

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О.Ю. ШМИДТА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

ШАЦИЛЛО АНДРЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ВЕНДА ЮГА СИБИРСКОЙ
ПЛАТФОРМЫ И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ
ПОЗДНЕДОКЕМБРИЙСКОЙ ГЕОДИНАМИКИ

специальность 25.00.03 - геотектоника и геодинамика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

МОСКВА
2006

Работа выполнена в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии наук.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук В.Э. Павлов

Официальные оппоненты:

кандидат физико-математических наук С.В. Шипунов (СПбГУ)
доктор геолого-минералогических наук Н.М. Чумаков (ГИН РАН)

Ведущая организация: ВНИГРИ

Защита состоится _____ 2006 г. в ____ часов
на заседании диссертационного совета ИФЗ РАН
по адресу: 123995, Москва, ул.Б. Грузинская, д.10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН.
После защиты работа будет помещена на сайте лаборатории
Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН
<http://paleomag.ifz.ru>

Автореферат разослан _____ 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. т. н.

Боярский Э.А.

Актуальность проблемы

В настоящее время проблема палеомагнетизма пограничного докембрийско-фанерозойского интервала геологической истории стоит особенно остро. Вопрос о положении вендских и раннекембрийских полюсов является не только проблемой палеомагнетизма Сибирской платформы: аналогичная ситуация имеет место и на других древних кратонах, таким образом, представляя собой проблему планетарного масштаба.

Неоднозначность в интерпретации имеющихся венд-раннекембрийских палеомагнитных данных имела своим следствием появление порой достаточно «экзотических» гипотез, касающихся эволюции литосферной оболочки планеты на рубеже докембрия и фанерозоя, нуждающихся в тщательной проверке палеомагнитным методом. В частности, Кишвинком с соавторами была предложена гипотеза Inertial Interchange True Polar Wander (ИТТВ, Kirschvink et al., 1997), согласно которой в результате перераспределения масс в литосфере и мантии в раннем кембрии произошла смена осей инерции Земли, что явилось причиной быстрого, в течение времени 15-20 млн.лет, смещения литосферы и мантии относительно оси вращения (истинного смещения полюса). Это, в свою очередь, послужило спусковым механизмом для принципиальной тектонической, палеогеографической, климатической и биосферной перестройки, произошедшей на нашей планете в начале кембрийского периода.

Неопределенность в положении венд-раннекембрийских полюсов Сибирской платформы обусловлена крайней противоречивостью имеющихся палеомагнитных данных, причем попытки селекции имеющихся определений по их надежности и качеству не дают определенного результата, что ставит под сомнение саму возможность их использования для решения тектонических задач.

В тоже время, на вопросе о положении вендского и раннекембрийского полюса Сибири замыкается ряд актуальных проблем палеомагнитологии, тектоники и геодинамики. Так, к настоящему времени, по Сибирской платформе накоплен значительный объем палеомагнитных данных, позволяющих построить в той или иной степени обоснованные кривые кажущейся миграции полюса (КМП) для палеозоя (начиная со среднего кембрия) и мезо-неопротерозоя. При этом отсутствие связующего вендского «звена» между ними делает достаточно условным использование принципа минимизации перемещений при определении полярности палеомагнитных направлений в докембрии, что не позволяет адекватно состыковать разрозненные участки КМП в единый тренд. Таким образом, несмотря на наличие достаточно надежных палеомагнитных данных по среднему и началу позднего рифея мы даже не можем уверенно сказать в северном или в южном полушарии находилась в это

время Сибирская платформа. С выбором полярности докембрийских палеомагнитных направлений и соответственно с общей конфигурацией кривой КМП Сибири также напрямую связано решение вопроса о положении Сибирского кратона в структуре суперконтинента Родиния и о самой возможности существования этого суперконтинента (Павлов и др., 2002).

Обоснование базовых геодинамических моделей формирования Центрально-Азиатского складчатого пояса в значительной степени зависит от позиции Сибирской платформы в конце докембрия. Очевидно, что без надежных вендских и раннекембрийских палеомагнитных данных для Сибири такие построения не могут рассматриваться как достаточно обоснованные.

Цели и задачи исследования

Основные цели настоящего исследования:

1. Построение вендского сегмента кривой кажущейся миграции полюса Сибирской платформы.
2. Получение ограничений на выбор полярности палеомагнитных направлений позднего рифея Сибири, что необходимо, в частности, для тестирования гипотезы суперконтинента Родиния.
3. Оценка кинематики и палеогеографического положения Сибирского кратона на границе докембрия и фанерозоя и место Сибири в системе глобальных палеотектонических реконструкций для этого времени.
4. Палеомагнитное тестирование гипотезы Inertial Interchange True Polar Wander.
5. Оценка структуры и характера поведения магнитного поля Земли в венде – раннем кембрии.

Для решения поставленных целей было необходимо получить надежные палеомагнитные данные по вендским образованиям Сибирской платформы, удовлетворяющие современным методическим и аппаратным требованиям. Получение этих данных и являлось основной задачей настоящей работы.

Фактический материал и методика исследований

Для решения поставленных задач было изучено значительное количество позднедокембрийских и некоторых раннекембрийских объектов юга Сибирской платформы, представляющих Восточную платформенную зону Енисейского Кряжа: алешинская, чистяковская, мошаконская, редколесная, островная свиты (V) и климинская свита (ϵ_1 atd); Бирюсинское, Центральное и Восточное Присяянье: айсинская, усть-тагильская, мотская и иркутская свиты (V); Юго-Западное Прибайкалье:

ушаковская и куртунская свиты (V). В общей сложности обработано 1219 ориентированных образцов, отобранных из 25 объектов, включающих в себя 63 обнажения/сайта. Лабораторная обработка коллекций проводилась в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН (г.Москва), в Группе палеомагнитных исследований Центральной лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург), в лаборатории палеомагнетизма Парижского института физики Земли IPRG (г.Париж), в Специальном тектоническом исследовательском центре Университета Западной Австралии (г. Перт) и в Геофизической обсерватории «Борок» (Ярославская область). Методический и аппаратурный уровень исследований полностью удовлетворяет современным мировым стандартам.

Научная новизна работы

Изучение палеомагнетизма позднейшего докембрия и раннего кембрия Сибирской платформы началось еще в начале 60-х годов прошлого века и в первую очередь, связано с работами сотрудников палеомагнитной лаборатории ВНИГРИ под руководством А.Н.Храмова и ВОСТСНИИГиМСа под руководством А.Я. Кравчинского. За более чем 40 лет исследований получено около 100 палеомагнитных определений для этого возраста, однако до сих пор положение венд-раннекембрийских полюсов Сибирской платформы однозначно определить не удалось. В целом палеомагнитные полюсы для венда – раннего кембрия Сибирской платформы крайне “противоречивы” и разбросаны на сфере более чем на 120° по долготе и 60° по широте. Значительная часть имеющихся определений не удовлетворяет принятым в настоящее время палеомагнитным критериям надежности, однако даже при самой жесткой селекции данных, и выявлении из них наиболее «надежных», определить какое-либо преимущественное палеомагнитное направление не удастся. Таким образом, несмотря на колоссальные усилия, затраченные на решение этой задачи, венд-раннекембрийский интервал геологической истории оставался, по сути, «белым пятном» в палеомагнетизме Сибирской платформы. Результаты, полученные в данной работе, позволяют существенно продвинуться в решении этой проблемы.

Защищаемые положения

1. По изученным объектам юга Сибири получен ряд палеомагнитных полюсов, отвечающих трем временным уровням в объеме вендской системы: эдиакарий (~560Ma), конец эдиакария – начало немакит-далдына (~550Ma) и немакит-далдын (~540Ma). Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

А) В позднем венде – раннем кембрии Сибирская платформа нахо-

дилась в тропических и субтропических широтах южного полушария и была обращена к северу своей южной (в современных координатах) окраиной. В течение эдиакария, Сибирь испытывала южный дрейф ($\sim 25^\circ$), без существенных разворотов. К концу эдиакария Сибирская платформа находилась в самой южной точке своего пути за последние 560 млн. лет. С рубежа эдиакарий – немакит-далдын и вплоть до начала раннего кембрия (томмот) Сибирь претерпела существенный разворот по часовой стрелке ($\sim 55^\circ$), и незначительный северный дрейф.

Б) Распад фрагмента Родинии «Сибирь-Лаврентия» должен был произойти в доэдиакарское время.

В) Вендский сегмент сибирской КМП находится в Индийском океане, что противоречит существовавшему ранее представлениям о Тихоокеанском тренде позднерифейских и вендских полюсов и предполагает изменение принятой сейчас полярности палеомагнитных направлений для рифея Сибири.

2. В осадочных породах позднейшего венда юга Сибири обнаружен необычный характер палеомагнитной записи. Анализ мировых палеомагнитных данных для венда – раннего кембрия показывает, что данное явление имеет планетарный масштаб и может рассматриваться как результат аномального поведения геомагнитного поля в это время. Полученные палеомагнитные результаты противоречат гипотезе Inertial Interchange True Polar Wander (Kirschvink et al., 1997).

3. В вендских породах Енисейского Кряжа, Присаянья и Юго-Западного Прибайкалья широко распространено региональное перемагничивание поздневендско-раннекембрийского возраста, отражающее, по-видимому, крупное тектоно-термальное событие, происшедшее на юге Сибирской платформы в это время.

Теоретическое и практическое значение

Результаты палеомагнитных исследований, полученные в ходе настоящей работы, могут служить основой для различных тектонических построений и 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 венд-кембрийского времени. Полученный вендский тренд палеомагнитных полюсов позволяет адекватно связать рифейский и фанерозойский участки кривой кажущейся миграции полюса Сибирской платформы и определить полярность палеомагнитных направлений мезо- и неопротерозоя, что является ключевым моментом в вопросе о вхождении Сибири в состав суперконтинента Родиния и о самой возможности существования этого суперконтинента.

Полученные данные также необходимы для тестирования моделей формирования Центрально-Азиатского складчатого пояса и в целом для понимания геологической и тектонической эволюции нашей планеты на рубеже докембрия и фанерозоя.

Представление работы на конференциях, совещаниях и семинарах

Результаты, полученные в ходе настоящей работы, были представлены на 15-ти Всероссийских и Международных научных конференциях и совещаниях, это: Молодежная конференция памяти Л.А. Яншина (г.Москва), 2001, 2003; конференция Межведомственного тектонического комитета «Эволюция тектонических процессов в истории Земли» (г.Москва), 2004; Совещание по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 (пос. Борок), 2004 (г.Казань); конференция «Строение и история развития платформ и подвижных поясов Евразии» (г. Москва), 2000; конференция по тектонике плит памяти Л.П. Зоненшайна (г.Москва), 2001; конференция «Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков» (г. Москва), 2002; конференция «Problems of geocosmos» (г. Санкт-Петербург), 2000; конференция европейского геофизического общества (г.Ницца), 2000; конференция «Строение литосферы и геодинамика» (г.Иркутск), 2005, а также были неоднократно доложены на Общественном семинаре по магнетизму и палеомагнетизму в ИФЗ РАН.

Публикации

В общей сложности по теме диссертационной работы подготовлено 23 публикации, из них 5 статей в реферируемых журналах, и одна в научном сборнике «Проблемы тектоники Центральной Азии», 17 - тезисы конференций и статьи в сборниках по материалам конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения и списка литературы из 167 наименований. Объем диссертации – 138 страниц текста, 58 рисунков и 21 таблица.

Благодарности

Работа была выполнена в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 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.

В первую очередь я хочу поблагодарить своего научного руководителя В.Э. Павлова, по инициативе которого я занялся изучением палеомагнетизма венда Сибири, да и палеомагнетизмом вообще.

За неоценимую помощь в проведении полевых исследований и за ценные консультации по геологии и тектонике юга Сибири автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам Института Земной коры СО РАН (Иркутск): Е.В. Склярову, А.М. Мазукабзову, А.М. Станевичу, Д.П. Гладкочубу, Т.В. Донской, Е.Ф. Летниковой и А.В. Иванову. Отдельные полевые сезоны были проведены совместно с И.В. Коровниковым и Б.Б. Кочневым (ИГНГ СО РАН, Новосибирск), на всех этапах исследования я пользовался их многочисленными консультациями по стратиграфии региона, в значительной степени сформировавшими мои взгляды на проблемы стратиграфии позднего докембрия и раннего кембрия Сибири. Я выражаю благодарность А.А. Постникову (ИГНГ СО РАН, Новосибирск), предоставившему автору некоторые палеомагнитные коллекции. Автор также благодарен В.С. Федоровскому и Н.М. Чумакову (ГИН РАН, Москва) за консультации по вопросам структурной геологии Байкальского региона. Я благодарен П.Ю. Петрову (ГИН РАН, Москва) с которым мы делили все тяготы Учуро-Майской экспедиции 1998 года.

Отдельно хочется поблагодарить московских коллег в области палеомагнетизма за полезные рекомендации и постоянную моральную поддержку, это: Г.З. Гурарий, А.Н. Диденко, Н.М. Левашова, М.Л. Баженов, М.В. Алексютин, В.М. Трубихин и А.В. Гарбузенко (ГИН РАН), В.А. Большаков, В.Н. Вадковский и Н.В. Лубнина (МГУ), Д.В. Коваленко (ИГЕМ РАН) а также Д.М. Печерский, В.Ю. Водозов, Р.В. Веселовский и все сотрудники лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН. Работа существенно выиграла вследствие своевременных критических замечаний новосибирских коллег – А.Ю. Казанского, Д.В. Метелкина и Н.Э. Михальцова (ИГ СО РАН), которым автор также благодарен. Выражаю искреннюю признательность палеомагнитологам ВНИГРИ (Санкт-Петербург) – первопроходцам палеомагнетизма Сибирской платформы А.Н. Храмову, В.П. Родионову, Р.А. Комиссаровой, Е.Л. Гуревичу, А.Г. Иосифиди и В.В. Попову, с которыми я неоднократно обсуждал результаты исследований.

Спасибо С.В. Шипунову (ВСЕГЕИ, СПбГУ, Санкт-Петербург) за обсуждение материала на стадии обработки коллекций и предварительной интерпретации, а также за предоставление палеомагнитных компьютерных программ, использованных в работе. Автор выражает благодарность С.А. Писаревскому (TSRC, Университет Западной Австралии, г.Перт),

который взял на себя труд по магнитным чисткам отдельных коллекций, а также консультировал автора по некоторым вопросам палеомагнетизма докембрия.

В заключение хочется поблагодарить двух прекрасных девушек – О. Печенкину и Ю. Осадчую (компания Art project, Москва) за подготовку цветной графики диссертационной работы и пр. Этот список не исчерпывает имена всех тех, с кем мне посчастливилось работать и общаться и кто в той или иной степени влиял на выполнение диссертационной работы, всем вам я говорю – СПАСИБО!

Глава 1. Краткий обзор важнейших этапов геодинамической эволюции Сибирского кратона

В главе рассмотрены современные взгляды на тектоническую эволюцию Сибирской платформы, от стадии кратонизации в позднем архее-раннем протерозое, до кайнозоя. Среди важнейших этапов геодинамической эволюции Сибирского кратона выделены: архей-протерозойский, мезо-неопротерозойский, вендский, раннеордовикский, средне-верхне-палеозойский, пермо-триасовый, мезозойский и кайнозойский. Описаны главные геологические события и особенности тектоники Сибири, характеризующие каждый этап. Рассмотрены существующие модели формирования Центрально-Азиатского складчатого пояса в контексте проблемы происхождения раннедокембрийских микроконтинентов, входящих в его структуру.

Процессы аккреции и коллизии, складчатых деформаций, рифтогенеза, магматизма и метаморфизма, происходившие в геологическом прошлом по периферии Сибирского кратона и в его пределах имеют непосредственную взаимосвязь с палеомагнитной записью, которую несут в себе породы платформы. Анализ геологических событий, сформировавших современный лик Сибирской платформы, имеет важное, а порой и определяющее значение для понимания и расшифровки палеомагнитной записи в породах платформенного чехла.

Глава 2. Обзор и критическая оценка палеомагнитных данных для конца рифея, венда и раннего кембрия Сибирской платформы

Собраны и представлены в виде таблицы все полученные к настоящему времени палеомагнитные определения по позднему рифею, венду и раннему кембрию Сибирской платформы. Общее число единичных определений — 89.

Таблица 1 Палеомагнитные определения для конца рифея, венда и раннего кембрия Сибирской платформы, удовлетворяющие критериям надежности №2 и 3 Van der Voo (1993)

№	возраст	свита / серия / комплекс	объект	φ	λ	n	N	Φ	Λ	A95, dp/dm	источник
1	Є ₁ tom	нохтуйская свита	р.Б.Патом	60	116	2	81	-30	71	2,7/5,3	Константинов, 1998
1R	С поправкой на раскрытие Вилюйского рифта, согласно Павлов и др., 1997 (Эйлеровский полюс Φ=60; Λ=116; поворот 20° против час. стрелки)							-32,6	83,9		
2	Є ₁ tom-atd	пестроцветная свита	р.Лена	61	126,8		50	-16,6	64,5	3,1/6,2	Kirschvink, Rozanov, 1984
2R	С поправкой на раскрытие Вилюйского рифта, согласно Павлов и др., 1997 (Эйлеровский полюс Φ=60; Λ=116; поворот 20° против час. стрелки)							-18,4	79,8		
3	Є ₁ tom-Є ₂ amg	еркекетская свита	р.Хорбусуонка	71,5	124	1	28	-52,2	136,1	5,3/7,7	Gallet et al., 2003
4	V ₂ nd-Є ₁ tom	переход хараюттехской и тусерской свит	р.Лена	71,1	127,4	1	25	-53,4	164,1	6,2/8,5	Павлов и др., 2004
5	V ₂ nd	шаманская свита	р.Иркут	52,1	103,8	1	40	-32	71,1	6,9/13,8	Kravchinsky et al., 2001
6	V ₂ nd	ушаковская свита	р.Лена	54	108		32	-2,7	168,8	5,5/10,1	Pisarevsky et al., 2000
7	R ₃ (740Ma)	нерсинский комплекс	р.Онот, Китой	52	103	15	71	-3,4	21,7	1,9/3,8	Константинов и др. в печати
8	R ₃	нерсинский комплекс	р.Бирюса	55,5	98	6	63	-22,7	129,8	12,2	Метелкин и др., 2005
9	R ₃	карагасская серия	р.Бирюса	55,5	98	3	24	-6,3	110,7	20,3	Метелкин и др., 2005

φ, λ - широта и долгота объекта; n, N - количество сайтов и образцов; Φ, Λ - широта и долгота палеомагнитного полюса; A95, dp/dm - радиус овала доверия, полуоси овала доверия

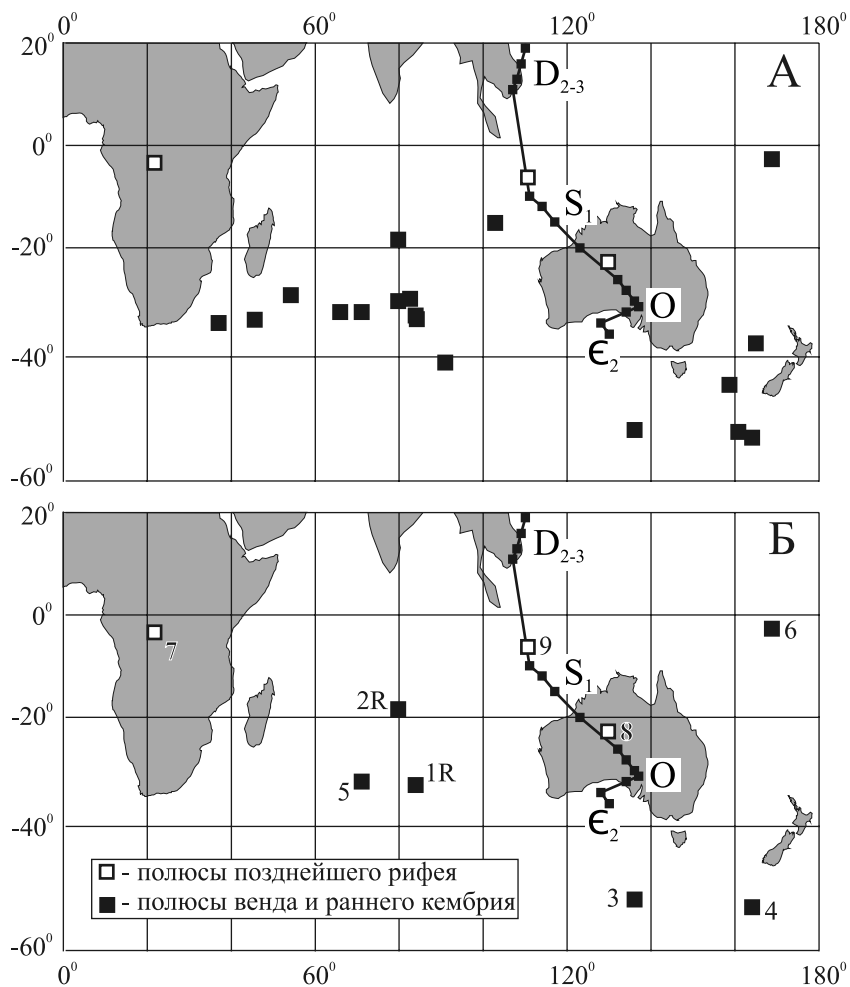


Рис. 1 Палеомагнитные полюсы для конца рифея, венда и раннего кембрия Сибирской платформы, удовлетворяющие критериям надежности №3 Van der Voo (1993) (А); № 2 и 3 (Б). Кривая КМП Сибирской платформы согласно Smethurst et al., 1998. Номера полюсов соответствуют номерам в таблице 1.

Для каждого палеомагнитного определения, в соответствии с последними достижениями геохронологии, био- и хемотратиграфии, уточнен возраст пород по которым оно получено. Показано, что большая часть

из имеющихся определений не удовлетворяет современным критериям палеомагнитной надежности: только 27 определений получены с применением детальных температурных чисток всего объема коллекций (рис. 1А), из которых только 9 (рис. 1Б) имеют значимый статистический «вес» (количество образцов вошедших в статистику не меньше 24). Из 9 определений (табл. 1, рис. 1Б), прошедших селекцию по качеству магнитных чисток и статистическим параметрам (критерии № 3 и № 2 по схеме Van der Voo, 1993), на позднейший рифей приходится 3 определения, два из которых с большой вероятностью являются результатом раннепалеозойского перемагничивания. Остальные шесть определений, получены по породам немакит-далдынского, томмотского и тойонского возраста.

Поздневендские и раннекембрийские полюсы плохо согласуются, образуя разрозненные кластеры: три полюса располагаются в Индийском океане к востоку от о.Мадагаскар, два находятся южнее Австралии и один расположен в приэкваториальной области Тихого океана восточнее Соломоновых островов.

Проведенная ревизия имеющихся данных по позднему рифею, венду и раннему кембрию с очевидностью показала, что даже наиболее надежные палеомагнитные определения по этим возрастам нельзя привлекать для решения задач тектоники и палеомагнитологии, без их тщательной проверки и детализации. Таким образом, получение новых надежных палеомагнитных данных по позднему докембрию – раннему кембрию Сибирской платформы, на что и направлена настоящая работа, представляется весьма актуальным.

Глава 3. Геологическое описание районов работ и объектов исследований

Глава включает в себя разделы «Стратиграфия», «Тектоника и магматизм» и «Объекты исследования». В первых двух разделах приведено детальное описание изученных вендских разрезов, обоснование возраста отложений, особенностей тектонического строения осадочного чехла и проявлений магматизма по исследованным участкам Енисейского Кряжа, Присяня и Прибайкалья. Раздел «Объекты исследования» представляет собой таблицу, в которую сведены общие данные по всем изученным разрезам, включающие географические координаты, краткое описание пород, слагающих изученные стратиграфические уровни, их возраст, количество точек отбора и ориентированных образцов, также приведены авторские комментарии о полученном палеомагнитном результате (древняя или метахронная намагниченность, результат не интерпретируем). Все объекты исследования принадлежат структуре Сибирской платформы.

На Енисейском Кряже (Восточная зона) были изучены разрезы тасеевской серии ($R_3^? - V$), включающей алешинскую, чистяковскую и мошаконскую свиты, редколесной и островной свиты, позднего венда и климинской свиты, соответствующей по возрасту атдабанскому ярусу нижнего кембрия. На р. Тасеева были опробованы алешинская, чистяковская и климинская свиты. На р. Ангара в двух крупных обнажениях – ниже пос. Маньзя (левый берег) и на участке от устья руч. Гремячего до скалы Гребень (правый берег) опробовались чистяковская и мошаконская свиты. Отбор пород редколесной и островной свит производился у руч. Гремячего. Редколесная свита также опробовалась в двух обнажениях по р. Иркинеева. Все изученные образцы представлены красноцветными и зеленоцветными терригенными и реже карбонатными (островная свита) породами.

В Присяянье был изучен ряд удаленных объектов из трех регионов:

1. Западное (Бирюсинское) Присяянье — опробованы айсинская и усть-тагульская свиты поздневендского возраста в обнажениях по рекам Бирюса и Тагул;

2. Центральное Присяянье — опробованы поздневендские мотская и иркутская свиты по р. Урик;

3. Восточное (Иркутское) Присяянье — опробованы мотская и иркутская свиты по рекам Ода, Тойсук, Иркут и Олха. Из вендских пород отбирались красноцветные, реже зеленоцветные разности терригенного и терригенно-карбонатного состава;

4. Из поздневендских образований Юго-западного Прибайкалья опробовались пестроцветные терригенные породы куртунской свиты по рекам Хидуса, Шаманка и Куртун и зеленовато-серые песчаники ушаковской свиты по реке Куртун.

Глава 4. Методика и техника исследований

Методический и аппаратный уровень лабораторной обработки коллекций соответствует современным требованиям. Все коллекции прошли детальную температурную чистку до полного разрушения намагниченности с числом шагов от 15 до 20, в отдельных случаях детальность увеличивалась. Чистки коллекций проводились в пространстве, экранированном от внешнего магнитного поля на сквид-магнитометре 2G Enterprises и спин-магнитометрах JR-4 и JR-5A. Магнитоминералогические исследования пород выполнялись на термомагнитометре конструкции Ю.К. Виноградова. При компьютерной обработке результатов применялись пакеты программ палеомагнитного анализа Р. Энкина и С.В. Шипунова. При кластерном анализе распределения векторов на сфере использовалась программа «StereoNett v2.46» (автор J.P. Duyster).

Глава 5. Палеомагнетизм венда Юго-западного Прибайкалья и Восточного Присяянья

В породах немакит-далдынского яруса венда Ю-3 Прибайкалья и В. Присяянья, различающихся как по литологическому составу, так и по магнитным характеристикам присутствуют несколько компонент намагниченности разной природы, сохранившиеся в изученных объектах в различном сочетании (табл. 2).

А-компонента

Метахронная монополярная компонента выделяется на диаграммах Зийдервельда либо как «промежуточная», с деблокирующими температурами до 300-650°C, либо как «конечная», с деблокирующими температурами близкими к точкам Кюри гематита и редко магнетита. (Здесь и ниже «промежуточной» мы называем средне- и/или высоко-температурную компоненту, не идущую в начало координат диаграммы Зийдервельда). Эта компонента выделена в породах куртунской свиты Прибайкалья, где показан ее послескладчатый возраст, а также в переходной части мотской – иркутской свит в Присяянье (реки Иркут, Ода и Тойсук). Незначительные различия в элементах залегания пород в разрезах р. Иркут не позволяют однозначно говорить о времени образования «А» компоненты по отношению к деформациям Присяянья. В разрезах по рекам Тойсук и Ода компонента «А» определяется как послескладчатая. Сравнение средних направлений компоненты «А» по всем объектам указывает на ее послескладчатость.

На реке Ода, в переходной части мотской – иркутской свит зафиксирована также компонента «А2», выделяющаяся в интервале температур 200 - 580°C и являющейся промежуточной к «регионально-послескладчатой» компоненте А. Незначительные вариации в элементах залегания пород не позволяют применить тест складки. Мы рассматриваем эту компоненту как метахронную, что должно быть подтверждено в ходе дальнейших исследований.

В1-компонента

Выделяется в куртунской и ушаковской свитах Прибайкалья и в переходе мотской – иркутской свит на реках Иркут, Олха, Тойсук и Ода. На диаграммах Зийдервельда данная компонента выделяется как конечная, и иногда как промежуточная, разрушается при температурах, близких к точке Кюри гематита и (реже) магнетита. Определяется как доскладчатая, как в объемах сайтов (где возможно применение теста складки), так и при сравнении средних направлений; преимущественно монополярна, характеризуется северными склонениями и наклоном ~40°.

Таблица 2 Средние направления древних и метакрионных компонент намагниченности в разрезах позаднего венда Юго-Западного Прибайкалья и Восточного Присяянья.

Объект	свита	n/N	Географическая система координат				Стратиграфическая система координат				Тест складки	
			D	I	K	alfa95	D	I	K	alfa95	DC	NFT
Метакрионная компонента «А» (р.Куртун, Иркут, Ода, Тойсук)												
СРЕДНЕЕ для $\varphi=52,3$ $\lambda=103,4$	куртунская, мотская- иркутская	4/120	350,2	57,3	234,1	6,0	23,7	62,0	7,7	35,5	-	-
Метакрионная компонента «А2»												
р.Ода $\varphi=52,3$ $\lambda=103,6$	мотская- иркутская	1/19	320,0	36,0	47,8	4,9	317,4	37,8	44,8	5,1	?	?
Компонента «В1»												
р.Куртун $\varphi=52,7$ $\lambda=105,8$	куртунская	21+ 42cir	336,7	2,4	7,3	7,0	352,5	42,7	13,2	5,1	+	+
р.Куртун $\varphi=52,7$ $\lambda=105,8$	ушаковская	29	36,6	79,1	12,7	7,8	347,2	37,7	30,0	5,0	+	+/-
р.Иркут $\varphi=52,1$ $\lambda=103,7$	мотская- иркутская	22	356,0	42,2	20,1	6,8	356,7	40,3	20,2	6,8	+	?
р.Олха $\varphi=52,1$ $\lambda=104,1$	иркутская	12	356,0	60,6	9,5	14,9	359,9	43,0	22,6	9,3	+	+
р.Тойсук $\varphi=52,3$ $\lambda=103,3$	мотская- иркутская	23	326,7	36,2	9,9	10,1	337,8	43,2	21,3	6,7	+	+
р.Ода $\varphi=52,3$ $\lambda=103,6$	мотская- иркутская	8	359,1	25,6	54,7	7,6	358,4	30,1	69,8	6,7	?	?
СРЕДНЕЕ для $\varphi=52,7$ $\lambda=105,8$		6/115+ 42cir	348,7	42,4	7,6	25,9	353	40,1	99,3	6,8	+	+
Компонента «В2»												
р.Куртун $\varphi=52,7$ $\lambda=105,8$	куртунская	15	220,2	-5,3	6,6	16,1	224,9	0,2	6,0	17,0	?	?
р.Куртун $\varphi=52,7$ $\lambda=105,8$	ушаковская	16	248,9	-27,9	6,6	15,5	218,0	-8,4	7,1	14,8	?	?
р.Олха $\varphi=52,1$ $\lambda=104,1$	иркутская	11	28,2	30,1	62,3	5,8	25,8	5,3	102,1	4,5	+	+
р.Тойсук $\varphi=52,3$ $\lambda=103,3$	мотская- иркутская	23	33,4	12,6	9,6	10,3	37,0	2,4	11,2	9,5	+	?
р.Ода $\varphi=52,3$ $\lambda=103,6$	мотская- иркутская	7	31,8	-8,4	7,3	24	31,9	-7,4	7,4	23,7	?	?
СРЕДНЕЕ для $\varphi=52,7$ $\lambda=105,8$		5/72	41,1	15,2	14,4	20,9	36,6	3,1	86,1	8,3	+	+

φ и λ – географическая широта и долгота изученных объектов; n/N – количество сайтов/образцов;

D – склонение; I – наклонение; K – кучность; alfa95 – радиус овала доверия;

Тесты складки: DC – direction-correction fold test (Enkin, 2003); NFT – new fold test (Шипунов, 1995).

В2-компонента

Биполярная компонента, фиксируется в куртунской и ушаковской свитах Прибайкалья, в Присяянье выявлена в иркутской свите на реке Олха, а также в переходе мотской – иркутской свит на реках Тойсук и Ода, на р. Иркут встречается в единичных образцах. Характеризуется низкими наклонениями и СВ – ЮЗ склонениями, на диаграммах Зийдервельда выделяется либо как промежуточная либо как конечная. Доскладчатость компоненты «В2» доказана только в одном случае по малому количеству образцов (р.Олха), где она является промежуточной по отношению к «В1» компоненте. Сравнение средних по объектам для компоненты «В2» говорит о доскладчатом времени ее образования.

Глава 6. Палеомагнетизм венд-раннекембрийских отложений Енисейского Кряжа, Бирюсинского и Центрального Присяянья

Во всех изученных регионах породы венда и раннего кембрия имеют поликомпонентный состав намагниченности (табл. 3). Широко распространены промежуточные компоненты (не идущие в начало координат диаграмм Зийдервельда), сформировавшиеся на различных этапах деформации толщ.

Промежуточные компоненты намагниченности, как правило, монополярны, при магнитных чистках выделяются в среднетемпературном интервале, примерно от 200 до 600°С. Промежуточные компоненты намагниченности были выявлены в следующих объектах:

1. Мотская и иркутская свиты Центрального Присяянья в обнажениях по р. Урик. В связи с незначительными вариациями в элементах залегания изученных толщ тесты складки применить не удалось.

2. Айсинская и усть-тагульская свиты Бирюсинского Присяянья в обнажениях по рекам Бирюса и Тагул. Выделенные компоненты намагниченности доскладчатые, средние направления по свитам статистически не различаются и поэтому могут быть объединены.

3. Чистяковская, мошаконская и островная свиты Енисейского Кряжа из обнажения «Гребень» по р. Ангара. Доказана синскладчатость намагниченности (максимальная кучность распределения векторов достигается при 60%-ом пропорциональном распрямлении складки).

4. Климинская свита разреза «Дыроватый Утес» по р. Тасеева (Енисейский Кряж). Намагниченность послескладчатая.

Описанные компоненты намагниченности распространены в удаленных регионах, присутствуют в породах различного состава и возраста и образовались на разных этапах деформации осадочных толщ (до- син-

Таблица 3 Средние направления древних и метакронных компонент намагниченности в разрезах венда – раннего кембрия Центрального и Бирюсинского Присяянья и Енисейского Кряжа.

Объект	свита	n/N	Географическая система координат				Стратиграфическая система координат				Тест складки	
			D	I	K	alfa95	D	I	K	alfa95	DC	NFT
Метакронные компоненты												
р.Урик $\varphi=52,8 \lambda=101,7$	мотская и иркутская	24	349,5	45,8	29,2	5,6	349,8	42,7	26,8	5,8	?	?
р.Бирюса, Тагул $\varphi=55,5 \lambda=97,75$	айсинская и усть-тагульская	8/112	325,4	43,5	106	5,4	342,8	39,0	244,9	3,5	+	+
р.Ангара (обн.Гребень) $\varphi=58,2 \lambda=95,0$	чистяковская, мошакская и островная	8/65	320,5	40,5	31,6	10,0	324,7	45,0	42,9	8,6	+	2-компоненты или синскладчатая
Тест на синскладчатость (непропорциональное распрямление складки методом пересечения малых кругов)						Kmax=211,7 при D=323,2 и I=43,2 alfa95=3,7				синскладчатая		
р.Тасеева $\varphi=57,8 \lambda=94,7$	климинская	20	323,3	53,3	20,7	7,4	310,5	19,7	14,6	8,8	-	-
р.Тасеева $\varphi=57,8 \lambda=94,5$	алешинская	17	0,8	49,7	34,3	6,2	118,3	-0,4	25,4	7,2	-	-
Древние компоненты												
Суммарное распределение НТ1 для $\varphi=58,2 \lambda=95,0$	мотская, иркутская, усть-тагульская и островная	3/45	352,2	49,5	94,5	12,8	0,4	45,8	404,5	6,1	+	+
Суммарное распределение НТ2 для $\varphi=58,2 \lambda=95,0$	мотская, иркутская, усть-тагульская и островная	11	197,3	-7,5	28,2	8,8	198,1	1,1	51,8	6,4	+	+
р.р.Ангара, Иркинсева для $\varphi=58,2 \lambda=95,0$	редколесная	8/60	355,9	52,2	38,9	9,0	15,3	50,0	146,3	4,6	+	+
р.Бирюса, Тагул $\varphi=55,5 \lambda=97,75$	айсинская	4/43	11,9	32,1	24,6	18,9	17,3	14,4	32,1	16,5	?	?
р.Ангара (обн. Гребень и Маньзя) $\varphi=58,2 \lambda=95,0$	чистяковская и мошакская	9/42	13,4	9,6	25,4	10,4	16,6	5,2	36,5	8,6	+	?
р.Тасеева $\varphi=57,8 \lambda=94,5$	алешинская	17	23,8	-8,4	10	11,8	58,6	26,6	14,7	9,6	+	+

Пояснения см. в таблице 2.

Тест на синскладчатость проводился при помощи пакета программ С.В. Шипунова «SELECT»

и послескладчатые). При этом палеомагнитные полюсы, рассчитанные для данных компонент, локализованы в одной области земного шара к югу от Австралии (рис 2А) и близки к полюсам раннего кембрия Сибири (Pisarevsky et al., 1997; Gallet et al., 2003; Павлов и др., 2004). Это указывает, с одной стороны, на метахронность этих компонент намагниченности, а, с другой, на близкий, обусловленный единым процессом перемагничивания возраст их формирования, соответствующий, вероятно, позднему венду – раннему кембрию.

Высокотемпературные конечные компоненты намагниченности.

Породы алешинской свиты из обнажения р.Тасеева обладают сложным компонентным составом. Все компоненты намагниченности, зафиксированные в толщах алешинской свиты, обладают высокой устойчивостью к температурным воздействиям и в большинстве случаев выделяются как «конечные» с блокирующими температурами близкими к T_c гематита. Формальное разделение компонент намагниченности в данном объекте, стало возможным лишь с применением методов кластерного анализа. В результате было выявлено три компоненты намагниченности: биполярная доскладчатая, предположительно являющаяся первичной, и две послескладчатых метахронных компоненты, одна из которых (далее не рассматривается) совпадает с направлением современного магнитного поля для данного региона.

Древний палеомагнитный сигнал, записанный в породах, соответствующих по возрасту немакит-далдынскому ярусу венда (мотская, иркутская, усть-тагульская и островная свиты) по своему характеру поразительно напоминает запись в толщах этого уровня В.Присяня и Ю-3 Прибайкалья. Здесь также фиксируется присутствие двух сильно различающихся компонент намагниченности — преимущественно монополярной северных склонений и умеренных наклонений (НТ1) и биполярной СВ-ЮЗ склонений и низких наклонений (НТ2). К сожалению, разделение этих компонент сопряжено с определенными сложностями, что связано в первую очередь с «шумным» сигналом и значительным разбросом векторов биполярной компоненты (НТ2), а также малым количеством образцов, в которых она зафиксирована. Поэтому при расчете средних направлений данных компонент все единичные векторы по образцам из объектов Центрального и Бирюсинского Присяня и Енисейского края были объединены (с пересчетом склонений и наклонений на общую географическую точку), и далее для разделения компонент применялся кластерный анализ. Разделенные таким образом компоненты намагниченности определяются как доскладчатые.

На Енисейском Кряже в породах редколесной свиты позднеэдиакарско – ранненемакит-далдынского возраста, в обнажениях по р. Иркинеева и в разрезе близ руч. Гремячий правого берега р. Ангара выделена доскладчатая биполярная компонента намагниченности. В обнажениях р. Иркинеева эта компонента успешно проходит тест обращения. Доскладчатость намагниченности, наличие антиподальных групп векторов, отличие расчетного палеомагнитного полюса от всех известных более молодых полюсов Сибирской платформы, близость средних направлений, полученных по удаленным разрезам — все это дает основание полагать, что выделенная в редколесной свите компонента образовалась во время формирования пород или вскоре после.

В айсинской свите Бирюсинского Присянья и чистяковской и мошаконской свитах Енисейского Кряжа, соответствующих по возрасту эдиакарию, выделены биполярные компоненты намагниченности. Тест складки для древней компоненты айсинской свиты (рек Бирюса и Тагул) определенного результата не дает, древняя компонента намагниченности чистяковской и мошаконской свит (р. Ангара, разрезы «Маньзя» и «Гребень») доскладчатая. Близость биполярных палеомагнитных направлений, выявленных в породах эдиакария Бирюсинского Присянья и Енисейского Кряжа, наличие зон прямой и обратной полярности, положительный тест складки и обращения для пород чистяковской и мошаконской свит, а также их отличие от палеозойских и более молодых направлений Сибири указывают на то, что намагниченность в породах айсинской, чистяковской и мошаконской свит образовалась во время или вскоре после осадконакопления, т.е. в начале позднего венда.

Глава 7. Особенности поведения геомагнитного поля на границе докембрия и фанерозоя

В осадочных толщах верхнего венда юга Сибири (ушаковская, куртунская, мотская, иркутская, усть-тагульская и островная свиты), отвечающих немакит-далдынскому ярусу, систематически встречаются два значительно различающихся палеомагнитных направления. Перечислим основные характеристики этих направлений:

- Оба направления присутствуют в разрезах, удаленных друг от друга на десятки и сотни километров, представляющих области Сибирской платформы с различающейся историей геологического развития. Оба направления совместно встречаются во всех изученных объектах, что не позволяет объяснить их существование влиянием локальной тектоники.
- Одно из этих направлений (В1 для Ю-З. Прибайкалья и В. Присянья и НТ1 для Енисейского Кряжа, Центр. и З. Присянья), как правило, бо-

лее четкое и характеризуется средними положительными наклонениями и северными склонениями. Преимущественно монополярно, определяется как доскладчатое, как в объеме сайтов, так и при сравнении средних направлений по сайтам.

- Другое направление (B2 для Ю-З. Прибайкалья и В. Присяянья и НТ2 для Енисейского Кряжа, Центр. и З. Присяянья) – биполярно, характеризуется низкими наклонениями и СВ-ЮЗ склонениями. Тест складки в объемах сайтов в большинстве случаев определенного результата не дает, что, вероятно, обусловлено «шумным» палеомагнитным сигналом, однако при сравнении средних направлений по сайтам становится очевидным доскладчатый возраст намагниченности.

- В непрерывных монофациальных разрезах эти направления неоднократно сменяют друг друга, находясь в сложном сочетании. Не обнаружено какой-либо приуроченности направлений к определенному типу пород. Данные компоненты намагниченности не зависят от магнитной минералогии пород.

- Направление B2 и НТ2 выделяется обычно как конечное, или как промежуточное по отношению к B1 и НТ1, однако иногда наблюдаются и обратные взаимоотношения.

- Угол между полюсами, рассчитанными для этих направлений, составляет $\sim 45^\circ$.

- Оба направления статистически значимо отличаются от всех известных фанерозойских полюсов Сибири, что в определенной мере указывает на докембрийский возраст их образования.

Региональное распространение описанных компонент намагниченности, их независимость от локальных геологических и тектонических факторов, доскладчатость намагниченности и значимое отличие рассчитанных полюсов от более молодых полюсов Сибирской платформы указывают на то, что данные палеомагнитные направления образовались во время или вскоре после накопления пород то есть в позднем венде.

Наличие двух несогласующихся направлений в породах нижнего кембрия уже обсуждалось ранее (Smethurst et al., 1998; Казанский, 2002), однако при этом априорно предполагалось, что одно из этих направлений либо «случайно», либо, что касается полюсов, близких к среднекембрийским полюсам Сибири, является результатом перемагничивания в среднем кембрии. Отметим здесь, что интерпретация томмотско-атдабанского полюса Сибири (Kirschvink, Rozanov, 1984), как единственно возможного, служила аргументацией гипотезы ПТРВ (Kirschvink et al., 1997).

Полученные в настоящей работе независимые результаты показывают, что «конкурирующие» палеомагнитные направления существуют объективно и не являются артефактом лабораторной обработки.

Одновременное присутствие в породах двух сильно различающихся палеомагнитных направлений проще всего объяснить, допустив, что одно из них является результатом последующего перемагничивания. Однако, в нашем случае, такое объяснение встречает определенные трудности: оба направления отличаются от всех послевендских направлений Сибири, т.е. ни одно из них не может рассматриваться как метакхронное. Даже, если предположить, что немакит-далдынские и томмотские полюсы Сибири (настоящая работа; Павлов и др., 2004), располагающиеся южнее Австралии, на самом деле являются метакхронными и имеют тойонский или среднекембрийский возраст, или представляют собой суперпозицию разнонаправленных и разновозрастных компонент намагниченности, мы должны принять, что в интервале с конца эдиакария по тойон сибирский полюс должен был испытывать значительные скачкообразные возвратно-поступательные движения по траектории: полюс редколесного времени – полюс Киршвинка – тойонский полюс. Это означает, что помимо эпизода истинного смещения полюса (TPW), предложенного Киршвинком, должен был существовать, по крайней мере, еще один эпизод «TPW», при этом в интервале ~20 млн. лет сибирский полюс сместился примерно на 100°, сначала с юга на север, а затем на северо-восток, что представляется слишком искусственным и маловероятным. Таким образом, в рамках имеющихся представлений о структуре геомагнитного поля ни гипотеза ПТРW, ни гипотеза перемагничивания не дают какого-либо, логичного объяснения наблюдаемому характеру палеомагнитной записи. Возможно, такое объяснение следует искать в некоторой специфике магнитного поля в конце венда – начале кембрия.

Анализ мировых палеомагнитных данных, для венда – раннего кембрия (Shatsillo et al., 2005) показал, что наличие «конкурирующих» направлений можно рассматривать как явление планетарного масштаба (палеомагнитные данные по Лаврентии — Johnnie Formation; Unicoi Basalts; Catoctin Basalts; Buckingham Volcanics; Double Mer Formation; Long Range Dykes; Callander Complex; Sept Iles Complex; по Балтике — Winter Coast; Alnon Complex (Van Alstine, Gillett, 1979; Brown, Van der Voo, 1982; Meert et al., 1994; Murthy et al., 1992; Simons, Chiasson, 1991; Tanczyk et al., 1987; Popov et al., 2002; Piper, 1981)), что является веским аргументом в пользу гипотезы об аномальном поведении геомагнитного поля в это время, предложенной впервые в работе (Павлов и др., 2004). Наблюдаемый характер палеомагнитной записи может быть объяснен наличием двух

квазистабильных режимов генерации геомагнитного поля, периодически сменяющих друг друга — «нормального» и «аномального». Исходя из принципа минимизации перемещений, монополярные направления (B1 и НТ1), следует считать результатом нормального режима генерации поля, при котором центральный осевой диполь соответствовал оси вращения Земли, а B2 и НТ2 — аномального, характеризующегося частой сменой полярности и отклонением диполя на угол около 45 градусов от оси вращения, либо результатом значительного вклада недипольных составляющих в геомагнитное поле венд – раннекембрийского времени.

Полученные по позднему венду палеомагнитные данные противоречат гипотезе ПТРW (Kirschvink et al., 1997), поскольку (а) не согласуются с предположением о фанерозойском перемагничивании и (б) требуют еще одного эпизода «ТРW» в течение относительно короткого интервала времени. Предлагаемая модель является альтернативной по отношению к гипотезе Киршвинка.

В качестве тектонического приложения к модели предложена методика построения «абсолютных» палеотектонических реконструкций, с определением относительной долготной разницы между тектоническими блоками, базирующаяся на данных по «нормальным» и «аномальным» направлениям. В частности выполнена «абсолютная» палеорекострукция для Сибири и Лаврентии (Шацилло, 2006), согласно которой в конце венда эти кратоны находились на значительном удалении друг от друга по долготе, при близких палеоширотах.

Глава 8. Венд-раннекембрийский сегмент кривой кажущейся миграции полюса Сибирской платформы

Как видно (рис. 2А, табл. 4) рассчитанные палеомагнитные полюсы по первичным компонентам намагниченности образуют закономерный тренд из южной оконечности Африки, через Индийский океан в направлении Новой Зеландии, от ранне- начало поздневендских (алешинская свита) к более молодым немакит-далдынским полюсам, плавно приближаясь к полюсам раннего и среднего кембрия. Здесь необходимо отметить, что полюс алешинской свиты получен только по одному обнажению и нуждается в проверке, поэтому ранневендский сегмент кривой проведен условно. В целом, надежные палеомагнитные определения получены для трех временных уровней: эдиакарий (~560Ма), конец эдиакария – начало немакит-далдына (~550Ма) и немакит-далдын (~540Ма).

Полученные данные находятся в противоречии с имеющимися представлениями о тихоокеанском тренде кривой КМП Сибири в рифее-венде (Smethurst et al., 1998 и др.), согласно которым рифейские палеомагнитные полюсы Сибирской платформы, находившиеся в Тихом океане,

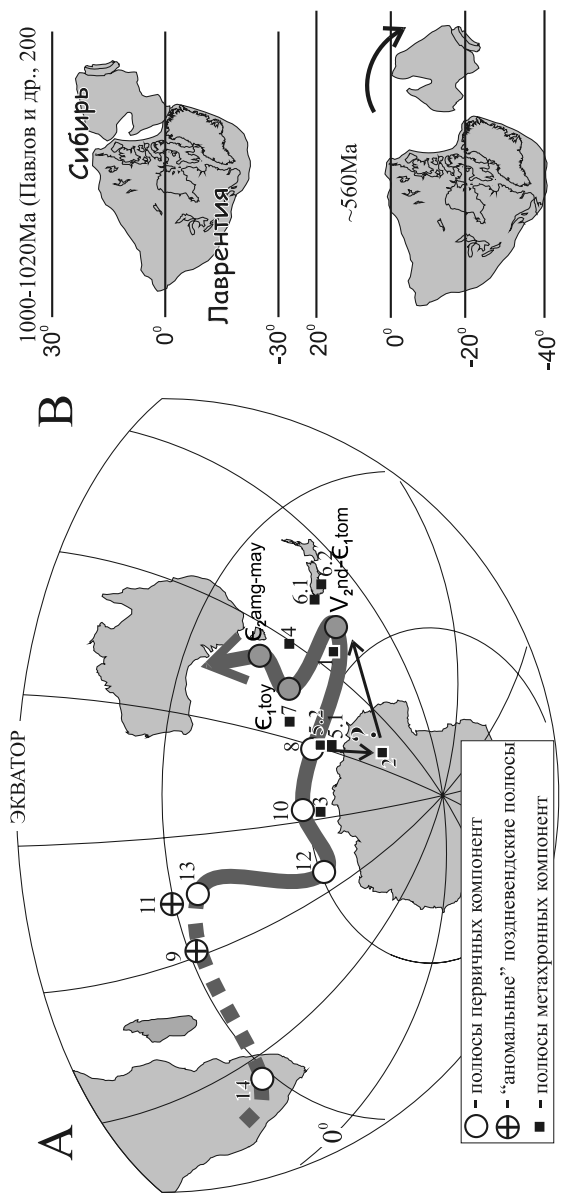


Рис. 2

А - Венд-кембрийский сегмент КМП Сибирской платформы. Номера полюсов соответствуют номерам в таблице 4. Полюсы для раннего и среднего кембрия согласно Павлов и др., 2004 и Gallet et al., 2003.

Б - Палеогеографическое положение Сибирской платформы в позднем венде.

В - Сибирь и Лаврентия в среднем рифее и венде.

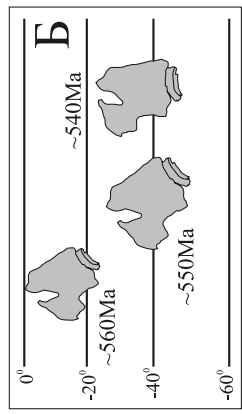


Таблица 4 Рассчитанные палеомагнитные полюсы.

Объект	свита	возраст пород	№	Φ	Λ	A95 dp/dm
Полюсы послескладчатых метакриновых компонент						
р.Тасеева φ=57,8 λ=94,7 (по образцам)	климинская	E ₁ atd	1	-55,7	156,5	7,1/10,3
Средний для А-комп. Ю-3 Прибайкалья и В.Присяня (по сайтам)	куртунская, мотская- иркутская	V ₂ nd	2	-73,7	134,4	7,5
р.Тасеева φ=57,8 λ=94,5 (по образцам)	алешинская	V ₁ -V ₂ edc	3	-62,7	93,0	5,5/8,3
Полос синккладчатой метакриновой компоненты Енисейского Кряжа						
р.Ангара (обн,Гребень) φ=58,2 λ=95,0 (по сайтам)	чистяковская, мошакская и островная	V ₂ edc - V ₂ nd	4	-48,0	149,1	3,6
Полос метакриновой компоненты Центрального Присяня						
р,Урик если послескладчатая φ=52,8 λ=101,7 если доскладчатая (по образцам)	мотская и иркутская	V ₂ nd	5.1	-63,8	122,8	6,3
			5.2	-61,5	121,1	6,5
Полос метакриновой компоненты Восточного Присяня (компонента «А2»)						
р.Ода если послескладчатая φ=52,3 λ=103,6 если доскладчатая (по образцам)	мотская- иркутская	V ₂ nd	6.1	-45,1	164,6	4,3
			6.2	-44,7	168,4	4,6
Полос доскладчатой метакриновой компоненты Бирюсинского Присяня						
р,Бирюса, Тагул φ=55,5 λ=97,75 (по сайтам)	айсинская и усть-тагульская	V ₂ edc - V ₂ nd	7	-54,2	125,7	3,2
Полюсы первичных компонент намагниченности						
Средний для В1-комп. Ю-3 Прибайкалья и В.Присяня для φ=52,7 λ=105,8 (по сайтам)	ушакская куртунская, мотская- иркутская	V ₂ nd	8	-59,7	118,6	6,4
Средний для В2-комп. (по сайтам) Ю-3 Прибайкалья и В.Присяня для φ=52,7 λ=105,8	ушакская куртунская, иркутская	V ₂ nd	9	-30,5	62,0	5,9
Средний для НТ1-комп. Ц., Бир.Присяня и Ен.Кряжа для φ=58,2 λ=95,0 (по сайтам)	мотская, иркутская, усть- тагульская, островная	V ₂ nd	10	-59,0	94,3	5,0/7,8
Средний для НТ2-комп. Ц., Бир.Присяня и Ен.Кряжа для φ=58,2 λ=95,0 (по образцам)	мотская, иркутская, усть- тагульская, островная	V ₂ nd	11	-29,5	74,1	4,5
р.р.Ангара, Иркинева для φ=58,2 λ=95,0 (по сайтам)	редколесная	V ₂ edc-nd	12	-60,8	68,1	5,1
Средний виртуальный полюс для Бир.Присяня и Ен.Кряжа для φ=58,2 λ=95,0	айсинская, чистяковская, мошакская	V ₂ edc	13	-35,1	75,1	6,3
р.Тасеева φ=57,8 λ=94,5 (по образцам)			V ₁ -V ₂ edc	14	-28,3	24,3

φ, λ - широта и долгота объекта; Φ, Λ - широта и долгота палеомагнитного полюса; A95, dp/dm - радиус овала доверия, полуоси овала доверия

рассматривались как северные. «Индоокеанский» вендский тренд является веским доводом в пользу изменения принятого сейчас направления полярности палеомагнитных направлений для рифея Сибирской платформы. Исходя из «Индоокеанского» вендского тренда северные палеомагнитные полюсы для среднего-позднего рифея Сибири должны располагаться в районе экваториальной Африки.

Полюсы метакронных компонент в общих чертах повторяют тренд поздневендско-раннекембрийских полюсов (рис. 2А), это может означать, что процессы перемагничивания происходили от момента образования пород и до начала среднего кембрия. Однако наличие син- и послескладчатых компонент намагниченности подразумевает проявление складчато-деформационных процессов в раннекембрийское (рис 2А полюсы 1,4), или даже в немакит-далдынское (рис. 2А полюсы 2, 3) время. Геологические данные (Сулимов, 1970) не противоречат раннекембрийскому времени, синскладчатого перемагничивания Енисейского Кряжа (рис. 2А полюс 4), которое (как и возраст деформаций), может быть определено как ботомско-тойонское (Шацилло, 2004). Доскладчатое перемагничивание Бирюсинского Присяянья (рис. 2А полюс 7) может иметь либо тойонский, либо немакит-далдынский возраст. Метахронная компонента Центрального Присяянья (рис. 2А полюс 5.1 или 5.2) по всей видимости, сформировалась в немакит-далдынское время, вскоре после накопления пород. Однако, в отдельных случаях, предположение о послескладчатом поздневендско-раннекембрийском перемагничивании приходит в противоречие с имеющимися геологическими данными о возрасте складчатости (Мазукабзов, 2003 и др.). Это особенно касается послескладчатой компоненты «А» Юго-западного Прибайкалья и Восточного Присяянья (рис. 2А полюс 2). Мы надеемся, что в дальнейшем комплексные палеомагнитные и структурно-геологические исследования позволят разрешить это противоречие. В целом, широкое развитие процессов перемагничивания в позднейшем венде и раннем кембрии говорит о наличии крупного тектоно-термального события, охватившего южную окраину Сибирской платформы в это время и связанного, вероятно, с начальными стадиями закрытия Палеоазиатского океана.

Полученные данные по первичным компонентам намагниченности позволяют определить палеогеографическое положение Сибирской платформы и кинематику ее перемещений в позднем венде (рис. 2Б). Согласно нашим результатам в интервале с эдиакария по ранний кембрий Сибирская платформа находилась в тропических и субтропических широтах южного полушария и была обращена к северу своей южной (в

современных координатах) окраиной. Начиная с эдиакарского времени, Сибирь испытывает южный дрейф ($\sim 25^\circ$), без существенных разворотов. К концу эдиакария Сибирская платформа находилась в самой южной точке своего пути за последние 560 млн. лет — таймырская ее окраина в это время была на широте $\sim -50^\circ$. С рубежа эдиакарий – немакит-далдын и вплоть до начала раннего кембрия (томмот) Сибирь испытывает существенный разворот по часовой стрелке ($\sim 55^\circ$), и незначительный северный дрейф. Анализ характера миграции палеомагнитного полюса Сибирской платформы позволяет предположить, что в конце венда и, возможно, в самом начале кембрия, произошла некая важная тектоническая перестройка, приведшая к кардинальному изменению движения Сибирской платформы, а возможно и всего планетарного ансамбля тектонических плит. По-видимому, не случайным является совпадение времени регионального перемагничивания пород и изменения характера дрейфа Сибирской платформы.

Наши результаты позволяют рассмотреть вопрос о взаимном положении Сибири и Лаврентии на рубеже венда – кембрия. На основе сравнения мезо-неопротерозойских участков кривых КМП Сибирской платформы и Лаврентии Павловым с соавторами (2002) и Писаревским и Натаповым (Pisarevsky, Natapov, 2003) были предложены близкие реконструкции взаимного положения этих кратонов в рамках суперконтинента Родиния. Эти реконструкции предполагают, что в интервале 1050-950 млн. лет Сибирь и Лаврентия могли составлять композитный континент в конфигурации, при которой Сибирь (в современных координатах) примыкала своей юго-юго-восточной окраиной к арктическим территориям Северной Америки (рис 2В). Согласно имеющимся представлениям распад суперконтинента Родиния произошел ~ 750 млн. лет назад (Dalziel, 1991; Hoffman, 1991), хотя есть отдельные геологические материалы, свидетельствующие, по мнению авторов (Pelechaty, 1996), что Сибирь и Лаврентия составляли единый блок вплоть до раннего кембрия.

Согласно полученным результатам в эдиакарии соотношение широт Сибири и Лаврентии было близким к таковому для среднего-позднего рифея (рис 2В), однако к началу эдиакария Сибирь должна была развернуться относительно Лаврентии примерно на 50° по часовой стрелке. Это означает, что к позднему венду, во-первых, эти кратоны уже не могли сосуществовать в конфигурации, предложенной в работах (Павлов и др., 2002; Pisarevsky, Natapov, 2003), и, во-вторых, они не могли примыкать друг к другу своими северными территориями, как это предполагалось в работе (Pelechaty, 1996). Таким образом, распад родиниевского фрагмента Сибирь-Лаврентия должен был произойти уже в доэдиакар-

ское время. Формально, в эдиакарское время Сибирь могла примыкать к Канадскому арктическому архипелагу, однако, не северной, а своей восточной стороной.

Заключение

Изучен широкий круг позднедокембрийских объектов юга Сибирской платформы, часть из которых содержит пригодный для интерпретации палеомагнитный сигнал. В целом палеомагнитная запись в позднедокембрийских породах юга Сибири имеет сложный характер, и ее не всегда удается однозначно интерпретировать, что связано с широким распространением разновозрастных вторичных компонент намагниченности, часто полностью уничтоживших древний сигнал, а также с некоторыми особенностями записи первичных компонент, обусловленными, вероятно, спецификой геомагнитного поля позднейшего докембрия. Выявление общих закономерностей в древней палеомагнитной записи в венде стало возможным только благодаря вовлечению в исследования объемных палеомагнитных коллекций из удаленных регионов юга Сибири, с различной тектонической историей и литологической характеристикой пород.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. В поздненендских породах, соответствующих немакит-далдынскому ярусу (~540 млн. лет) в практически всех изученных объектах присутствуют два существенно различающихся палеомагнитных направления. Доскладчатость, а также отличие рассчитанных полюсов от всех известных полюсов фанерозоя Сибирской платформы, позволяет говорить о почти одновременном образовании этих, существенно различающихся по направлению компонент намагниченности, на самых ранних стадиях формирования пород. Наблюдаемый факт, а также аналогичные особенности в позднедокембрийской палеомагнитной записи на других древних платформах, могут быть объяснены аномальным поведением магнитного поля Земли на рубеже докембрия и фанерозоя. Полученные палеомагнитные данные находятся в резком противоречии с гипотезой ИТРВ (Kirschvink et al., 1997).

2. Полученные палеомагнитные полюсы для трех временных уровней: эдиакарий (~560 млн. лет), конец эдиакария – начало немакит-далдына (~550 млн. лет) и немакит-далдын (~540 млн. лет) — позволяют определить палеогеографическое положение и оценить кинематику перемещений Сибирской платформы в это время. Наши результаты указывают на то, что вендский сегмент сибирской КМП находится в Индийском океане и, что преобладавшие ранее представления о тихоокеанском тренде позднерифейских и вендских полюсов, по крайней мере, частично, не со-

ответствуют действительности, что предполагает изменение принятой к настоящему времени полярности палеомагнитных направлений для рифея Сибири. Однако для однозначного определения полярности рифейских палеомагнитных направлений необходимо получить надежные данные по раннему венду.

3. Во всех изученных вендских и раннекембрийских объектах Прибайкалья, Присяянья и Енисейского Кряжа в той или иной степени присутствуют до-син- и послескладчатые метахронные компоненты намагниченности, сформировавшиеся, вероятно, в досреднекембрийское время. Можно заключить, что в пределах южной окраины Сибири широко распространено поздневендско-раннекембрийское перемагничивание, которое имеет трансрегиональный характер, что, вероятно, является следствием масштабного геологического события этого времени, охватившего южную периферию платформы и связанного, возможно, с начальными стадиями закрытия Палеоазиатского океана.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

- 1) Павлов В.Э., Шацилло А.В. Палеогеографическое положение Сибирского кратаона в начале позднего рифея и гипотеза позднепротерозойского суперконтинента // в сб. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, 1999. с. 44-45.
- 2) Shatsillo A.V., Gallet Y., Pavlov V.E. Paleomagnetism of the Late Riphean Lakhanda series: implications for the Siberia-Laurentia connection // Geophysical Research Abstracts (EGS, XXV General Assembly), 2000, V.2, European Geophysical Society, Nice.
- 3) Shatsillo A.V., Pavlov V.E. Siberia-Lavrentia relative position at the Middle-Late Riphean boundary // Transactions of 3rd International Conference "Problems of geocosmos". 2000. P.80. Saint-Petersburg.
- 4) Павлов В.Э., Галле И., Шацилло А.В. Палеомагнетизм верхнерифейской лахандинской серии Учуро-Майского района и гипотеза позднепротерозойского суперконтинента // Физика Земли, 2000., N8, с.23-34.
- 5) Шацилло А.В., Павлов В.Э. Палеомагнитное ограничение на взаимное положение Сибири и Лаврентии на границе мезо- и неопротерозоя // в сб. Строение и история развития платформ и подвижных поясов Евразии, Изд. МГГА, Москва, 2000, с.76-78.
- 6) Шацилло А.В., Павлов В.Э. Позднепротерозойские силлы Учуро-Майского района: новые палеомагнитные доводы в пользу гипотезы существования суперконтинента Родиния // в сб. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, Изд. ГЕОС, Москва, 2000, с.68-70.
- 7) Шацилло А.В., А.Н. Диденко; Л.З. Резницкий Вендские палеомагнит-

- ные направления Сибирской платформы и проблема стыковки ее палеозойского и рифейского трендов КМП. Новое палеомагнитное определение для вендских пород Присяянья // в сб. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, ОИФЗ РАН, М. 2001, с.88-90.
- 8) Шацилло А.В., Павлов В.Э. Верхнее возрастное ограничение на взаимную связь Сибири и Лаврентии // в сб. 7-я Международная конференция по тектонике плит им. Л.П. Зоненшайна, М., Научный Мир, 2001, с.147-148.
 - 9) Шацилло А.В., Павлов В.Э., Водовозов В.Ю., Галле И. Новые данные о палеомагнетизме пограничных венд-кембрийских отложений северо-востока Сибирской платформы // в сб. Современные вопросы геотектоники, М., Научный мир, 2001, с. 80-84.
 - 10) Павлов В.Э., И.Галле, П.Ю.Петров, Д.З. Журавлев, А.В. Шацилло Уйская серия и позднерифейские силлы Учуро-Майского района: изотопные и палеомагнитные данные и проблема суперконтинента Родиния // Геотектоника, 2002, N4, с.26-41.
 - 11) Шацилло А.В., Диденко А.Н, Мазукабзов А.М., Станевич А.М., Павлов В.Э. Вендские палеомагнитные направления: новые результаты по юго-западу Сибирской платформы // в сб. Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков, Издательство ГЕОС, Москва, 2002, с.100-101.
 - 12) Шацилло А.В., Диденко А.Н., Мазукабзов А.М., Станевич А.М., Павлов В.Э. Еще один шаг к решению проблемы выбора вендского палеомагнитного полюса Сибири. Новые данные по юго-западу Сибирской платформы // в сб. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, Издательство ГЕОС, Москва 2002, с.100-101.
 - 13) Шацилло А.В., Диденко А.Н., Павлов В.Э. Два конкурирующих палеомагнитных направления в верхнем венде. Итоговые результаты изучения осадочных толщ Восточного Присяянья и Юго-Западного Прибайкалья (Юго-запад Сибирской платформы) // в сб. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, Изд.ГЕОС, Москва, 2003, с.90-93.
 - 14) Шацилло А.В., Павлов В.Э. Еще раз о проблеме выбора венд-нижнекембрийского палеомагнитного полюса Сибирской платформы // в сб. Современные вопросы геологии, М., Научный мир, 2003, с.203-206.
 - 15) Павлов В.Э., И.Галле, А.В.Шацилло, В.Ю.Водовозов Палеомагнетизм нижнего кембрия долины нижнего течения р.Лена - новые ограничения на кривую кажущейся миграции полюса Сибирской платформы и аномальное поведение геомагнитного поля в начале фанерозоя // Физика Земли, 2004, N.2, с. 28-49.

- 16) Шацилло А.В. Раннекембрийское перемагничивание осадочных пород верхнего докембрия – основания нижнего кембрия Бирюсинского Присяянья и Енисейского Кряжа (Юго-запад Сибирской платформы) // в сб. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, Казань, изд. Казанского ун-та, 2004, с.183-187.
- 17) Шацилло А.В., Константинов К.М., Кочнев Б.Б. Этапы, генезис и возраст формирования складчатой структуры Байкало-Патомской дуги по палеомагнитным данным // в сб. Эволюция тектонических процессов в истории Земли, М.:ГЕОС, 2004, с.113-120.
- 18) Shatsillo A.V., A.N. Didenko, and V.E. Pavlov Two Competing Paleomagnetic Directions in the Late Vendian: New Data for the SW Region of the Siberian Platform // Russian Journal of Earth Sciences Vol 7, No. 4, 2005.
- 19) Диденко А.Н., В.Э. Павлов, В.Ю. Водовозов, А.В. Шацилло, Д.П. Гладкочуб, Т.В. Донская, А.М. Мазукабзов, А.М. Станевич Проект «Палеомагнетизм и геодинамика Центрально-Азиатского подвижного пояса»: результаты первого этапа // материалы совещания, Иркутск 2005
- 20) Шацилло А.В. Рекогносцировочное палеомагнитное исследование магматических образований Шарыжалгайского выступа Сибирского кратона в районе слияния рек Б.Жидой и Тойсук // в сб. Строение литосферы и геодинамика, Иркутск, 2005 с.255-258.
- 21) Шацилло А.В., Диденко А.Н., Павлов В.Э. Палеомагнетизм вендских отложений юго-запада Сибирской платформы и траектория кажущегося движения полюса // в сб. «Проблемы тектоники Центральной Азии» – М., ГЕОС, 2005, с.237-276.
- 22) Шацилло А.В. Расстояние между Чикаго и Мирным 540 миллионов лет назад // в сб. “Области активного тектогенеза в современной и древней истории Земли”. Материалы XXXIX Тектонического совещания. Том 2. – М.: ГЕОС, 2006, с.364-368.
- 23) Шацилло А.В., Диденко А.Н., Павлов В.Э. Палеомагнетизм вендских отложений юго-запада Сибирской платформы // Russian Journal of Earth Sciences (в печати).

GEOLOGIC TIME SCALE

PHANEROZOIC			EON						
PALEOZOIC			ERA						
PERIOD	EPOCH / STAGE	Age Ma	PRECAMBRIAN						
PERMIAN	L	Changxingian	251 ±0.4	PROTEROZOIC	ERA				
		Longtanian	253 ±2						
		Wordian	256 ±5						
		Capitanian	264 ±2						
		Roadian	269 ±7						
	E	Artinskian	280 ±4			NEOPROTEROZOIC	PERIOD		
		Sakmarian	285 ±10					Ediacaran	543.9
		Asselian	300 ±4					Varangian	565
		Gzhelian	303 ±3					Cryogenian	605
		Kasimovian	306 ±5						
CARBONIFEROUS	L	Moscovian	311 ±3	MESOPROTEROZOIC	PERIOD				
		Bashkirian	314 ±5					Tonian	850
		Serpukhovian	314 ±5						
		Visean	327 ±6					Stenian	1000
		Tournaisian	342 ±3					Ectasian	1200
DEVONIAN	L	Famennian	355 ±4			PALEOPROTEROZOIC	PERIOD		
		Frasnian	376.5					Calymmian	1400
		Givetian	383						
		Eifelian	387.5					Statherian	1600
		Emsian	394					Orosirian	1800
	M	Pragian	409.5						
		Lochkovian	413.5	Aphebian (early)	2050				
		Pridolian	418						
		Ludlovian	419	Rhyacian	2300				
		Wenlockian	423						
SILURIAN	L	Llandoveryan	428	NEOARCHAEAEN	PERIOD				
		Ashgillian	443			Neoarchaeal (late)	2500		
			449						
		Caradocian	458			Mesoarchaeal (middle)	2800		
		Llandeilian	464						
	M	Llanvirnian	470			MESOARCHAEAEN	PERIOD		
			485					Paleoarchaeal (early)	3200
		Arenigian	485						
		Tremadocian	495					Eoarchaeal (earliest)	3600
			505						
ORDOVICIAN	L	Late	495	PALEOARCHAEAEN	PERIOD				
		Middle	505						
			518						
		Toyonian	518						
		Botomian	522						
	E	Atdabanain	525			Eoarchaeal (earliest)	PERIOD		
		Tommotian	528						
			531						
		Nemakit - Daldynian	531						
			543.9						
CAMBRIAN	L		543.9	HADEAN	ERA				
			543.9						
			543.9						
			543.9						
			543.9						
	E		543.9						
			543.9						
			543.9						
			543.9						
			543.9						

- 1) W.B. Harland et al, 1990 - Phanerozoic
- 2) Lumbers & Card (Geology, Vol. 20, 1991) - PreCamb.
- 3) R.D. Tucker & W.S. McKerrow, 1995 - Ord.-Sil.
- 4) R.D. Tucker et al. 1998 - Devonian
- 5) S.A. Bowring & D.H. Erwin, 1998 - Permo-Triassic

base not defined ~4400 Ma