики [Метелкин и др., 2007]. Полное разделение континентов может соответствовать интервалу 750 – 700 млн. лет, далее кинематика плит существенно различается.

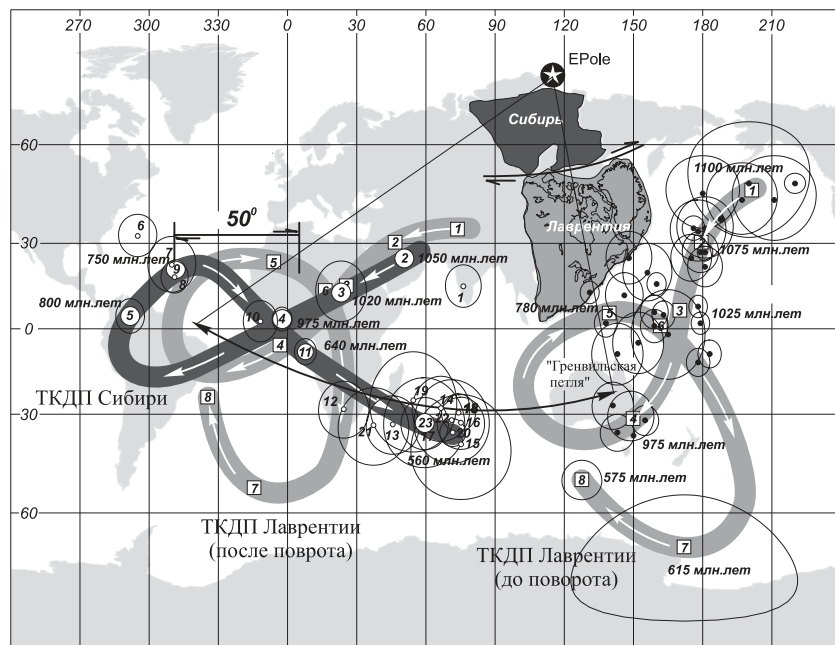


Рис. 1. Сопоставление непротерозойских интервалов ТКДП Сибири и Лаврентии. Белые точки соответствуют полюсам Сибири, кружками показаны ключевые полюсы: 1 - св. линок [Gallet et al., 2000]; 2 - малгинская св. [Gallet et al., 2000]; 3 - лахандинская сер. [Павлов и др., 2000]; 4 - уйская серия и силлы [Павлов и др., 2002]; 5 - карагасская сер. [Метелкин и др., 2010]; 6 - нерсинский к-с Шарыжаалагайского выступа [н.р.]; 7 - нерсинский к-с Бирюсинского Присяянья [Метелкин и др., 2005]; усть-анагарский к-с [Метелкин и др., 2007]; 9 - среднее по 6-8; 10 - ранневендские песчаники Прибайкалья [Pisarevsky et al., 2000]; 11 - предивинский к-с [Метелкин и др., 2004]; 12 - аleshинская св. [Шашилло, 2006]; 13 - вендские карбонатные породы Игарского р-на [Казанский, 2002]; 14 - вендские карбонатные породы Лена-Анабарского р-на [Казанский, 2002]; 15 - айсинская св. [Shatsillo et al., 2006]; 16 - тасеевская сер. [Shatsillo et al., 2006]; 17-20 - вендские осадочные породы Прибайкалья, Присяянья и Ен.Кряжа, “аномальное” (недипольное) поле, по представлениям авторов определения [Shatsillo et al., 2005, 2006]; 21 - миньская св. [Kravchinsky et al., 2001]; шаманская св. [Kravchinsky et al., 2001]; 23 - среднее по 12-22. Черными точками показаны полюсы Лаврентии [McElhinny, McFadden, 2000], белыми квадратами показаны ключевые полюсы Лаврентии; EP - полюс Эйлера, поворотом вокруг которого достигается совмещение трендов КДП и показанное положение Лаврентии относительно Сибири (в координатах Сибири).

## 2.6. Палеотектоническая модель распада Родинии и роль сдвигов.

Основные черты архитектуры Родинии (рис. 2) заимствованы [Li et al., 2008]. Авторским вкладом является положение системы Сибирь – Лаврентия.

Около 950 млн. лет назад Сибирский кратон формирует “гигантский полуостров” [Pisarevsky et al., 2008] на северо-востоке Родинии, находясь в экваториальной области. Континент испытывает южный дрейф с поворотом против часовой стрелки. Такая кинематика способствует “расползанию” массива. Наиболее сильное вращение испытывают кратоны В.Гондваны, находящиеся на западной периферии, а Сибирский кратон “отстает” от общего движения и сдвигается вправо от Лаврентии, которая составляет относительно стабильное ядро. Предположительно 850 млн. лет н. суперконтинент достиг наиболее южного положения и начал двигаться на север. Для Сибири смена направления дрейфа отмечается на ~ 50 млн. лет позднее, чем для Лаврентии. В это время обстановка сдвига, обусловленная встречным движением плит, преобладает. Меняется направление вращения плит. Как следствие, на фоне сдвигов на юго-востоке Сибирского кратона возникают условия интенсивного растяжения. Рубеж 750 млн. лет связан с завершением распада. К этому моменту Сибирский кратон, продолжая испытывать трансформно–сдвиговое смещение, уже полностью отделен от Лаврентии, либо же связан с ней только юго-западным краем. Положение континентальных масс вновь отвечает низкими широтами, как при формировании Родинии.

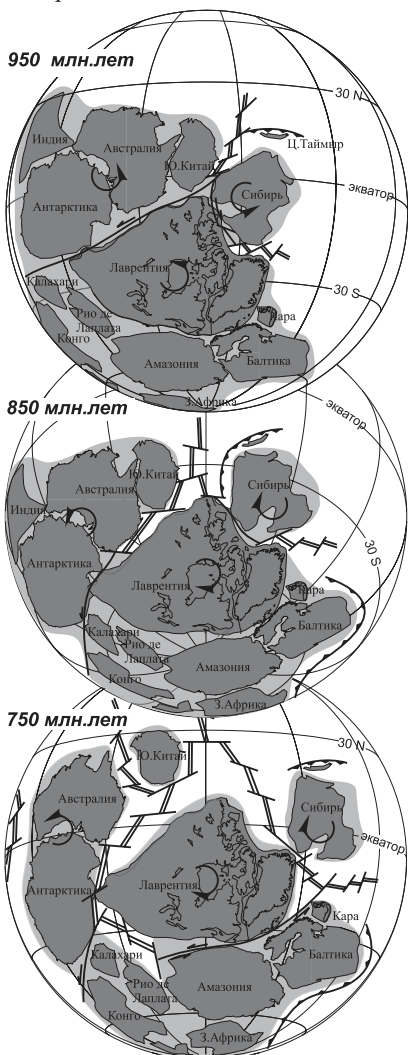


Рис. 2. Палеотектоническая модель эволюции Родинии в неопротерозое.

## Глава 3. РАННЕПАЛЕОЗОЙСКИЙ ЭТАП ЭВОЛЮЦИИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОГО КРАТОНА

### 3.1. Тектоническое строение Алтае-Забайкальской области.

Раннепалеозойский этап отвечает процессам роста континентальной коры на юго-западе Сибирского кратона вследствие реорганизации тектоники докембрийских океанических бассейнов. Раннекаледонская фаза связывается с аккрецией венд-кембрийских островных дуг, фрагменты которых формируют структуру Горного Алтая, Салаира, Кузнецкого Алатау, Западного Саяна, а также Джидинской, Еравнинской и других систем. Фактически Алтае-Забайкальская область представляет коллаж островодужных террейнов, большинство из которых имеет венд-кембрийский возраст [Добрецов и др., 2005]. Отличительной чертой является торцевое сочленение региональных элементов, что обусловлено сдвиговой тектоникой в ходе аккреции и после формирования основной структуры области. Внутреннее строение большинства террейнов также обязано деформациям, проходившим в режиме сдвига.

**3.2. Обзор моделей раннепалеозойской эволюции окраины Сибирского кратона.** Для сравнительно короткого, но насыщенного событиями интервала позднего венда – раннего ордовика насчитывается более десятка моделей [Şengör et al., 1993; Диденко и др., 1994; Кунгурцев и др., 2001; Buslov et al., 2001; Гордиенко, 2006 и др.]. Несмотря на обширную базу палеомагнитных данных, неоднозначность их толкования, связанная с неопределенностью долготы и полярности при субэкваториальном положении террейнов, порождает множество равно обоснованных моделей, концепции которых кардинально отличаются. Основные отличия связаны с пространственным положением террейнов и кинематикой аккреционного процесса. Решение проблемы видится не столько в увеличении количества палеомагнитных данных, сколько в поиске однозначно интерпретируемых закономерностей в распределении палеомагнитных полюсов кембрия анализируемой тектонической системы.

### 3.3. Палеомагнетизм раннепалеозойских островодужных комплексов юго-западного обрамления Сибирского кратона.

*Западносаянский террейн* включает V–Є комплексы островной дуги. Они составляют два крупных фрагмента. Во фронтальной части Северосаянского фрагмента развиты комплексы аккреционной призм, представленные терригенными породами с прослоями базальтов, туфов, мраморов, а также пластинами офиолитов. Латеральный ряд на север наращивают турбидиты и далее комплексы вулканической дуги. V–Є<sub>1</sub> интервал характеризуется толеитовым магматизмом (нижнемонокская св.), который на рубеже 520 млн. лет сменяется дифференцированной серией (верхнемонокская св.). Этот комплекс перекрыт пестроцветной терригенной толщей арбатской св.,

образованной в результате его интенсивного размыва. Куртушибинский фрагмент отвечает фронтальной части дуги с большим участием океанических комплексов. Аналогом терригенной толщи, отмечающей этап разрушения дуги, являются  $E_{2-3}$  отложения аласугской св. Возраст стратонов обоснован фаунистически и изотопными данными [Руднев и др., 2005]. Результаты палеомагнитного анализа названных комплексов указывают на сохранность стабильной компоненты, возраст которой соответствует этапу их формирования [Казанский и др., 1999]. Синтез данных обосновывает приуроченность комплексов к единой дуге, ее приэкваториальное положение в кембрии, преобладающий субмеридиональный южный дрейф и предположение о сдвиге Куртушибинского фрагмента на юго-запад относительно Северосаянского [Берзин, 1995].

*Кузнецкоалатауский террейн* представлен совокупностью не менее пяти единиц, которые обладают своеобразным тектоническим стилем, но являются фрагментами единой палеоостровной дуги [Алабин, Калинин, 1999]. Изучено четыре из них: Золотокитатский, Кийский, Терсинский и Батеневский, сложенные преимущественно кембрийским субдукционным комплексом с характерным набором пород. Формация  $V-E_1$  отвечает толеитовой серии,  $E_{2-3}$  – дифференцированной серии с выраженным известково-щелочным составом и большим количеством пирокластики, формирование  $E_3-O_1$  моласс и щелочного вулканоплутонического комплекса соответствует этапу аккреции. Возраст обоснован изотопными данными [Владимиров и др., 1999, 2001, 2003]. Золотокитатский фрагмент отвечает фронтальной части дуги. Разрез единисской, большекитатской, черноосиповской и китатской свит сложен терригенными породами с подчиненным количеством вулканитов андезибазальтового состава и их туфов. Палеомагнитные данные указывают на приэкваториальное положение золотокитатской субдукционной зоны в кембрии [Метелкин и др., 2000]. Кийский блок отвечает фрагменту вулканической дуги. Базальтоиды усть-анзасской и чумайской свит соответствуют раннему этапу ее формирования, зрелая стадия отвечает вулканогенно-осадочной последовательности бериккульской св., терригенный разрез смировской св. является отражением размыва дуги. Установлено, что в кембрии Кийский фрагмент испытывал перемещение, которое может быть описано поворотом вокруг одного и того же полюса Эйлера [Казанский и др., 2003]. Аналогичная картина наблюдается для Батеневского блока, представленного комплексами тыловой части дуги. Здесь  $E_1$  включает вулканическую ассоциацию шипилинской и колодждальской свит, к  $E_{2-3}$  отнесены песчаники и туфы безымянной, сладкореньевской, батеневской свит. Все установленные палеомагнитные направления соответствуют плоскости большого круга, а полюсы образуют тренд, сопоставимый с ТКДП Кийского блока. Терсинский фрагмент



представлен ассоциациями вулканической дуги, которые к югу сменяются комплексами тылового бассейна. Изучение пород Среднетерсинского массива позволило охарактеризовать положение блока на рубежах 540 и 500 млн. лет [Казанский и др., 2003]. Синтез данных по Кузнецкому Алатау показывает, что структурный план региона обусловлен сдвиговыми перемещениями его фрагментов. Анализ трендов КДП позволяет восстановить южный дрейф дуги со скоростью 5-6 см/год, который сопровождался вращением по часовой стрелке. Величина перемещения фронтальной и тыловой частей дуги различная, что обуславливает сдвиговый механизм преобразования первоначальной структуры.

**Горноалтайский террейн** отличается многократным чередованием пластин, сложенных комплексами островной дуги, что обусловлено сдвиговой тектоникой, проявившейся как на раннекаледонском, так и герцинском этапах орогенеза [Буслов и др., 2003]. Западная часть (Ануйско-Чуйский прогиб) представлена терригенными комплексами преддугового бассейна с характерными флишевым и олистостромовым наполнением (горноалтайская сер.) [Буслов и др., 1998]. В центральной части доминируют комплексы аккреционной призмы и вулканической дуги. Характерными являются базальтоидные ассоциации Курайской зоны, где распространены V–E<sub>1</sub> спрединговые и типично-субдукционные (балхашская св.) образования. Аналогом последних в пределах Катунского поднятия являются базальты улус-чергинской св. В аккреционной призме широко распространены карбонатные толщи (баратальская св.), перекрывающие пиллоу-базальты (арыджанская, манжерокская св.), которые рассматривают в составе симаунтов [Сафонова и др., 2008]. Их столкновение с островной дугой 520 млн. лет н. отмечает начало зрелого этапа субдукционного магматизма [Buslov et al., 2002]. Свойственные известково-щелочные серии E<sub>2,3</sub> распространены на востоке в Уйменской-Лебедской зоне. Здесь же представлены осадочно-вулканогенные разрезы задугового бассейна. Палеомагнитные результаты по названным комплексам впервые опубликованы [Печерский и др., 1994] и детально обсуждались [Печерский, Диденко, 1995; Диденко, 1997]. При участии автора, они были незначительно переработаны [Казанский и др., 1998], а позднее существенно дополнены [Казанский, 2002]. Приводятся результаты исследования в интерпретации автора, которая несколько отличается от взглядов десятилетней давности. Данные свидетельствуют, что Горноалтайский террейн, является частью Кузнецкоалатауской островной дуги и преобразование его первоначальной структуры описывается в рамках единого с ней сдвигового механизма.

**Еравнинский террейн.** Комплексы Байкало-Витимской системы, связывают с обстановкой раннепалеозойской активной окраины [Зорин и др., 2009]. Тыловая часть, представленная реликтами обширного

бассейна, рассматривается в составе Баргузинского и Икатского турбидитовых террейнов. Фронтальную часть формируют вулканогенно-осадочные комплексы Еравнинской островной дуги, локализованные среди поля гранитоидов Ангаро-Витимского батолита вдоль р. Уды. Выделяются лавовые, пирокластические и субвулканические фации, объединяемые в бассейне р. Ульдзутуй в олдындинскую св. [Гордиенко и др., 2010]. Изотопные данные обосновывают возраст вулканизма – 530 млн. лет [Булгатов и др., 2009]. К  $\text{Є}_{2-3}$  ранее относили преимущественно терригенный разрез химгильдинской св. Сегодня возраст и строение этого и других стратонов ставится под сомнение, что подтверждается “молодой” (~ 300 млн. лет) изотопией [Булгатов и др., 2009]. Однако позднепалеозойские толщи, представляя продукты переотложения, часто неотличимы от раннепалеозойских. Разрезы совмещены, что в условиях сложной обнаженности затрудняет их идентификацию и расчленение. Палеомагнитное изучение на примере Багдаринского прогиба обосновывает позднепалеозойский возраст багдаринской св. и позволяет предполагать позднекембрийский возраст ряда изученных обнажений химгильдинской (условно) св. в правобережье р. Витим [Метелкин и др., 2006]. Кажущийся дрейф кембрийских полюсов имеет те же закономерности, что установлены для островодужных террейнов Алтае-Саянского сектора. Это подтверждает их предполагаемое тектоническое единство.

**3.4. Синтез палеомагнитных данных по раннему палеозою Южной Сибири в приложении к сдвиговой тектонике.** Полюсы второй половины кембрия – ордовика занимают компактное пространство к югу от Австралии, а венд-раннекембрийские – вытянуты от них по дуге большого круга во внутренние области Африки (рис. 3). Центр круга  $61^{\circ}$  с.ш.,  $114^{\circ}$  в.д. близок к “центру” Сибирской плиты. Такая закономерность означает, что террейны представляли фрагменты единой островной дуги, а ее деформация связана со сдвигами, при которых они повернуты на различный угол (сдвинуты на различное расстояние). Величину углов рассчитать просто и реконструированная таким образом система “распрямляет” современную мозаику террейнов Алтае-Забайкальской области в линейную структуру. С другой стороны, достичь совпадения полюсов можно поворотом каждого блока вокруг соответствующей точки опробования. По сути, для совмещения полюсов используется серия больших кругов, среднее значение нормали к которым соответствует центру плиты (рис. 3). Однако тектоническое выражение этого иное и предполагает деформацию островной дуги в результате “вращения” ее фрагментов вокруг собственной оси без смещения друг относительно друга. Комбинация механизма общего сдвига, при котором возникают условия для сегментации, относительных перемещений фрагментов с их локальными поворотами представляется наиболее реалистичной.

Поскольку полюс Эйлера находится вблизи центра Сибирской плиты, логично предположить, что деформация структуры ее периферии обусловлена “отставанием” террейнов при общем вращении по часовой стрелке [Кунгурцев и др., 2001]. Из модели следует наличие левосторонних сдвигов на границе континентальной и океанической плит. Заложение разломов отвечает самому началу эволюции активной окраины, вероятно, в режиме косо́й субдукции. В результате первичные субдукционные зоны постепенно трансформировались в сдвиговые. Доминирующая роль

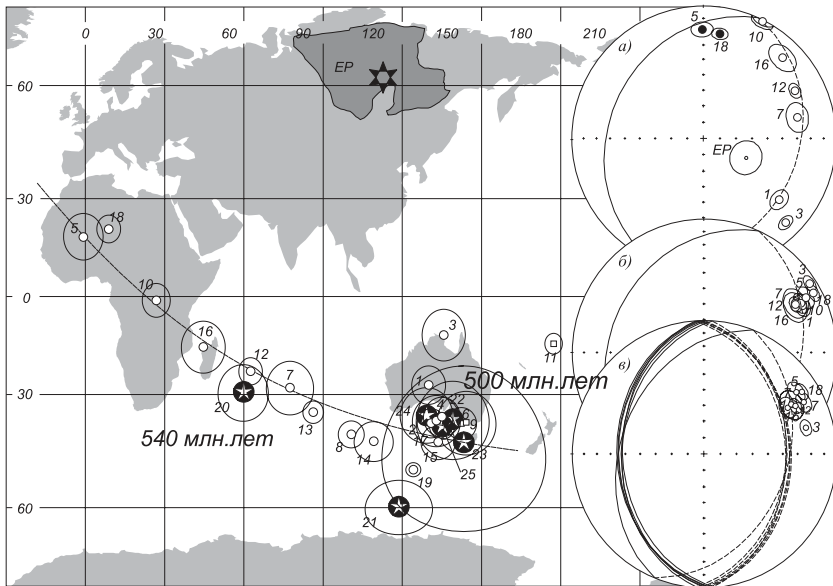


Рис. 3. Положение раннепалеозойских полюсов террейнов Южной Сибири.

1-2 - Куртушибинский: 1 - 540 млн. лет [Диденко и др., 1994], 2 - 500 млн. лет [Metoelkin et al., 1997]; 3-4 - Северооросаянский: 3 - 520 млн. лет [Казанский и др., 1999\*], 4 - 500 млн. лет [Метелкин, 1998]; 5-6 - Горноалтайский [Казанский и др., 1998]: 5 - 540 млн. лет, 6 - 500 млн. лет; 7-9 - Батеневский: 7 - 520 млн. лет [н.р.], 8 - 505 млн. лет [н.р.], 9 - 500 млн. лет [Метелкин и др., 2000\*]; 10-11 - Золотокитатский: 10 - 540 млн. лет [Метелкин, 1998\*], 11 - 500 млн. лет [Метелкин и др., 2000\*]; 12-15 - Кийский [Казанский и др., 2003]: 12 - 540 млн. лет, 13 - 510 млн. лет, 14 - 505 млн. лет, 15 - 480 млн. лет; 16-17 - Терсинский [Казанский и др., 2003]: 16 - 540 млн. лет, 17 - 500 млн. лет; 18-19 - Еравнинский [Метелкин и др., 2006]: 18 - 530 млн. лет; 19 - 500 млн.лет; звездочками показаны полюсы Сибирского континента: 20-21 - для V-C<sub>1</sub> (540 млн.лет) по: 20 - [Казанский, 2002], 21 - [Шацилло, 2006]; 22-23 - для C<sub>1-2</sub> (520 млн.лет) по: 22 - [Печерский, Диденко, 1995], 23 - [Cocks, Torsvik, 2007]; 24-25 - для C<sub>3</sub> (500 млн.лет) по: 24 - [Печерский, Диденко, 1995], 25 - [Cocks, Torsvik, 2007]. \* - означает, что заимствовано частично, координаты полюса в соответствии с н.р. и отличаются от представленного в публикации. На стереограммах справа: а - иллюстрация расположения раннекембрийских полюсов вдоль дуги большого круга с центром в EP; б - положение полюсов после поворота вокруг EP; в - положение полюсов после поворота вокруг соответствующих точек опробования.

левосдвигового смещения впоследствии, на этапе аккреции в условиях сжатия, привела к расчлениванию системы и сложным перемещениям ее фрагментов с локальными поворотами (рис. 4).

**3.5. Палеотектоническая реконструкция юго-западной окраины Сибирского кратона для раннего палеозоя** (см. на рис. 7) развивает идеи [Метелкин, 1998; Казанский, 2002] и основана на представленной кинематической схеме (рис. 4). Сравнительно новым является обоснование кинематики аккреционного процесса, взаимного положения террейнов и кратона, а также количество фрагментов, использованных в реконструкции. Палеогеографическое положение восстановленной активной окраины для 540 млн. лет отвечает полюсу Кийского блока, который мало отличается от предполагаемого полюса Сибири. Протяженная островная дуга огибает западную континентальную окраину Сибири, располагаясь в полосе  $5^{\circ} - 10^{\circ}$  с.ш. при восток-юго-восточном простирании основных элементов, и развернута фронтом на север. Погружение океанической плиты предполагается в

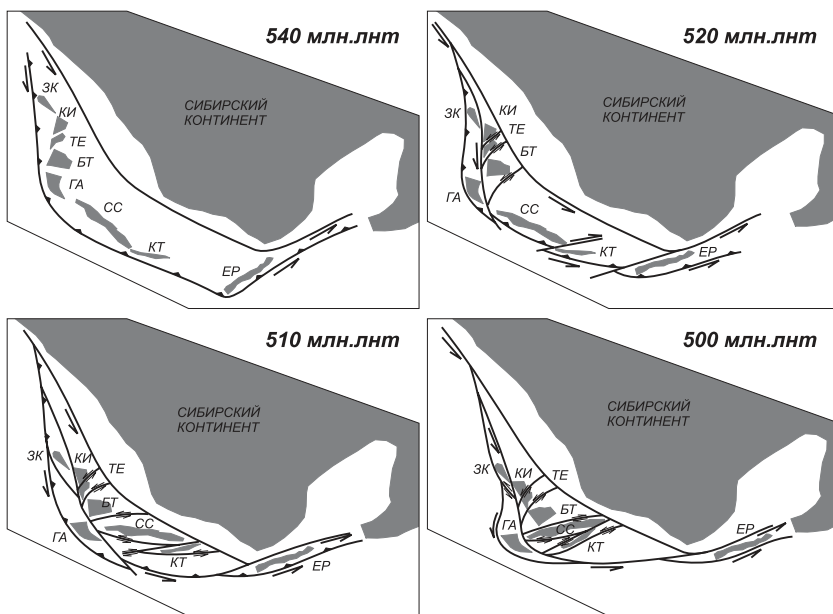


Рис. 4. Кинематическая схема эволюции структуры активной окраины Сибири в кембрии согласно палеомагнитным данным.

Построено в координатах Кийского блока, буквами обозначены террейны: ЗК - Золотокитатский, КИ - Кийский, ТЕ - Терсинский, БТ - Батеневский, ГА - Горноалтайский, СС - Северосаянский, КТ - Куртушибинский, ЕР - Еравнинский.

трансформном режиме, под углом к простиранию зоны субдукции. В кембрии система испытывает дрейф южного направления с поворотом по часовой стрелке. В результате созданы благоприятные условия для тектонического дуплексирования в режиме левого сдвига. Время аккреции зафиксировано в складчатости, региональном метаморфизме и внедрении гранитоидов, изотопный возраст которых около 490 млн. лет [Добрецов, Буслов, 2007]. За 40 млн. лет континент и его активная окраина оказались перемещены не менее чем на 1000 км к  $5^{\circ}$  –  $15^{\circ}$  ю.ш. и развернуты так, что западная окраина кратона имела субмеридиональное простирание. Координаты палеомагнитных полюсов позднего кембрия практически не различаются, а значит взаимное расположение террейнов напоминает современную структуру.

#### Глава 4. ПАЛЕОЗОЙСКИЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ОКРАИНЫ СИБИРИ

##### **4.1. Тектоническое строение Таймыр-Североземельской области.**

Область включает три зоны: Южно-, Центрально- и Северо-Таймырскую. Южная зона представляет деформированный неопротерозойско-палеозойский шельфовый прогиб Сибири. Центральная зона соответствует аккреционному поясу, нарастившему континентальную окраину в конце неопротерозоя. Северо-Таймырская зона, охватывающая северную часть п-ова Таймыр и о-ва Северной Земли, составляет раннепротерозойское основание Карской микроплиты, перекрытое позднекембрийско-палеозойским чехлом осадков. Время столкновения микроконтинента с Сибирью отражено в орогении, формировании гранитоидов и синхронном региональном метаморфизме на рубеже карбона – перми [Верниковский и др., 1999; Lorenz et al., 2008].

**4.2. Палеомагнитная изученность и модели эволюции Арктического сектора.** Немногочисленные палеомагнитные данные по территории Таймырской области получены для позднепалеозойских и мезозойских отложений Центральной и Южной зон. Подавляющее большинство характеризует рубеж перми-триаса, связанный с формированием трапповой формации [Gurevich et al., 1995; Walderhaug et al., 2005]. В современных моделях развивается предположение о существовании т.н. Арктиды, в соответствии с которой основные тектонические элементы Арктики, в том числе Карский, объединяют в единый массив [Кузнецов, 2009]. Недостаток палеомагнитных определений для позднего докембрия и палеозоя (предполагаемое время существования Арктиды) оставляет эту идею в ранге неподтвержденной научной гипотезы.

**4.3. Палеомагнетизм раннепалеозойских комплексов архипелага Северная Земля.** Изучены слабодеформированные комплексы раннего палеозоя о. Октябрьской революции [Metelkin et al., 2005]. Формирование

осадочных последовательностей соответствует условиям окраинного моря, возраст обоснован находками макрофауны [Bogolepova et al., 2001, 2006; Raevskaya, Golubkova, 2006; Männik et al., 2009]. Силурийский разрез самойловичской и усть-спокойнинской свит отвечает интервалу 430–415 млн. лет и сложен известняками с прослоями глинистых пород и доломитов. Координаты полюса, рассчитанного по направлению стабильной доскладчатой намагниченности:  $Plat=10.5$ ,  $Plong=183.5$ ,  $A_{95}=8.8$ . Позднеордовикский (470–440 млн. лет) разрез объединяет песчаники стройнинской св., известняки кровли ушаковской св. Установлена стабильная доскладчатая компонента, полюс по которой:  $Plat=-10.1$ ,  $Plong=212.0$ ,  $A_{95}=12.0$ . Разрез кембрия – ордовика (510–490 млн. лет) включает песчаники курчавинской св. и пластовые тела кислых порфиритов среди терригенных пород кружилихинской св. Их формирование отвечает условиям внутриконтинентального растяжения ~ 490 млн. лет назад по U-Pb изотопии [Lorenz et al., 2008]. Координаты полюса, по направлению стабильной доскладчатой намагниченности:  $Plat=-26.9$ ,  $Plong=255.5$ ,  $A_{95}=11.6$ .

**4.4. Кинематика палеозойского дрейфа Карской плиты и связь с кратонами В.Европы и Сибири.** Полученные полюсы образуют тренд КДП Карской плиты (Кары). При сходном характере кажущегося дрейфа и сопоставимых широтах он значительно смещен к востоку от Сибирских полюсов к ТКДП Балтики. Последнее интерпретируется как обоснование тектонического единства Балтики и Кары в составе гипотетической Аркт-Европы [Gee et al., 2006; Кузнецов, 2009], хотя фактически означает только некоторое сходство взаимного положения массивов в раннем палеозое их современной конфигурации в пространстве. При детальном рассмотрении оказывается, что угловое расстояние между полюсами Балтики и Кары для E–O составляет  $10^{\circ}$ – $40^{\circ}$ , а для S –  $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$ , статистически не различаются только полюсы O<sub>3</sub>. Синтез данных и анализ восстановленной кинематики Кары, Сибири и Балтики приводит к выводу о террейновой истории Карского массива в палеозое. С ордовика по конец силура террейн испытывал дрейф от  $40^{\circ}$  ю.ш. к  $10^{\circ}$ с.ш. со скоростью около 5 см/год и вращением против часовой стрелки амплитудой до  $1^{\circ}$ /млн. лет. Аналогичный дрейф, но с опережающим вращением плиты, реконструируется для Балтики [Torsvik, Cocks, 2005]. Главное отличие в кинематике Сибирской плиты связано с вращением по часовой стрелке [Cocks, Torsvik, 2007]. Противоположно направленное вращение масс обеспечило формирование между ними трансформ и способствовало сдвиговому перемещению Карской микроплиты. На основе общих закономерностей предполагается, что Карский блок был отчленен от Балтики в неопротерозое и в дальнейшем испытывал трансформно-сдвиговое перемещение, сближаясь с Сибирью.

Интерполяция данных показывает, что пересечение трендов КДП Сибири и Кары нужно ожидать на рубеже карбона-перми, что согласуется с индикаторами коллизионного процесса на Таймыре.

**4.5. Модель эволюции структуры Арктической окраины Сибири в палеозое как результат сдвиговой тектоники.** Начало палеозоя соответствует активному спредингу между Лаврентией с одной стороны, Балтикой и Сибирью с другой. Заложение океанов отвечает расколу Родинии, который сопровождался “дроблением” окраин с обособлением разновеликих блоков сиалической коры. Кара предполагается обломком Балтики и ее отделение можно связать с формированием Япетуса или Протоуральского океана. На рубеже кембрия – ордовика Кара находилась в южном полушарии вблизи “материнского” континента. Ассиметричный рост бассейнов, контролируемый разнонаправленным вращением Балтики и Сибири, обусловил возникновение между ними трансформ и сдвиг Карского террейна, который сохранялся вплоть до столкновения с Сибирью в конце палеозоя. К этому времени Кара должна быть перемещена в умеренные широты северного полушария (см. на рис. 7). Определенную проблему представляет отсутствие палеозойских субдукционных комплексов, которые должны быть в пределах Главного Таймырского шва, если предполагать пространство с океанической корой между Сибирью и Карой [Gee et al., 2006]. Очевидным объяснением является мягкое взаимодействие сиалических масс при главенствующей роли сдвигов, в условиях косоугольного трансформного сближения и последующего столкновения.

## Глава 5. МЕЗОЗОЙСКИЕ ВНУТРИПЛИТНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЯ КОРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

**5.1. Геотектонический режим на территории Центральной Азии в мезозое.** К началу мезозоя в результате закрытия океанов сформирована основная структура Центральной Азии, что ознаменовано грандиозным внутриплитным магматизмом на рубеже перми-триаса. Обособливаются три крупные тектонические провинции. В пределах Западно-Сибирской провинции формируется и эволюционирует крупнейший осадочный бассейн. На территории Южной Сибири в Центрально-Азиатской провинции дискретно проявлены процессы ремобилизации и связанный орогенез, обусловленные режимом тектонического стресса внутри плиты. Наиболее ярко преобразование палеозойской коры проявлено в Монголо-Охотской провинции, где в течение мезозоя доминирует субдукционно-коллизионный режим, связанный с закрытием одноименного бассейна. В целом, мезозойский этап эволюции Евразийской плиты обычно рассматривают в рамках модели “Стабильной Азии”, которой постулируется жесткость этого тектонического элемента и подразумевается отсутствие значимых перемещений между его составными частями.

**5.2. Палеомагнитная изученность мезозойских комплексов территории Сибири.** Модель “Стабильной Азии” является базовой предпосылкой создания синтетических траекторий КДП [Besse, Courtillot, 1991, 2002; Schettino, Scotese, 2005], для построения которых используют определения по территории всей Евразийской плиты. Палеомагнитные данные, пригодные для тектонического анализа по Сибири, за исключением раннего триаса, крайне немногочисленны. Большая часть работ была ориентирована на решение задач стратиграфии. Эти данные, не смотря на их высокую достоверность, непригодны для построения ТКДП. В результате для реконструкции мезозойской тектоники Сибири, используются данные по Европе и другим регионам Евразийской плиты.

**5.3. Палеомагнетизм мезозойских комплексов Сибирской платформы и ее обрамления.**

**Пермо-триасовый магматизм в Кузнецком прогибе и Колывань-Томской зоне** по геохимическим и другим характеристикам сопоставляется с траппами Сибири [Добрецов, 2005]. Ar-Ar возраст пород в Кузнецком ареале –  $249 \pm 2$  млн. лет [Федосеев и др., 2005]. В результате анализа NRM базальтов, составляющих практически весь разрез мальцевской сер., установлена *ChRM*, первичное происхождение которой доказано тестами складки и отжига. Исключительно отрицательное наклонение вектора предполагает синхронность кузнецких базальтов инициальной стадии плюмового магматизма и позволяет оценить длительность события рамками 1 млн. лет [Казанский и др., 2005]. Дальнейшее его проявление “сдвинуто” на север в Колывань-Томскую зону. Стабильная намагниченность в долеритах интрузий Томского ареала отличается от *ChRM* кузнецких базальтов положительным наклонением. То же установлено в лейкогранитах Колыванского массива Новосибирского ареала, формирование которого по Ar-Ar  $236 \pm 3$  млн. лет [Сотников и др., 1999]. Анализ данных по траппам Сибири с учетом новых определений [Pavlov et al., 2007] указывает на расхождение палеомагнитных направлений. Угловое расстояние между полюсами Кузнецко-Томского региона:  $PLat=60.8$   $PLong=174.3$   $A_{95}=3.5$  и Сибирской платформы:  $PLat=50.5$   $PLong=147.6$   $A_{95}=3.3$  составляет  $18^\circ \pm 3.5^\circ$  и может быть объяснено с позиций сдвиговой тектоники регионального масштаба. Раннемезозойская эволюция Кузнецкого прогиба описывается в рамках модели “pull-apart” [Полянский и др., 2004] и связывается с расчлениванием гетерогенной коры Центральной Азии, которое обусловлено продолжающимся с палеозоя вращением Сибири в составе Евразийской плиты по часовой стрелке.

**Западно-Забайкальская внутриконтинентальная рифтовая зона и продукты позднеюрского - раннемелового магматизма.** В составе вулканических ассоциаций преобладают субщелочные и щелочные базальты и трахибазальты, которые наряду с терригенными комплексами



выполняют впадины, приуроченные к региональным сдвигам. Изучено два этапа магматизма: 155 млн. лет (ичетуйская св.) и 120 млн. лет (хилокская св.) [Метелкин и др., 2003, 2004, 2007]. Киммеридж-оксфордский возраст отложений в пределах Тугнуйской впадины обоснован K-Ar и Rb-Sr данными [Гордиенко и др., 1997], синхронный возраст *ChRM* обоснован тестом внутриформационных конгломератов, обращения и складки. Схожие палеомагнитные направления установлены в базальтах Маргинтуйского поля, а также трахибазальтах Мало-Хамардабанского проявления. Палеомагнитный полюс:  $PLat=63.6$   $PLong=166.8$   $A_{95}=8.5$  соответствует координатам полюса бадинской св. – стратиграфического аналога ичетуйской св. в Могзонской впадине [Klavchinsky et al., 2002]. Отложения хилокской св. изучены в Чикой-Хилокской впадине. Возраст пород 122–113 млн. лет обоснован Ar-Ar данными [Гордиенко и др., 1999]. Установлена четкая корреляция возраста пород и полярности палеомагнитных направлений. Формирование намагниченности в начале апта, вблизи границы хрона M0, подтверждается тестами обращения, складки и внутриформационных конгломератов. Аналогичное биполярное доскладчатое направление стабильной намагниченности установлено в раннемеловых вулканогенных разрезах Удинской и Боргойской впадин. Средний полюс по хилокской св.:  $PLat=72.3$   $PLong=186.4$   $A_{95}=6.0$ .

**Позднемеловой внутриплитный магматизм Минусинского прогиба** представлен некками и дайками щелочных базальтов, которые по происхождению сходны с трубками взрыва [Головин и др., 2000]. Судя по Ar-Ar данным, формирование интрузий проходило  $77 \pm 5$  млн. лет н. [Мальковец, 2001]. Первые результаты палеомагнитного изучения [Брагин и др., 1999] существенно дополнены и обобщены [Метелкин и др., 2007]. Установлено, что намагниченность пород связана с первично-магматическим титаномагнетитом и продуктами его распада. Величина и направление NRM определяются соотношением между намагниченностью этих фаз. Стабильная компонента не является первичной, но формировалась синхронно процессу становления интрузий, что подтверждается тестами обращения и отжига. Средний полюс:  $PLat=82.8$   $PLong=188.5$   $A_{95}=6.1$ .

**Юрско-меловые осадочные серии Приверхоанского прогиба** изучены в среднем и нижнем течении р. Лены [Метелкин и др., 2008]. В составе преобладают пачки песчаников. Детальные стратиграфические исследования позволяют расчленять разрезы до века. Деформация толщ отражает поздние этапы надвигания Верхоянского орогена в конце мела [Parfenov et al., 1995]. Изучены бат-келловейский (168–163 млн. лет) и берриас-аптский (140–120 млн. лет) интервалы разреза, включающие 9 местных стратонов. Стабильные компоненты имеют характерное для позднего мезозоя наклонение  $70^{\circ}$ – $85^{\circ}$ . Склонение векторов в раннемеловых песчаниках около  $70^{\circ}$ , а в среднеюрских – около  $140^{\circ}$ . Тест складки по этим

группам положительный. Палеомагнитные полюсы:  $PLat=67.2$   $PLong=183.8$   $A_{95}=7.8$  для 135 млн. лет и  $PLat=59.3$   $PLong=139.2$   $A_{95}=5.7$  для 165 млн. лет соответствуют полюсам юры – мела Забайкалья, что обосновывает тектоническую жесткость рассматриваемого структурного элемента.

**5.4. Синтез палеомагнитных данных по мезозою** позволяет представить композитную структуру Северной Евразии в виде совокупности доменов. Под доменом понимается область, имеющая внутреннюю гетерогенную структуру, но выступающую в качестве тектонически жесткого блока коры. Сибирский домен включает территорию кратона и складчато-покровные структуры обрамления вплоть до Монголо-Охотской сутуры на юге. Учитывая палеомагнитные данные по Кузнецкому прогибу, предполагается, что деформации, нарушающие жесткость домена, концентрируются вдоль полосы герцинских структур Алтае-Саянской области и далее вдоль борта Колтогорско-Уренгойской системы сбросов. Тренд КДП Сибири, построенный на основе ключевых определений по территории домена [Metelkin et al., 2010], в целом повторяет ТКДП Европы [Besse, Courtillot, 2002], но “сдвинут” к югу. Причем угол между соответствующими полюсами Сибири и Европы постепенно уменьшается (рис. 5). Систематическое отклонение полюсов является прямым следствием сдвига, обусловленного вращением Сибирского домена внутри Евразийской плиты по часовой стрелке. Положение полюса Эйлера  $60^\circ$  с.ш.,  $115^\circ$  в.д. с точностью до  $10^\circ$  согласуется с ранними оценками [Баженов, Моссаковский, 1986; Зоненшайн и др., 1990]. Масштабы мезозойских

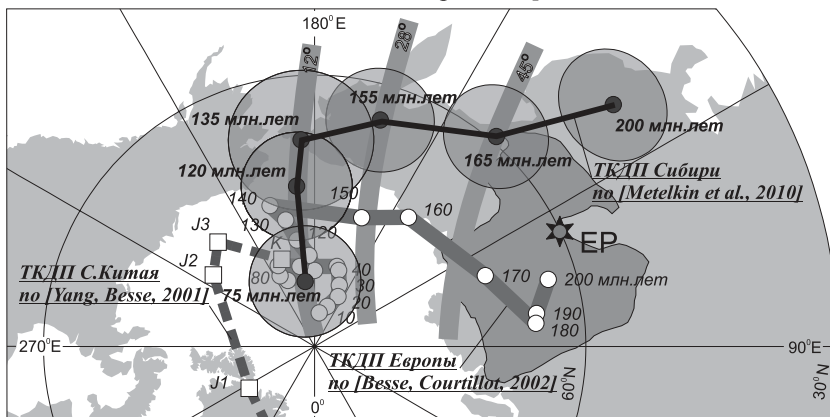


Рис. 5. Сравнение ТКДП Сибири, Европы и С.Китая.

Жирными серыми линиями показаны дуги малых кругов с центром в EP, поворотом вокруг которого достигается совпадение соответствующих полюсов Сибири и Европы. Полюс Сибири на 200 млн.лет заимствован из IAGA GPMDB - определение #4417 [Pisarevsky, 1982] и подтверждается данными по раннеюрским базальтам Тугнуйской впадины [Cogne et al., 2005].

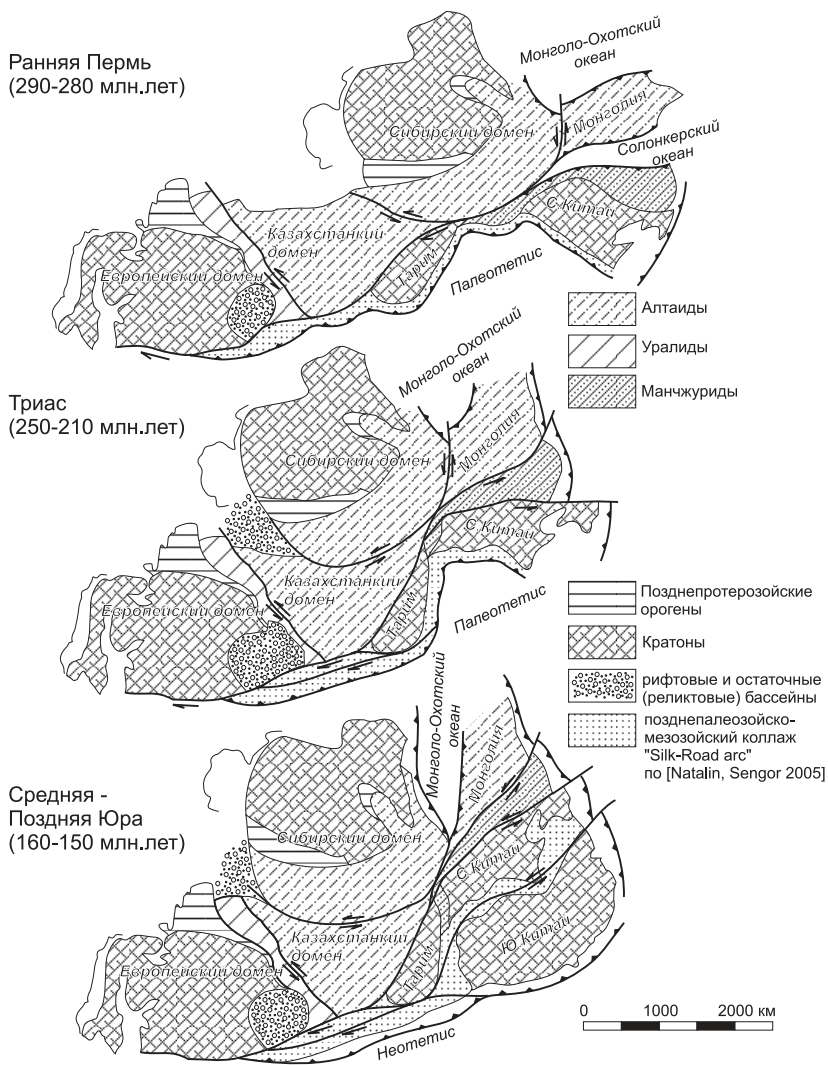


Рис. 6. Схема тектонического развития Евразии в интервале пермь – юра, иллюстрирующая сдвиговые деформации между взаимодействующими доменами плиты в режиме вращения Сибирского домена по часовой стрелке, по [Natalin, Sengor, 2005; Van der Voo et al., 2006] с дополнениями и изменениями [Metelkin et al., 2010].

сдвигов оцениваются до 500 км. Сравнение с полюсами для территории Китая и Монголии [Yang, Besse, 2001; Hankard et al., 2005] фиксирует не только существенный поворот Сибири, но и значимое встречное перемещение на юг, отражающее закрытие Монголо-Охотского океана. Даже в поздней юре расстояние между Сибирской и Монгольской окраинами составляло  $13.6^{\circ} \pm 7.6^{\circ}$ , т.е. не менее 600 км. Финальная стадия коллизии отвечает началу мела: полюсы для 135 млн. лет уже не различаются по широте, хотя наличие сдвиговой составляющей (вращение) еще значительное (более  $10^{\circ}$ ).

**5.5. Деформация коры Центральной Азии в мезозое как отражение процессов внутриплитной сдвиговой тектоники.** Полученные данные подтверждают гипотезы, предполагающие сдвиговый механизм реорганизации структуры Центральной Азии в мезозое [Воронов и др., 1997]. Деформация коры, на фоне общего поворота Евразийской плиты по часовой стрелке, связана с перемещениями отдельных составляющих ее композитной структуры (Сибирский, Европейский и Казахстанский домены) по системе крупных сдвиговых зон левосторонней кинематики (рис. 6). Деформация Монголо-Китайской территории плиты также описывается серией сдвиговых зон, по которым происходит расчленивание коры на фоне постепенного продвигающегося закрытия Монголо-Охотского океана. Сделанные оценки развивают идею о том, что закрытие океана и последующая орогения, начавшись в конце юры в западной части пояса, были завершены на востоке только в раннем мелу. Относительная стабилизация сдвиговых процессов в Центральной Азии предполагается в конце мела. Точнее, масштабы сдвигов находятся за пределами разрешающей способности палеомагнитного метода, поскольку GPS данные регистрируют сходное вращение блоков Евразийской плиты [Тимофеев и др., 2008].

## Глава 6. СДВИГОВАЯ ТЕКТНИКА В НЕОПРОТЕРОЗОЙСКО-ФАНЕРОЗОЙСКОЙ ИСТОРИИ СИБИРСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ПЛИТЫ И СВЯЗЬ С ПРОЦЕССАМИ РОСТА И ДЕФОРМАЦИИ КОРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

В главе обобщены тектонические выводы и модели, предложенные в предыдущих разделах. При этом в реконструкциях центральное место занимает Сибирь, что позволяет последовательно описать тектоническую историю и палеогеографическое положение континентальной плиты от неопротерозоя до конца мезозоя (рис. 7). Основные события этой истории связаны с процессами сбора и распада двух суперконтинентов – Родинии и Пангеи. Трансформация одного тектонического события на окраинах Сибири в другое контролируется сдвиговой тектоникой. Основной механизм развития сдвиговых систем отвечает процессу “оставания” структур периферии при вращении Сибирской плиты. Любопытно, что

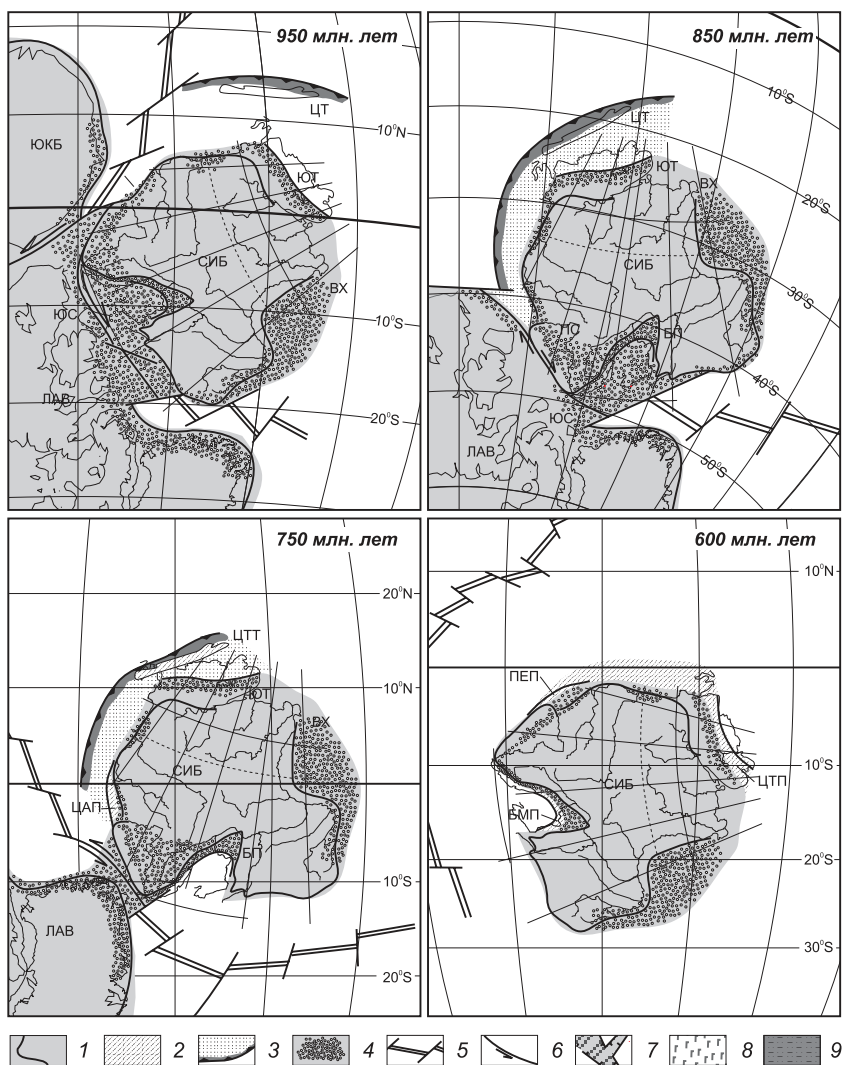
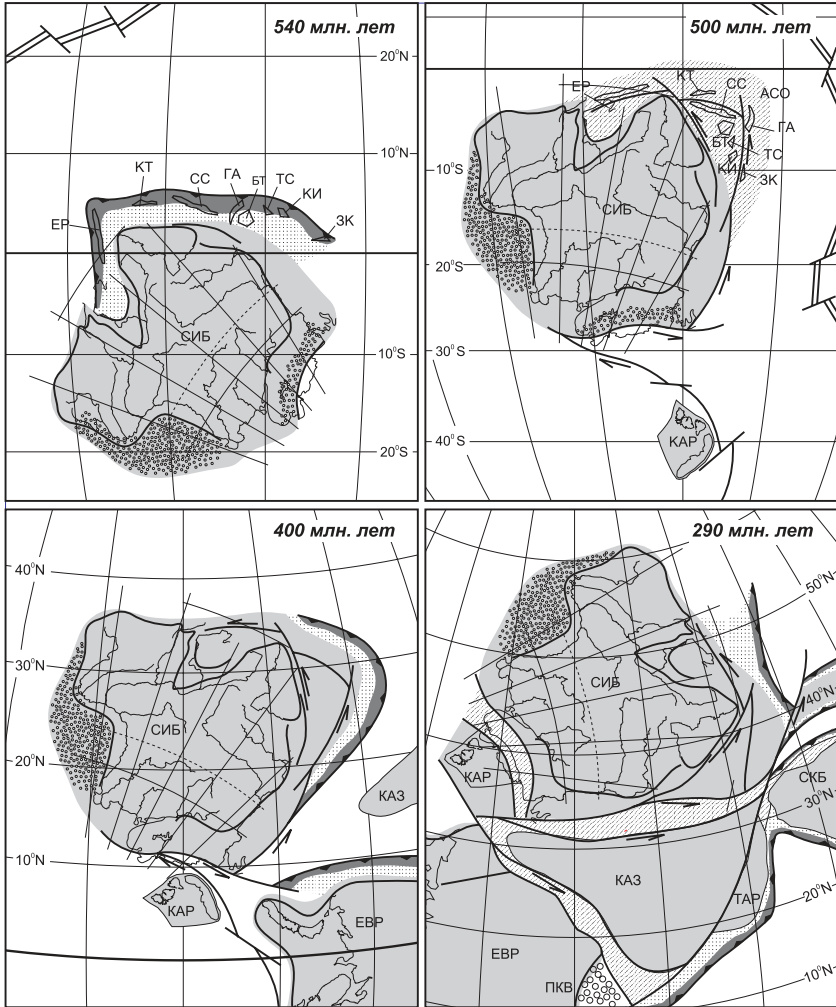
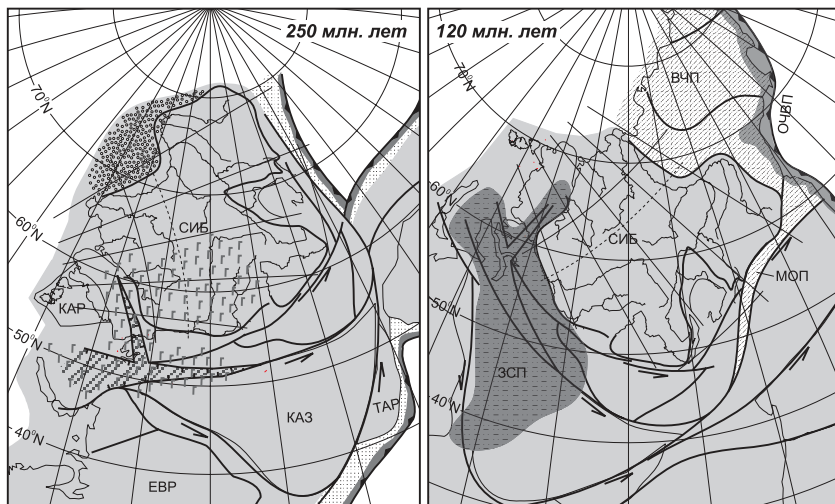


Рис. 7. Палеотектоническая реконструкция эволюции Сибирского кратона и его окраин в интервале неопротерозой – мезозой.

1 – континентальные массивы и наиболее важные контуры; 2 – аккреционные структуры, орогенические пояса соответствующего возраста; 3 – субдукционные системы, включая вулканические пояса и тыловые бассейны; 4 – краевые моря, шельфовые бассейны пассивных континентальных окраин; 5 – предполагаемое положение зон спрединга; 6 – принципиальное



простиране трансформно-сдвиговых зон с указанием кинематики сдвига; 7 – схематическая область утонения континентальной коры в пределах Западно-Сибирской грабен-рифтовой системы; 8 – схематическое распространение платобазальтов Сибирской трапповой формации перми-триаса; 9 – схематическое распространение мезойско-кайнозойских отложений Западно-Сибирского осадочного бассейна. Буквенные сокращения на рисунках: континентальные блоки: СИБ – Сибирский, ЕВР – Восточно-Европейский, КАР – Карский, КАЗ – Киргизско-Казахстанский, ЛАВ – Северо-Американский (Лаврентия), СКБ – Северо-Китайский, ТАР – Таримский, ЮКБ – Южно-Китайский; бассейны пассивных окраин, окраинные моря: ВХ – Верхоянский, БП – Байкало-Патомский, ПС – Присяянский, ЮС – Южно-



Сибирский (гипотетический), ЮТ - Южно-Таймырский; орогенические пояса: АСО – Алтае-Саянский ороген, БМП – Байкало-Муйский пояс, ВЧП – Верхояно-Чукотский пояс, МОП – Монголо-Охотский пояс, ПЕП – Приенисейский пояс, ЦАП – Центрально-Ангарский пояс, ЦТТ – Центрально-Ангарский террейн, ЦТП – Центрально-Таймырский пояс; островодужные террейны, фрагменты активной континентальной окраины и вулcano-плутонические пояса: БТ – Батеневский, ГА – Горноалтайский, ЕР – Еравнинский, ЗК – Золотокитатский, КИ – Кийский, КТ – Куртушибинский, СС – Северосаянский, ТС – Терсинский, ЦТ – Центрально-Таймырский, ОЧВП – Охотско-Чукотский вулcano-плутонический пояс, другие структуры: ПКВ – Прикаспийская впадина, ЗСП – Западно-Сибирская плита.

реконструируемые на разные эпохи геологической истории сдвиги связаны с вращением вокруг приблизительно одной и той же точки вблизи “центра” кратона, в современных координатах – 60°с.ш. 115°в.д. Неизменное положение полюса вращения в относительной системе координат в течение почти млрд. лет, очевидно, является отражением глобального тектонического процесса, связанного с общепланетарными закономерностями движения плит.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование палеомагнитных данных для реконструкции тектонической истории имеет ряд преимуществ по сравнению с другими традиционными подходами к построению геодинамических моделей. Во-первых, они составляют относительно свободную от субъективных представлений палеогеографическую основу. Во-вторых, дают количественные представления о величине и кинематики горизонтальных перемещений, реконструируемых единиц. В-третьих, позволяют сузить широту интерпретации геологической информации, задавая конкретные граничные условия, что ведет к сокращению

возможных вариантов при построении комплексных моделей. Наконец, палеомагнитный метод предлагает надежный и действенный инструмент анализа тектонических процессов, проявленных на макроуровне. Основным результатом работы является модель тектонической эволюции Центральной Азии в неопротерозое, палеозое и мезозое, которая обобщена в виде серии последовательных реконструкций. Предложенная модель выгодно отличается тем, что позволяет дать количественную оценку процессам сдвиговой тектоники в длительной истории формирования и деформации коры Центральной Азии. Роль этой формы тектонического развития действительно велика. Сдвиговые перемещения определяли тектонический стиль эволюции коры на ранних этапах континентального рифтогенеза, при формировании океанических бассейнов, в ходе активной субдукции и, несомненно, на аккреционно-коллизийном этапе. Палеомагнитные данные свидетельствуют, что наиболее близкие внутриплитные деформации и связанный активный магматизм также контролировались сдвигами разновеликих фрагментов гетерогенной структуры Северной Евразии. Характерно, что реконструируемые сдвиговые зоны имеют огромную протяженность и приурочены к границам крупных тектонических элементов, т.е. соответствуют процессу как минимум регионального, а чаще планетарного масштабов.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### *Главы в монографиях*

1. Парначев В.П., Макаренко Н.А., Динер А.Э., Изох А.И., Косоруков А.П., Лавренчук А.В., **Метелкин Д.В.**, Михальцов Н.Э. Массив горы Черная Сопка - эталон черносопкинского сиенит-щелочноабброидного комплекса (Восточный Саян). Красноярск: КНИИГиМС, 2002. - 139 с.

2. **Метелкин Д.В.**, Константинов К.М., Казанский А.Ю., Гладкочуб Д.П., Мазукабов А.М., Донская Т.В., Станевич А.М., Постников А.А., Юлдашев А.А. Палеомагнетизм неопротерозойских комплексов юга Сибирского кратона / Эволюция южной части Сибирского кратона в докембрии. Науч. ред. Е.В.Скляров, Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006, с.309-331.

3. **Metelkin D.V.**, Kazansky A.Yu., Vernikovskiy V.A. Paleomagnetic Evidence for Siberian Plate Tectonics from Rodinia through Pangaea to Eurasia / Ferrari DM., Guiseppi A.R. (Eds) Geomorphology and Plate Tectonics, Nova Science Publishers, NY, USA, 2009, pp.159-236 (ISBN: 978-1-60741-003-4).

### *Статьи в научных рецензируемых журналах по перечню ВАК*

4. Казанский А.Ю., Буслов М.М., **Метелкин Д.В.** Эволюция палеозойской структуры Горного Алтая: корреляция палеомагнитных и геологических данных // Геология и геофизика, 1998, т.39, №3, с.297-306.

5. Казанский А.Ю., **Метелкин Д.В.**, Кунгурцев Л.В., Лавренчук А.В. Новые палеомагнитные данные по раннему кембрию Западного Саяна // Геология и геофизика, 1999, т.40, №4, с. 545-562.



6. **Метелкин Д.В.**, Казанский А.Ю., Кунгурцев Л.В. Структура Кузнецкого Алатау в средне-позднекембрийское время по палеомагнитным данным // Геология и геофизика, 2000, т.41, №6, с. 800-810.

7. **Метелкин Д.В.**, Казанский А.Ю., Верниковский В.А., Джи Д., Торсвик Т. Первые палеомагнитные данные по раннему палеозою архипелага Северная Земля и их геодинамическая интерпретация // Геология и геофизика, 2000, т.41, №12, с. 1816-1820.

8. Кунгурцев Л.В., Берзин Н.А., Казанский А.Ю., **Метелкин Д.В.** Тектоническая эволюция структуры юго-западного обрамления Сибирской платформы в венде-кембрии по палеомагнитным данным // Геология и геофизика, 2001, т.42, №7, 1042-1051.

9. Казанский А.Ю., **Метелкин Д.В.**, Кунгурцев Л.В., Кизуб П.А. Кинематика Мартайгинского блока Кузнецкоалатауской палеоостровной дуги в позднем венде - раннем ордовике по палеомагнитным данным // Геология и геофизика, 2003, т.44, №3, с.185-201.

10. Казанский А.Ю., Ступаков С.И., Симонов В.А., **Метелкин Д.В.** Геодинамика офиолитов Среднетерсинского массива (Кузнецкий Алатау) по палеомагнитным данным // Геология и геофизика, 2003, т.44, №10, с.1036-1044.

11. **Метелкин Д.В.**, Гордиенко И.В., Жао Х., Климук В.С. Раннемеловая геодинамика Забайкалья: палеомагнитный аспект // Докл. РАН, 2003, т.393, №4, с. 515-520.

12. Лавренчук А.В., Изох А.Э., Поляков Г.В., **Метелкин Д.В.**, Михальцов Н.Э., Травин А.В. Черносопкинский тешенит-сиенитовый комплекс северо-западной части Восточного Саяна -одно из проявлений раннедевонского плюмового магматизма // Геология и геофизика, 2004, т.45, №6, с.663-677.

13. **Метелкин Д.В.**, Гордиенко И.В., Жао Х. Палеомагнетизм нижнемеловых вулканитов Забайкалья: свидетельство в пользу мезозойских сдвиговых перемещений в структуре Центральной Азии // Геология и геофизика, 2004, т.45, №12, с.1404-1417.

14. **Метелкин Д.В.**, Верниковский В.А., Белоносов И.В. Палеомагнетизм вулканогенных комплексов Предивинского террейна Енисейского кряжа и геодинамические следствия // Докл. РАН, 2004, т.399, №1, с.90-94.

15. **Метелкин Д.В.**, Белоносов И.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Мазукабзов А.М., Станевич А.М. Палеомагнитные направления в интрузиях нерсинского комплекса Бирюсинского присаянья как отражение тектонических событий в неопротерозе // Геология и геофизика, 2005, т.46, №4, с.398-413.

16. Казанский А.Ю., **Метелкин Д.В.**, Брагин В.Ю., Кунгурцев Л.В. Палеомагнетизм пермотриасового траппового комплекса Кузнецкого прогиба (Южная Сибирь) // Геология и геофизика, 2005, т.46, № 11, с.1107-1120.

17. **Метелкин Д.В.**, Верниковский В.А., Казанский А.Ю., Белоносов И.В. Сибирский кратон в структуре суперконтинента Родиния: анализ палеомагнитных данных // Докл. РАН, 2005, т.404, №3, с.389-394.

18. **Метелкин Д.В.**, Верниковский В.А., Казанский А.Ю. Неопротерозойский этап эволюции Родинии в свете новых палеомагнитных данных по западной окраине Сибирского кратона // Геология и геофизика, 2007, т.48, №1, с.42-59.

19. **Метелкин Д.В.**, Казанский А.Ю., Брагин В.Ю., Цельмович В.А., Лавренчук А.В., Кунгурцев Л.В. Палеомагнетизм позднемеловых интрузий Минусинского прогиба (Южная Сибирь) // Геология и геофизика, 2007, т.48, №2, с.238-253.

20. **Метелкин Д.В.**, Гордиенко И.В., Климук В.С. Палеомагнетизм верхнеюрских базальтов Забайкалья: новые данные о времени закрытия Монголо-Охотского океана и мезозойской внутриплитной тектонике Центральной Азии // Геология и геофизика, 2007, т.48, №10, с.1061-1073.

21. **Метелкин Д.В.**, Верниковский В.А., Казанский А.Ю., Каширцев В.А., Брагин В.Ю., Кунгурцев Л.В. Мезозойский интервал траектории кажущегося движения полюса Сибирского домена Евразийской плиты // Докл. РАН, 2008, т.418, №4, с.500-505.

22. Верниковский В.А., Казанский А.Ю., Матушкин Н.Ю., **Метелкин Д.В.**, Советов Ю.К. Геодинамическая эволюция складчатого обрамления и западная граница Сибирского кратона в неопротерозое: геолого-структурные, седиментологические, геохронологические и палеомагнитные данные // Геология и геофизика, 2009, т.50, №4, с.502-519.

23. Гордиенко И.В., Булгагов А.Н., Руженцев С.В., Климук В.С., Ветлужских Л.И., Некрасов Г.Е., Ласточкин Н.И., Ситникова В.С., **Метелкин Д.В.**, Гонегер Т.А., Лепехина Е.Н. История развития Удино-Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана в позднем рифее - палеозое // Геология и геофизика, 2010, т.51, №5, с.589-614.

24. **Метелкин Д.В.**, Благовидов В.В., Казанский А.Ю. История формирования карагаской серии Бирюсинского Присяянья: синтез палеомагнитных и литолого-фациальных данных // Геология и геофизика, 2010, т.51, №8, с.1114-1133.

25. **Metelkin D.V.**, Vernikovsky V.A., Kazansky A.Yu., Bogolepova O.K., Gubanov A.P. Paleozoic history of the Kara microcontinent and its relation to Siberia and Baltica: paleomagnetism, paleogeography and tectonics // Tectonophysics, 2005, v.398, p.225-243.

26. **Metelkin D.V.**, Vernikovsky V.A., Kazansky A.Yu., Wingate M.T.D. Late Mesozoic tectonics of Central Asia based on paleomagnetic evidence // Gondwana Research, 2010, v.18, p.400-419.

#### *Материалы научных конференций*

27. **Метелкин Д.В.**, Казанский А.Ю. Палеомагнитно-тектоническая характеристика кембрийских комплексов Батеневского кряжа // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, М., ОИФЗ РАН, 2002, с.58-59.

28. **Метелкин Д.В.** Новые палеомагнитные данные по раннему мелу Забайкалья и их тектоническая интерпретация // Вестник ТГУ, Приложение: Мат-лы науч. конф. "Проблемы геологии и географии Сибири", 2003, №3 (I), с.116-117.

29. Лавренчук А.В., **Метелкин Д.В.**, Белоносов И.В. Новые петролого-геохимические и палеомагнитные данные по неопротерозойским дайковым комплексам Саяно-Енисейской окраины Сибирского кратона // Мат-лы науч. конф. "Петрология магматических и метаморфических комплексов", т.1, Томск: Изд-во ТГУ, 2005, с.100-105.

30. **Метелкин Д.В.**, Казанский А.Ю., Гордиенко И.В., Михальцов Н.Э. Предварительные палеомагнитные данные по вулканогенно-осадочным сериям

Еравнинского террейна // Мат-лы науч. совещ. “Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)”, Вып.4, т.2, Иркутск: ИЗК СО РАН, 2006, с.16-19.

31. **Метелкин Д.В.**, Минина О.Р., Юлдашев А.А., Михальцов Н.Э. К вопросу о возрасте и условиях формирования багдаринской толщи (Западное Забайкалье): предварительные результаты палеонтологических и палеомагнитных исследований // Мат-лы науч. совещ. “Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)”, Вып.4, т.2, Иркутск: ИЗК СО РАН, 2006, с.20-23.

32. **Метелкин Д.В.** Траектория кажущегося движения полюса Сибирского кратона – недостающий инструмент палеотектонического анализа // Материалы V конференции молодых ученых СО РАН, посвященной М.А.Лаврентьеву, ч.II, Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007, с.151-153.

33. Тимофеев В.Ю., Ардуков Д.Г., Казанский А.Ю., **Метелкин Д.В.**, Бойко Е.В., Брагин В.Ю. Об унаследованности движений Сибирской платформы (GPS и палеомагнитные данные) // Мат-лы междунар. науч. Конгресса “ГЕО-Сибирь-2008”, т.3 Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология, ч.2, - Новосибирск: СГГА, 2008, с.279-284.

34. **Метелкин Д.В.**, Верниковский В.А. Сдвиговая тектоника в истории Сибирской континентальной плиты и связь с процессами роста и деформации коры Центральной Азии по палеомагнитным данным // Мат-лы XLIII Тектонического совещания “Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя”, т.2, М: ГЕОС, 2010, с.51-55.

35. **Metelkin D.V.**, Kazansky A.Yu., Kungurtsev L.V. Paleomagnetism and Geodynamics of Cambrian Island Arc Complexes of West Sayan (Russia) // Paleomagnetism of Collision Belt, V.1, Geoscience Laboratory Project, GSP, Islamabad, Pakistan, 1997, pp.101-112.

36. **Metelkin D.V.**, Vernikovsky V.A. Preliminary paleomagnetic data from the Neoproterozoic Central Taimyr Accretionary belt (Arctic Siberia) and Siberia-Laurentia connection // The Fourth International Conference on Arctic Margins (ICAM IV), 2003, Dartmouth, Nova Scotia, Canada, Dartmouth, 2003, P-15.

---

Подписано к печати 02.06.2010

Формат 60×84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс. Офсетная печать  
Печ. л. 1,9. Тираж 150.

---

ОИТ ИНГГ СО РАН, пр-т Ак.Коптюга, 3, Новосибирск, 630090