

УДК 550.858.5:551.72:551.732:571.6

ПАЛЕОМАГНИТНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОЗДНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ И РАННЕКЕМБРИЙСКИХ ПОРОД ТЕРРЕЙНОВ АМУРСКОЙ ПЛИТЫ

© 2007 г. Ю. С. Бретштейн, А. В. Климова

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск

Поступила в редакцию 09.03.2007 г.

В статье приведены новые палеомагнитные данные по протерозойским метаморфическим и кембрийским карбонатно-терригенным комплексам Юга Дальнего Востока России (Приморья, Приамурья и Забайкалья). С учетом ранее полученных авторами результатов уточнены позиции палеомагнитного полюса, соответствующие рифейско-нижнепалеозойскому участку траектории его кажущегося движения для террейнов Амурской плиты (Аргунского и Бурей-Ханкайского орогенных поясов), в сравнении с полюсами для Сибирской и Северо-Китайской плит. Установлена относительная пространственно-временная стабильность палеоширотных позиций террейнов Амурской плиты на протяжении интервала времени от позднего рифея до конца раннего кембрия, которые располагались в приэкваториальных зонах северного и южного полушария.

PACS: 91.25.Dx

ВВЕДЕНИЕ

В юго-восточной части Дальнего Востока России, в области торцового сочленения разнонаправленных Бурей-Ханкайского, Аргунского и Монголо-Охотского орогенных поясов, приуроченных к коллизионным зонам на стыке Сибирской (СП) и Северо-Китайской (СКП) платформ, широко проявлены разновозрастные и геологически разнородные структурно-фациальные зоны (террейны), которые в разных сочетаниях иногда объединяются под названием Амурской плиты [Зоненшайн и др., 1990]. Они образуют сложную мозаику геоблоков, геотектоническая позиция которых не находит своего объяснения вне рамок представлений о террейнах, их тесной связи в прошлом с аналогичными по генезису геологическими объектами, установленными на соседних территориях Китая, Кореи и Монголии. “Самостоятельность” этих структур либо их принадлежность к Китайской и/или Сибирской платформам часто является предметом дискуссий. Представляется, что этот регион является ключевым объектом для познания и расшифровки тектонической истории взаимодействия геоблоков на стыке Сибирской и Северо-Китайской плит.

Если в последние годы для Сибирской плиты и обрамляющих ее перикратонных террейнов по протерозою и кембрию получены достаточно надежные палеомагнитные результаты [Диденко и др., 1994; Павлов и др., 2000; 2004; Казанский, 2002], то для Северо-Китайской плиты палеомагнитные данные по протерозою базируются, за редким исключением (например, [Zhang et al., 2000]), на работах 80-х годов, а определения по кембрию ограничены пределами относительно географиче-

ски близких локальных геологических разрезов шовных (складчатых) зон СКП [Gao et al., 1983; Lin et al., 1985; Zhao et al., 1992; Huang et al., 1999b; Yang et al., 2002]. Поэтому дополнительное палеомагнитное изучение пород в пределах коллизионных зон СП и СКП может явиться связующим звеном для оценки пространственно-временной эволюции террейнов на периферии этих плит и анализа всей геодинамики геоблоков гондванской группы в целом.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И МЕТОДИКА ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В геотектоническом отношении рассматриваемый район представляет собой сложное сочетание аккрецированных коллизионных террейнов различного генезиса и возраста, образующих сложно сопряженные структуры, формирующие основные орогенные пояса региона – Аргунский, Бурей-Ханкайский и Монголо-Охотский на стыке Северо-Азиатского кратона и Северо-Китайской платформы. Нижняя часть разреза указанных складчатых поясов представлена протерозойскими метаморфическими породами “фундамента” (фрагментами древних кратонов) и кембрийскими, преимущественно терригенно-карбонатными отложениями различных геотектонических обстановок (пассивных континентальных окраин, островных дуг, аккреционных призм и т.п. [Геодинамика..., 2006]). Палеозойско-мезозойским структурам указанного региона больше соответствует термин “Центрально-Азиатский орогенный пояс”, однако, при

анализе протерозойско-раннекембрийского этапа геологической истории, на начальной стадии предполагаемого распада протоконтинента Родинии, такое понятие, как Амурская плита (под которой можно понимать фрагменты фундамента орогенного пояса), вероятно, вполне правомерно.

Литолого-петрологический облик рифейско-раннекембрийских пород Нахимовского, Матвеевского и Сергеевского террейнов (Приморье), входящих в состав Бурей-Ханкайской аккреционной системы тектоно-стратиграфических террейнов Приморья, определяют разнообразные метаморфические комплексы – мусковит-графитовые и биотитовые сланцы, гнейсы, линзы мраморов и амфиболитов. В палеогеографическом аспекте указанные террейны характеризуют докембрийско-нижнепалеозойскую континентальную окраину. Изученные протерозойские породы Аргунского террейна (Восточное Забайкалье) представлены преимущественно мраморами и кристаллическими сланцами, кембрийская часть разреза характеризуется преобладанием известняков. В пределах Спасского, Кабаргинского и Мало-Хинганского террейнов (Западное Приморье и Приамурье) развиты, главным образом, терригенные песчано-сланцевые, реже карбонатные и метаморфические толщи позднепротерозойского-раннекембрийского возраста, характеризующие отчасти разрезы, типичные соответственно для раннепалеозойской аккреционной призм и палеозойской окраинно-континентальной магматической дуги [Геодинамика..., 2006]. Кембрийские породы Галамского террейна представлены олистолитами кремнисто-карбонатных пород и линзами известняков. Для большинства терригенно-карбонатных пород изученных геологических разрезов характерны довольно крутые складки, как правило, с моноклинальным залеганием слоев и относительно небольшими вариациями азимута и угла падения. Для протерозойских (рифейских) комплексов типична метаморфическая полосчатость, которую (как показали полевые тесты) в ряде случаев оказалось возможным использовать для выделения “доскладчатой” намагниченности.

Возрастная идентификация изученных объектов далеко не всегда однозначна. Фаунистически или палинологически возраст пород хорошо подтвержден лишь на некоторых разрезах Спасского, отчасти Мало-Хинганского террейнов. Абсолютная оценка возраста для большинства метаморфических пород из-за большого разброса определений, полученных в разные годы и по разной методике, весьма проблематична. В этом плане нами использовались лишь усредненные значения из наиболее надежных баз данных.

Полевые и лабораторные исследования проводились по общепринятой методике. Часто они носили рекогносцировочный характер, поскольку

ставилась задача охватить возможно более широкую территорию с целью отобрать и изучить неперемагниченные породы.

В процессе лабораторного изучения, проводившегося в различных лабораториях России, США и Франции, использовалась современная измерительная аппаратура – криогенный магнитометр, рок-генераторы, каппа-мости, различные размагничивающие установки. Работы включали весь современный комплекс измерений и экспериментальных методов, в т. ч. последовательное измерение намагниченности пород в процессе ступенчатой температурной “чистки” до $690^{\circ}\text{C} - J_n(T)$ и чистку в переменном магнитном поле до $100 \text{ мТл} - J_n(\hat{H})$. В процессе термомагнитного анализа исследовались носители естественной остаточной намагниченности J_n , определялись коэрцитивная сила H_c , величина и температурные зависимости остаточной намагниченности насыщения J_{rs} , изотермической нормальной намагниченности $J_r(H)$ и магнитной восприимчивости $\chi(T)$. Изучалась анизотропия магнитной восприимчивости (АМВ) и изотермической остаточной намагниченности (AIRM) пород с целью оценки ее влияния на наклонение вектора выделенной высокотемпературной характеристической компоненты ChRM и связи с процессами складкообразования.

Обработка палеомагнитных данных включала компонентный анализ [Zijderveld, 1967; Kirschvink, 1980], метод пересечения кругов перемагничивания [Halls, 1978; Храмов и др., 1982], различные модификации теста складки [McFadden, 1990; Watson & Enkin, 1993; Шипунов, 1995] и теста обращения [McFadden, McElhinny, 1990], а также способы выделения до-, син- и постскладчатой компонент естественной остаточной намагниченности [Шипунов, 1995; Шипунов, Бретштейн, 1999]. При компьютерной обработке данных использован набор пакетов современных прикладных программ В.Н. Завойского, С.В. Шипунова и Р. Энкина.

ПЕТРО-, ПАЛЕОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ, ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

В процессе исследований, наряду с обработкой полученных новых данных, использованы и заново комплексно переинтерпретированы некоторые ранее полученные материалы по кембрийским породам Приморья [Бретштейн и др., 1997]. Кроме чисто палеомагнитной направленности исследований значительное внимание было уделено изучению некоторых петромагнитных характеристик (рис. 1–I). Судя по характеру гистерезисных петель, кривым намагничивания в постоянном магнитном поле и величине магнитного насыщения, а также по зависимостям $J_s(T)$ и $J_{rs}(T)$, носителем намагниченности в терригенных поро-

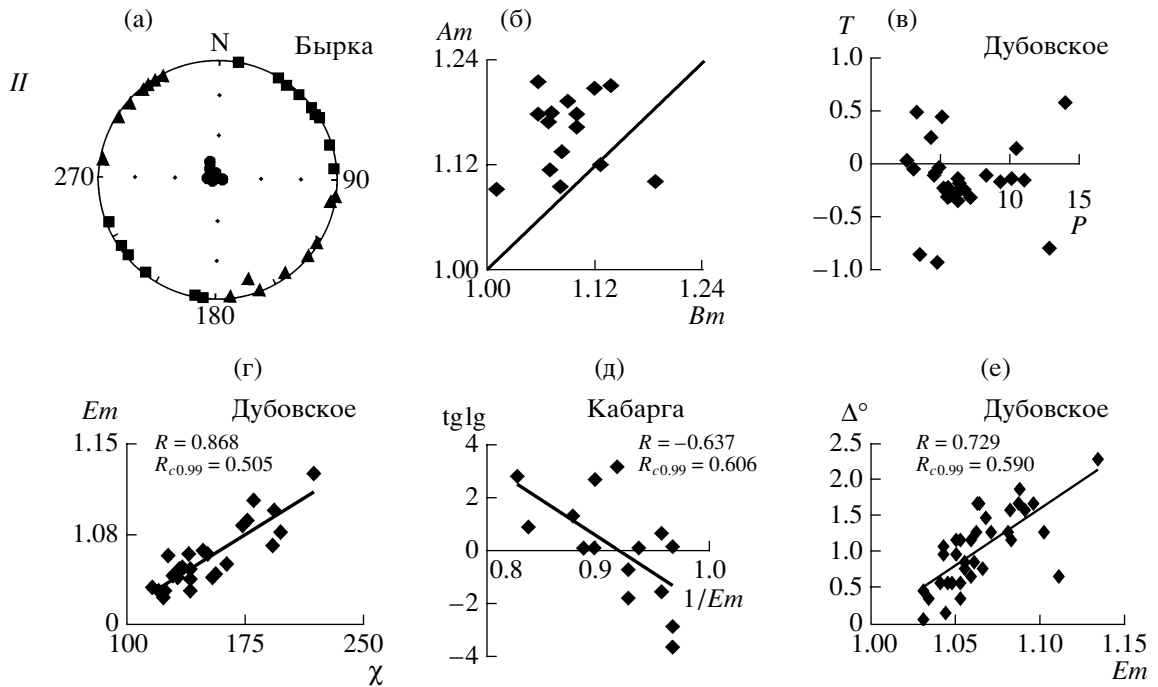
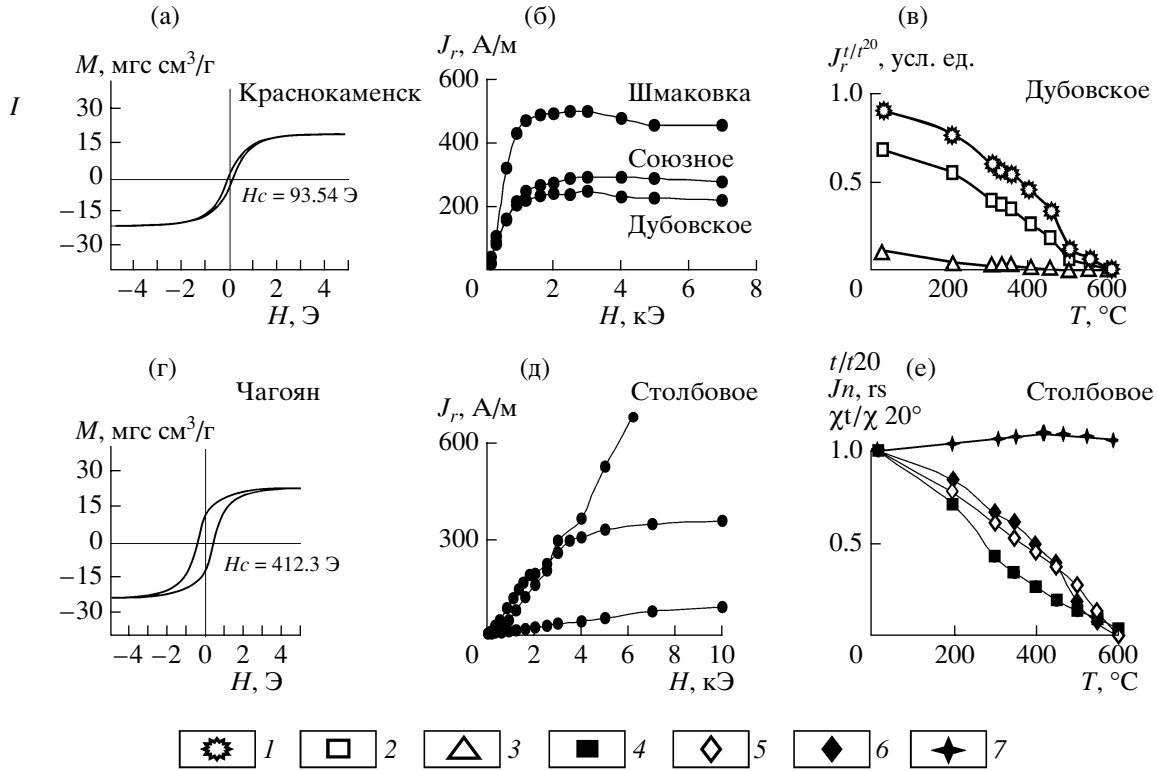


Рис. 1. Петрофизическая характеристика терригенно-карбонатных пород позднего рифея-кембрия. *I*: (а), (г) – петли магнитного гистерезиса; (б), (д) – графики нормального намагничивания $J_r(H)$; (в) – графики $J_r(T)$ для различных значений постоянного намагничивающего поля H ; (е) – нормированные кривые температурной зависимости J_n , J_{rs} , χ . Условные обозначения: 1 – 10 кэ, 2 – 0.05 кэ, 3 – 0.01 кэ, 4 – $J_n(T)$, 5 (6) – $J_{rs}(T)$ для первого (второго) нагревов, 7 – $\chi(T)$. *II*: (а) – распределение осей тензорного эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ) на стереографической проекции (стратиграфическая система координат) – квадраты, треугольники, кружки – соответственно большие (K_1), промежуточные (K_2) и малые оси (K_3) эллипсоида; (б) – диаграмма Флинна; (в) – зависимость между величиной (P) и типом эллипсоида (T) АМВ; (г–е) – корреляционные зависимости скалярных параметров АМВ: (г) – ($E_m - \chi$), где $E_m = K_1/K_3$; (д) – ($\text{tg } I_g - 1/E_m$), где I_g – наклонение вектора ChRM в географической системе координат; (е) – ($\Delta^\circ - E_m$), где Δ° – угловая поправка в наклонение за анизотропию.

дах является магнетит с температурой Кюри около 580°C , реже гематит.

Анизотропия магнитной восприимчивости метаморфических и терригенных пород из большинства геологических разрезов характеризуется как слоистым, так и линейным типом (рис. 1–II, а–в). Наблюдается прямая корреляционная зависимость от скалярной абсолютной величины АМВ (E_m) магнитной восприимчивости (χ), тангенса угла наклона вектора выделяемой высокотемпературной компоненты ($\text{tg } I_g$), а также величины угловой поправки в наклонение за анизотропию $-\Delta^{\circ}$. Это свидетельствует о возрастании степени анизотропии в процессе складкообразования, более интенсивном проявлении постскладчатой компоненты и увеличении абсолютной величины занижения наклона в процессе роста анизотропии. Более детально эти вопросы рассмотрены в работах [Bretshstein, Klimova, 2005; Бретштейн и др., 2006б].

Как правило, при “температурной чистке” изменение проекций векторов выделяемых компонент на плоскости отличается прямолинейностью, и они направлены в начало координат (рис. 2). В тех случаях, когда этого не происходило, использовался метод пересечения кругов перемагничивания. В результате полного температурного размагничивания образцов до 600°C в образцах из большинства геологических разрезов выделена практически одна высокотемпературная компонента намагниченности ChRM с преобладающими пологими наклонами в юго-западных румбах в древней системе координат. Группирование разрезов при тестировании в модификации DC [Enkin, 1994] дает положительный тест с достижением максимальной кучности распределения средних направлений ChRM около 100% распрямления (рис. 3). Тесты McF [McFadden, 1990] и NFT [Шипунов, 1995] положительны для всех позднерифейских пород из сгруппированных разрезов Нахимовского, Матвеевского, Аргунского и Агинского террейнов (для последних двух тест DC, однако, дает неопределенность). Также положительны все тесты для кембрийских пород Спасского, Кабаргинского и Мало-Хинганского террейнов (табл. 1). Исключение составляет объект Халкидон в пределах Спасского террейна, где вся намагниченность оказалась постскладчатой.

Тест обращения, выполненный для каждого террейна по средним направлениям N- и R-пород, входящих в состав разрезов (“сайтов”), формально положителен для всех объектов исследования, однако численные параметры теста в большинстве случаев не выходят за пределы классификационной категории “С” (за исключением разрезов Мало-Хинганского террейна, где достигнут класс “А” точности сходимости направлений ChRM для N- и обращенной R-полярности). Следует отме-

тить, что имеющая место статистическая неопределенность теста обращения для отдельных разрезов применительно к образцам ЮВ и СЗ склонений не позволяет однозначно и уверенно интерпретировать выделенные компоненты и, соответственно, обращенные в СЗ румбы стереографической проекции направления, как категорически доскладчатые. При крутых наклонах пластов в процессе тестирования постскладчатые направления может “разнести” в противоположные секторы стереографической проекции. Поэтому наиболее осторожным и оптимальным выводом при анализе таких случаев остается предположение о возможном присутствии двух компонент намагниченности и влиянии на выделенные направления ChRM процесса складкообразования.

Средние направления ChRM метаморфических пород из трех “рекогносцировочных” разрезов Сергеевского террейна характеризуются значительным разбросом как в современной, так и в древней системе координат, что можно объяснить, в частности, неадекватностью (неправомерностью) использования во всех случаях для теста складки метаморфической полосчатости в качестве маркера палеогоризонтали. Полосчатость обусловлена линейно-плоскостным развитием в породах линз темноцветных минералов (амфиболитовых прослоев), генезис которых, а главное, временные соотношения с последующими процессами складчатости и метаморфизма нуждаются в специальном изучении. Полученные палеомагнитные результаты по двум кембрийским разрезам в пределах Аргунского и Галамского террейнов, ввиду немногочисленности точек отбора образцов, следует считать предварительными.

В табл. 1 также представлены палеомагнитные параметры для позднего протерозоя (рифей) и кембрия, рассчитанные как среднее для всех террейнов и отнесенные к Амурской плите, в целом. Тесты складки и обращения при таком группировании положительны.

Рассчитанные позиции палеомагнитного полюса в протерозое-кембрии для террейнов Амурской плиты образуют тесный рой направлений, приуроченных в современной системе координат к району Индийского океана юго-западнее Австралии (рис. 4). Несколько в стороне находятся кембрийские полюсы Мало-Хинганского (МХ) и Галамского (ГА) террейнов, которые географически и структурно больше “тяготеют” к зоне Монголо-Охотского орогенного пояса. Сходство полюсов для протерозойских и кембрийских пород Ханкайского супертеррейна (различие формально незначимое $\gamma_0/\gamma_c = 13.4/22.4$) может свидетельствовать о близком времени метаморфизма первых и образования ChRM вторых. Подтверждением этого являются недавно полученные абсолютные определения возраста метаморфических зерен

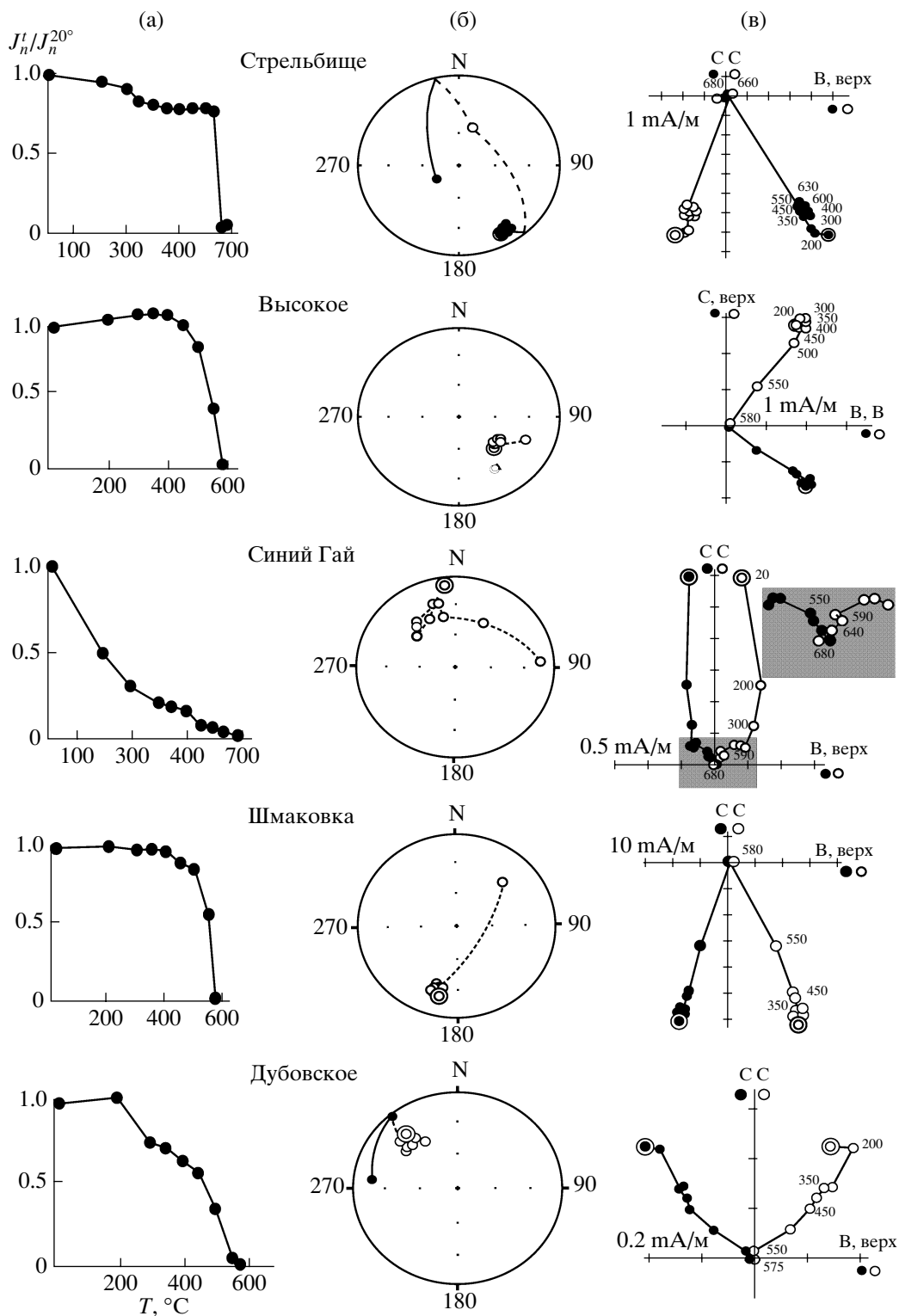


Рис. 2. Результаты ступенчатого терморазмагничивания горных пород: (а) – типовые графики $J_n(T)$; (б) – стереограммы распределения векторов намагниченности J_n по результатам терморазмагничивания образцов – проекции векторов J_n на нижнюю и верхнюю полусферу (соответственно залитые и полые значки); (в) – диаграммы Зийдervильда – залитые (полые) кружки – проекции векторов J_n на горизонтальную (вертикальную) плоскость (С – север, В – восток). Двойные кружки – начальные положения векторов J_n . Стратиграфическая (древняя) система координат.

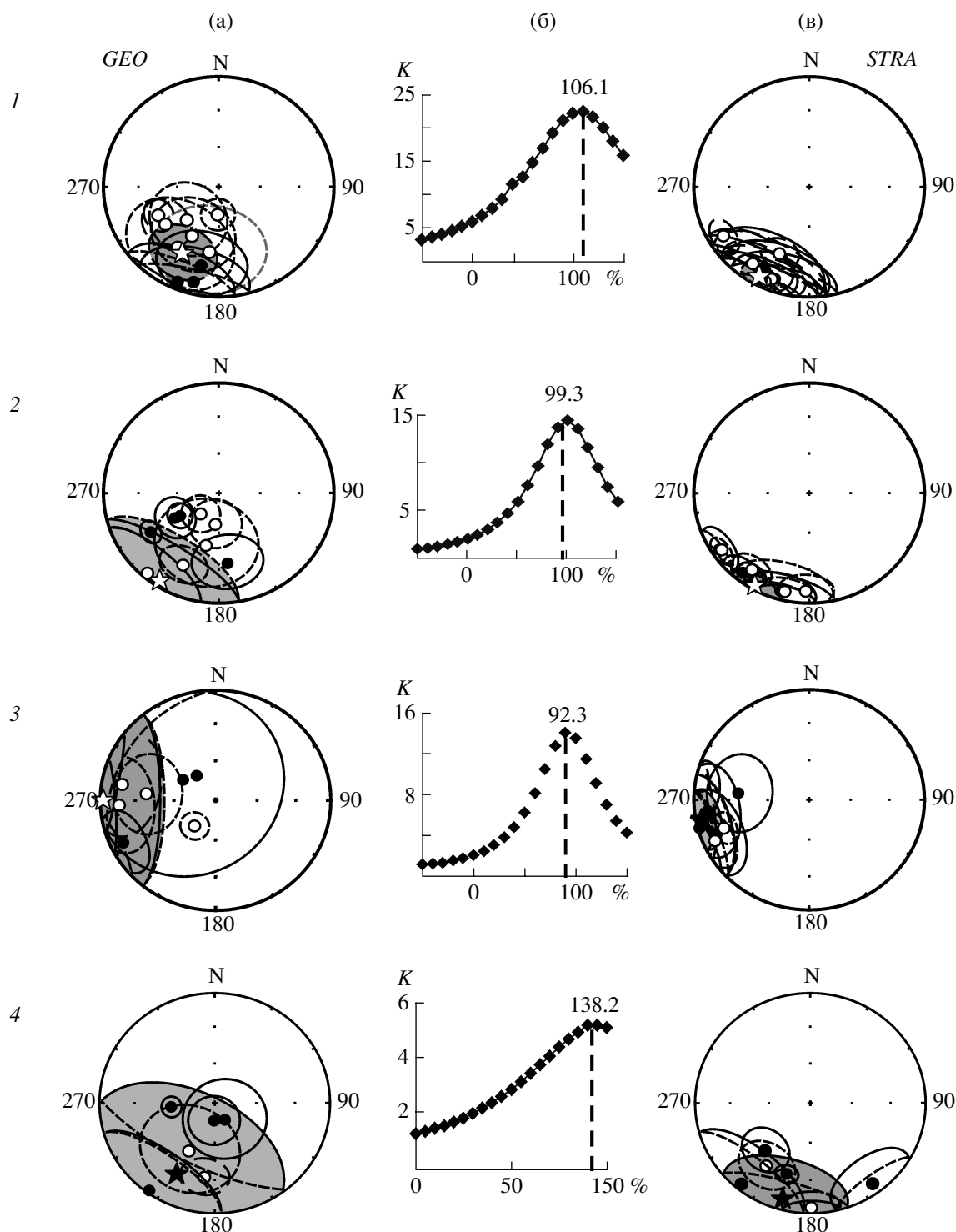


Рис. 3. Распределение средних направлений выделенных высокотемпературных компонент ChRM (кружки с овалами доверия) для отдельных геологических разрезов в пределах террейнов: 1 – Нахимовский и Матвеевский, 2 – Спасский и Кабаргинский, 3 – Мало-Хинганский, 4 – Аргунский. Залитые (полые) значки, сплошные (штриховые) линии – проекции на нижнюю (верхнюю) полусферу. Звездочки – среднее направление для террейна; (а), (в) – географическая, стратиграфическая система координат; (б) – результаты теста (распрямления) складки в модификации DC [Enkin, 1994].

цирка из гранулитов “протерозойского” комплекса пород на ионном зонде, которые дали цифры около 500 млн. лет [Wilde et al., 2000].

Это, возможно, позволяет уравнивать оба указанных комплекса пород в ранге кембрийских и предположить, что на протяжении длительного

Таблица 1. Палеомагнитные характеристики позднепротерозойских и раннекембрийских пород юга Дальнего Востока России

Объект, координаты Ф, λ	$\frac{N/n_0/n}{N/R}$	D (g/s)	I (g/s)	K (g/s)	α_{95} (g/s)	Φ_m	Λ	Φ	A_{95}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Буря-Ханкайский супертеррейн									
I. Нахимовский и Матвеевский террейны (поздний рифей)									
1. Стрельбище 45.4 133.7	$\frac{2/32/27}{15/12}$	233.2 200.8	-41.6 -9.5	3.3 3.3	18.1 18.1	23.9 -4.8	51.9 103.4	-42.3 -45.5	17.3 13.0
2. Глазовка 45.6 133.6	$\frac{1/9/8}{6/2}$	212.6 215.0	-33.5 -14.5	3.2 6.2	36.9 24.1	-18.3 -7.4	78.1 84.4	-51.6 -41.3	31.7 17.7
3. Кировское 45.1 133.5	$\frac{1/6/5}{3/2}$	202.3 200.1	5.2 10.9	8.8 8.8	30.6 30.6	2.6 5.5	104.6 108.4	-38.3 -36.3	21.7 22.1
4. Шмаковка 45.2 133.5	$\frac{2/11/9}{9/0}$	181.1 203.3	-69.0 -33.2	19.0 18.0	12.1 12.5	-52.5 -18.1	318.8 90.3	-82.7 -56.7	19.0 10.7
5. Свягино 44.9 133.2	$\frac{4/25/22}{19/3}$	243.2 238.8	-40.5 -12.2	8.2 8.5	11.5 11.3	-23.1 -6.2	44.2 61.9	-34.8 -26.1	10.8 8.2
6. Уссури 45.4 133.4	$\frac{1/7/5}{4/1}$	206.7 206.4	-47.5 13.2	7.8 6.0	29.2 34.0	-28.6 6.7	72.8 101.7	-63.1 -32.8	30.6 24.8
7. Лесное 45.5 133.6	$\frac{3/15/14}{8/6}$	221.5 210.3	-55.9 -10.5	3.0 4.0	34.0 28.0	-36.4 -5.3	45.0 91.1	-57.8 -41.9	34.0 16.5
8. Бусеевка 44.6 132.8	$\frac{1/7/7}{0/7}$	193.9 194.9	9.3 6.0	4.7 5.2	31.0 29.1	4.7 3.0	114.8 113.0	-39.2 -40.6	22.2 20.7
9. Филино 45.7 133.7	$\frac{1/9/8}{2/6}$	187.3 207.8	-38.2 -5.3	3.2 3.3	37.2 36.1	-21.5 -2.7	117.4 95.9	65.1 -40.6	33.9 25.6
10. Татьяновка 44.6 132.9	$\frac{1/8/8}{7/1}$	191.7 204.5	26.4 -4.0	4.7 4.7	28.4 28.4	13.9 -2.0	119.7 98.9	-30.5 -42.2	22.7 20.1
Западное Приморье (1-10) 45.3 133.4	$\frac{17/129/113}{73/40}$	207.2 208.1	-30.7 -6.0	5.6 20.2	22.5 11.0	-16.5 -3.0	86.1 94.7	-53.4 -41.1	18.7 7.8
Тест обращения (R -test) по средним для (1-10) 10N ($D = 204.6, I = -8.9, K = 15.8$) 9R ($D = 35.5, I = 4.8, K = 14.5$) + C ($\gamma_0 = 17.49 \quad \gamma_c = 17.92$)	Тесты складки (1-10)								
	McF		NFT		DC		DC		
	+		+		+		%		
	$\xi_{1s} = 6.161;$ $\xi_{1u} = 1.453;$ $\xi_{c99} = 5.120$						$\Delta\% = 81.0-132.6$ $K_{max} = 20.4$ $\alpha_{95} = 11.0$		
II. Спасский и Кабаргинский террейны (ранний кембрий)									
11. Дубовское 44.6 132.9	$\frac{2/37/34}{5/29}$	238.5 214.6	57.0 10.6	8.0 9.4	9.2 8.5	37.6 5.3	89.9 91.5	7.7 -31.2	11.4 6.1
12. Гай 44.5 132.6	$\frac{1/23/20}{6/14}$	185.9 195.3	-66.4 4.9	4.0 4.2	18.7 18.3	48.9 2.5	173.4 112.1	84.1 -41.1	27.9 13.1
13. Ключи 44.4 132.8	$\frac{1/21/17}{12/5}$	219.5 237.2	-69.6 4.6	7.5 7.5	13.9 13.9	-53.2 2.3	9.6 68.8	-62.9 -21.1	22.0 9.9
14. Красный Кут 44.3 132.8	$\frac{1/22/20}{11/9}$	205.2 216.0	-27.4 -13.5	5.4 7.9	15.5 12.3	-14.5 -6.8	89.2 82.0	-53.3 -41.2	12.5 9.0

Таблица 1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15. Павловка	$\frac{1/8/7}$	193.2	-48.9	3.9	35.6	-29.8	91.4	-72.3	8.2
44.1 132.1	$\frac{3/4}$	195.3	-5.3	5.9	27.8	-2.7	109.6	-46.4	19.8
16. Спасск	$\frac{1/14/13}$	173.0	35.1	4.1	23.0	19.4	140.1	-26.3	20.1
44.6 132.8	$\frac{9/4}$	192.9	3.8	7.7	16.0	-1.9	114.1	-46.4	11.3
17. Высокое	$\frac{1/23/20}$	220.3	-30.1	2.1	31.4	-16.2	69.2	-45.9	26.0
44.3 132.5	$\frac{8/12}$	182.3	-9.9	5.5	15.4	-5.0	128.9	-50.6	11.1
18. Кабарга	$\frac{1/33/30}$	239.1	53.0	4.0	15.0	33.6	87.7	5.3	17.3
45.4 133.6	$\frac{18/12}$	219.0	6.5	5.6	12.3	3.3	86.9	-30.3	8.8
19. Хутор	$\frac{1/17/17}$	239.0	30.8	23.4	7.9	16.6	76.5	-8.8	6.6
44.3 132.7	$\frac{17/0}$	236.1	-6.2	22.1	8.1	-3.1	65.6	-25.9	5.8
20. Халкидон*	$\frac{1/36/31}$	121.1	-71.3	25.7	5.2	-55.9	261.5	-51.8	8.5
44.3 132.4	$\frac{27/4}$	152.5	-12.9	4.5	13.7	-6.5	173.1	-45.2	10.0
Западное Приморье (11-19)	$\frac{10/198/178}{89/89}$	212.9	-4.0	2.4	43.2	-2.0	88.9	-38.5	30.6
44.5 132.8		209.8	-1.4	14.9	3.8	-0.7	93.1	-38.9	9.8

Тест обращения (*R*-test)

по средним для (11-19)

9N (*D* = 207.3, *I* = -9.9, *K* = 11.5)8R (*D* = 27.0, *I* = -6.9, *K* = 13.3)+ С ($\gamma_0 = 16.80$ $\gamma_c = 21.36$)

Тесты складки (11-19)

McF

NFT

DC

DC

% = 99.3

 $\Delta\% = 88.2-109.8$ $K_{max} = 14.9$ $\alpha_{95} = 13.8$

III. Сергеевский террейн (кембрий)*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21. Авангард	$\frac{1/8/7}$	244.3	-12.8	3.1	40.9	-6.5	55.9	-23.1	29.7
42.9 132.7	$\frac{4/3}$	246.1	17.7	3.3	39.6	9.1	65.9	-10.7	29.9
22. Ястребовка*	$\frac{2/30/28}$	152.9	-10.1	3.7	21.8	-5.1	173.4	-45.0	10.2
43.2133.5	$\frac{14/14}$	150.1	26.6	9.4	12.8	14.1	166.2	-26.2	10.9
23. Анна*	$\frac{1/18/17}$	159.2	64.3	6.0	19.3	46.1	146.8	0.8	27.6
42.9 132.6	$\frac{13/4}$	144.4	3.8	6.3	18.8	1.9	177.8	-35.0	13.3
Южное Приморье (21-23)*	$\frac{4/56/52}{31/21}$	189.2	16.3	1.7	180.0	8.3	121.3	-38.0	133.2
132.8 43.0		175.5	22.5	2.3	113.1	11.7	138.3	-35.1	87.3

V. Мало-Хинганский террейн (ранний кембрий)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24. Чагоян	$\frac{1/7/5}$	303.2	62.0	2.1	73.1	43.2	54.1	51.2	99.9
52.2 128.2	$\frac{3/2}$	254.7	0.5	8.2	28.5	0.3	52.6	-9.7	20.2
25. Известковая	$\frac{1/8/6}$	217.7	-65.4	46.7	10.3	-47.5	30.1	-65.2	15.0
49.0 131.4	$\frac{0/6}$	250.3	-22.0	48.1	10.2	-11.4	48.2	-21.5	7.8
26. Союзное 1	$\frac{1/14/13}$	244.1	10.9	5.5	19.5	5.5	64.4	-12.7	14.1
47.9 131.0	$\frac{3/10}$	245.2	-9.6	6.9	17.0	-4.8	56.7	-20.0	12.2
27. Союзное 2	$\frac{1/18/16}$	266.7	-16.2	2.5	29.1	-8.3	37.9	-8.3	21.5
47.9 131.0	$\frac{7/9}$	262.9	10.8	2.7	27.6	5.4	49.9	-0.7	19.9
28. Столбовое 1	$\frac{1/15/14}$	279.9	-17.6	2.6	31.6	-9.0	27.7	-0.1	23.6
47.9 131.1	$\frac{2/12}$	274.9	5.0	6.7	16.6	2.5	39.1	5.1	11.8

Таблица 1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29. Столбовое 2	1/11/11	275.4	-38.5	3.7	27.4	-21.7	22.4	-12.4	25.1
47.9 131.1	6/5	275.5	6.9	3.9	26.4	20.6	51.4	18.7	23.6
30. Теплое Озеро	1/12/11	324.1	67.0	2.3	39.3	49.7	57.3	66.8	59.2
49.0 131.9	4/7	249.3	10.5	4.0	26.0	5.3	61.2	-9.3	18.7
Среднее Приамурье (24-30)	7/85/76	269.9	-1.8	2.3	51.2	-0.9	40.2	-0.7	36.2
49.2 130.7	25/51	258.6	4.6	13.8	16.8	2.3	50.9	-5.7	11.9
Тест обращения (<i>R</i> -test) по средним для (24-30) 6N (<i>D</i> = 263.4, <i>I</i> = 8.3, <i>K</i> = 22.4) 6R (<i>D</i> = 81.2, <i>I</i> = -7.7, <i>K</i> = 5.7) + A ($\gamma_0 = 2.26$ $\gamma_c = 30.86$)	Тесты складки (24-30)								
	McF	NFT	DC	DC					
	+	+	+	%					
	$\xi_{1s} = 6.115$			$\Delta\% = 79.4-106.2$					
	$\xi_{1u} = 1.804$			$K_{max} = 14.5$					
	$\xi_{c99} = 4.253$			$\alpha_{95} = 16.5$					

Аргунский орогенный пояс
V. Аргунский и Агинский террейны (поздний протерозой)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31. Бырка	1/14/14	187.7	-31.5	7.4	15.7	-17.0	104.3	-55.8	13.2
50.7 118.6	4/10	179.4	-4.4	7.7	15.3	-2.2	118.3	-41.5	10.9
32. Донно	2/21/19	265.0	58.5	21.6	7.5	39.2	57.9	26.5	9.6
50.8 118.2	0/9	197.7	32.0	21.6	7.5	7.4	99.5	-20.2	6.3
33. Краснокаменск	1/12/11	215.8	1.4	2.4	38.8	0.7	74.9	-30.3	27.4
50.3 117.5	3/8	219.1	4.0	2.6	35.8	2.0	72.1	-27.7	17.7
34. Хара-Шибирь	1/9/7	207.6	-48.5	4.3	34.9	-29.5	62.8	-60.4	37.2
51.6 115.2	7/0	213.8	-30.7	13.0	19.0	-16.5	66.8	-46.5	15.8
35. Ковыли*	3/23/18	182.4	76.8	3.2	26.2	17.0	101.6	-21.0	22.0
50.3 117.5	19/8	222.4	40.7	3.8	23.4	5.1	76.6	-26.1	16.8
36. Кличка*	1/17/15	149.0	75.7	5.1	30.3	63.0	132.6	26.3	53.4
50.4 117.9	8/7	143.3	8.4	7.3	24.9	4.2	159.4	-26.7	17.8
Забайкалье (31-36)	9/96/84	207.3	26.8	2.0	67.1	14.2	89.1	-20.9	53.7
50.7 117.5	40/44	195.3	9.5	4.5	35.6	4.8	99.2	-33.0	25.6
Тест обращения (<i>R</i> -test) по средним для (31-36) 5N (<i>D</i> = 188.8, <i>I</i> = -5.1, <i>K</i> = 4.9) 5R (<i>D</i> = 10.9, <i>I</i> = -12.6, <i>K</i> = 6.1) + C ($\gamma_0 = 17.82$ $\gamma_c = 46.66$)	Тесты складки (31-35)								
	McF	NFT	DC	DC					
	+	+	~	%					
	$\xi_{1s} = 4.220$			$\Delta\% = 117.8-146.4$					
	$\xi_{1u} = 3.244$								
	$\xi_{c99} = 3.573$								

V. Аргунский террейн (ранний кембрий)*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
37. Георгиевка	3/34/30	186.1	5.0	11.4	8.1	2.5	111.9	-35.8	5.8
51.4 119.4	0/30	187.3	-9.8	11.4	8.1	-4.9	109.4	-43.1	5.8
Тест складки DC ~ % = 58.8 $K_{max} = 11.59$ $\alpha_{95} = 8.1$									
Монголо-Охотский (Охотско-Корякский) орогенный пояс									
VI. Галамский террейн (кембрий)*									
38. Чумикан	1/18/14	240.0	-39.5	2.7	29.8	-22.4	56.7	-35.3	27.6
54.6 135.7	7/7	256.4	-9.5	2.7	29.7	-4.8	54.1	-11.8	21.3
Тест складки DC ~ % = 65.0 $K_{max} = 2.76$ $\alpha_{95} = 2.97$									

Таблица 1. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амурская плита									
Протерозой (1–10, 31–36)	$\frac{22/225/197}{113/84}$	207.3 203.8	–14.9 –0.7	2.8 8.5	27.3 13.4	–7.6 –0.4	88.7 96.8	–43.8 –38.5	20.1 9.5
Протерозой (1–10, 31–34)	$\frac{22/185/165}{87/77}$	209.0 206.5	–25.2 –4.3	4.3 14.2	21.7 10.9	–13.2 –2.2	83.9 93.8	–48.4 –39.6	17.1 7.7
Тест обращения (<i>R</i> -test) по средним для (1–10, 31–36) 14N ($D = 200.1, I = -8.8, K = 8.8$) 14R ($D = 27.3, I = -7.6, K = 8.7$) + C ($\gamma_0 = 17.90 \quad \gamma_c = 19.61$)	Тесты складки (1–10, 31–36)								
	McF			NFT	DC	DC			
	+	+	~ без (35–36) +	% = 130.6 $\Delta\% = 119.4-141.5$ $K_{\max} = 9.9$					
		$\xi_{1s} = 11.018$ $\xi_{1u} = 5.206$ $\xi_{c99} = 6.516$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кембрий (11–19, 21–30, 37, 38)	$\frac{25/391/350}{152/198}$	226.0 229.9	–7.6 1.6	2.0 4.1	30.4 17.4	–3.8 0.4	74.2 82.1	–31.8 –30.8	21.7 12.3
Тест обращения (<i>R</i> -test) – по сред- ним для (11–19, 21, 24–30, 37, 38) 17N ($D = 233.6, I = -3.1, K = 5.1$) 18R ($D = 50.5, I = -3.7, K = 5.2$) + A ($\gamma_0 = 3.41 \quad \gamma_c = 22.57$)	Тесты складки (11–19, 21, 24–30, 37, 38)								
	McF			NFT	DC	DC			
	+	+	+	% = 97.1 $\Delta\% = 87.3-107.2$ $K_{\max} = 4.14$					
		$\xi_{1s} = 9.586$ $\xi_{1u} = 0.054$ $\xi_{c99} = 7.662$							

Примечание: $N/n_0/n$ – общее количество изученных геологических разрезов/измеренных штучков/в т. ч. использованных при расчетах палеополюса; N/R – количество образцов прямой (N) и обратной (R) полярности (согласно выбранного направления ChRM); D, I – склонение и наклонение среднего вектора выделенной высокотемпературной компоненты ChRM при определении палеомагнитного полюса; индексы g, s – соответственно географическая (современная) и стратиграфическая (древняя) системы координат; K – кучность распределения единичных векторов ChRM; α_{95} – радиус круга доверия для среднего вектора при вероятности $p = 0.95$; $\phi_m, \Lambda, \Phi (A_{95})$ – геомагнитная широта (палеоширота) района, долготы и широты (радиус круга доверия) для среднего полюса при вероятности $p = 0.95$; $\Delta\%, K_{\max}$ – параметры теста складки: % – процент “распрямления” складок, при котором достигается наибольшая кучность K_{\max} в тесте DC; $\Delta\%$ – доверительный интервал “распрямления”; *R*-test (тест обращения) – [McFadden & McElhinny, 1990]; коэффициенты $\gamma_0 (\gamma_c)$ в тесте обращения – полученные (критические) угловые отклонения от антиподальности $N-, R$ -поряд: A, B, C – классы точности. Тесты складки: McF – [McFadden, 1990], NFT – [Шипунов, 1995], DC – [Enkin, 1994]; $\xi_{1s} (\xi_{1u})$ – параметры теста McF in situ (после распрямления) для варианта теста McF FOLD1, γ_{c99} – критические значения коэффициентов корреляции для уровня вероятности $p = 0.99$; Тесты: положительный (+), неопределенный (~). Звездочками показаны объекты, где не удалось однозначно разделить до- и постскладчатую компоненты намагниченности, для них приведены предварительные значения палеомагнитных параметров. Неодинаковое количество $N-, R$ -разрезов, использованных в тесте обращения, обусловлено отсутствием образцов различной полярности в пределах отдельных объектов. Протерозойский объект Хара-Шибирь отнесен к Агинскому (преимущественно палеозойско-мезозойскому) рельефу условно по географическому признаку.

времени они существовали как единый “жесткий” геоблок. При этом сохранялись дифференцированные вращения, обусловленные более поздней сдвиговой внутриплитной тектоникой.

Таким образом общий тренд кажущейся миграции палеомагнитного полюса (КМП) для АП, СКП и СП может характеризоваться относительно тесной группировкой в пределах антиподальных областей – как “индийско-тихоокеанской” так и “атлантической” (в зависимости от выбора полярности). При сравнении позиций кембрийского полюса для АП и СКП наблюдается их разброс по долготе вдоль дуг с центрами вращения, приблизительно совпадающими с районами исследований (АП и СКП) (рис. 46).

В табл. 2 сопоставлены палеомагнитные данные для протерозойско-кембрийских пород Амурской, Сибирской и Северо-Китайской плит, характеризующие широтные и угловые смещения террейнов относительно СКП и СП. При этом не исключено, что при достаточно приближенной оценке возраста пород в пределах некоторых разрезов, формирование их ChRM могло происходить в широком временном интервале (в течение которого менялась полярность геомагнитного поля), вследствие чего сохраняется проблема точной возрастной корреляции палеомагнитных данных. Вполне возможно, что в отдельных случаях придется сравнивать “разнополюсные” позиции соответствующих террейнов и плит...

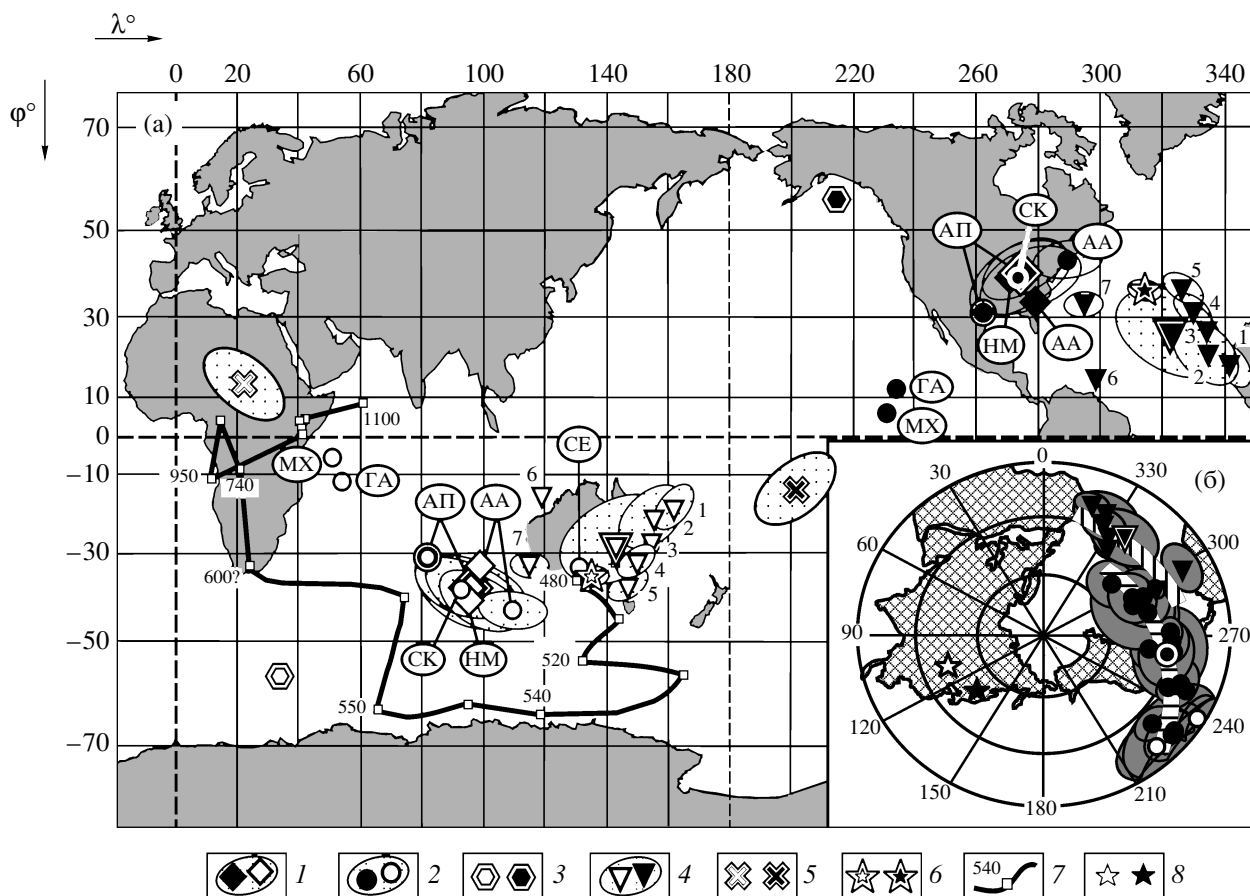


Рис. 4. Позиции протерозойского и кембрийского палеомагнитного полюса для террейнов Амурской (АП), Северо-Китайской (СКП) и Сибирской (СП) плит (проекция Меркатора). Условные обозначения: (а) – 1 (2), 3 (4), 5 (6) – протерозойские (кембрийские) полюсы с овалами доверия для $\alpha_{95} \leq 15^\circ$. Террейны АП – 1 (2): АА – Аргунский и Агинский, СЕ – Сергеевский, НМ – Нахимовский и Матвеевский, СК – Спасский и Кабаргинский, ГА – Галамский, МХ – Мало-Хинганский); СКП – 3 (4), СП – 5 (6); 7 – рифейско-кембрийский отрезок кривой кажущейся миграции полюса для Сибири (цифры – возраст в млн. лет) – по [Шацилло, 2006]. Полые (залитые) значки отвечают палеомагнитным полюсам, рассчитанным для антиподальных направлений ChRM; сдвоенные контуры – средние позиции палеомагнитного полюса для плит и террейнов; позиции кембрийского полюса для отдельных районов СКП, цифры 1–7 возле значков даны по литературным источникам: 1 – [Huang et al., 1999]; 2 – [Zhao et al., 1992]; 3 – [Gao et al., 1993]; 4, 5 – [Huang et al., 1999]; 6 – [Lin et al., 1985]; 7 – [Yang et al., 2002]. (б) – сравнение позиций ранне-, среднекембрийского полюса для отдельных геологических разрезов террейнов АП и СКП на полярной проекции: заштрихованные дугообразные полосы – траектории вероятного вращения геоблоков; залитые (полые) значки – позиции палеополюса для отдельных кембрийских объектов в северном (южном) полушарии; 8 – залитые (полые) звездочки – средние координаты районов палеомагнитных исследований в пределах АП (СКП).

При выборе прямой полярности в ВСВ румбах различия в позициях полюса для отдельных террейнов АП и СКП авторы работы [Kravchinsky et al., 2002] объясняют вращениями геоблоков по часовой стрелке относительно места отбора в пределах этих плит. Но в этом случае наблюдается близость (вплоть до совпадения) их позиций с позднепалеозойским-мезозойским участком КМП для СКП. Предпочтение ЗЮЗ румбам расположения проекций векторов ChRM (для СКП) в качестве направления прямой полярности приводит к более “последовательному” (без перекрытия разновозрастных полюсов), но более удлинённому тренду КМП [Bretshtein, Klimova, 2005].

Для террейнов Амурской плиты аналогичная дилемма выбора полярности касается юго-западных, чаще отрицательных, и северо-восточных, преимущественно положительных пологих наклонений. Преобладающее отрицательное пологое наклонение наших кембрийских пород в ЮЗ румбах может указывать на то, что АП располагалась в южном полушарии на протяжении преимущественного периода N-полярности либо в северном полушарии на протяжении периода R-полярности. Последний случай “предопределяет” позиции палеополюса в южном полушарии (в эпоху обратной полярности геомагнитного поля), а самих террейнов АП, как и СКП, – соответственно в северном полушарии. Аналогичным

Таблица 2. Сопоставление палеомагнитных данных для позднепротерозойских и раннекембрийских пород

№ п/п	Террейны, возраст, N , координаты λ , ϕ	Φ_m	Λ	Φ	A_{95}	F	ΔF	R	ΔR
А. Амурская плита									
1. Ханкайский супертеррейн									
1	Нахимовский и Матвеевский террейны (рифей), $N = 10$; 133.4 45.3	-3.0	94.7	-41.1	7.8	$\frac{45.3}{7.8^*}$	$\frac{11.8}{10.4}$	$\frac{163.5}{93.7}$	$\frac{15.5}{10.8}$
2	Спасский и Кабаргинский террейны (ранний кембрий), $N = 9$; 132.8 44.5	-0.7	93.1	-38.9	9.8	$\frac{18.5}{10.6}$	$\frac{12.1}{7.7}$	$\frac{39.6}{33.4}$	$\frac{13.1}{7.7}$
3	Сергеевский террейн (кембрий), $N = 3$; 132.8 43.0	11.7	138.3	-35.1	87.3	$\frac{5.2^*}{-2.8^*}$	$\frac{64.3}{64.1}$	$\frac{5.3^*}{1.0^*}$	$\frac{64.8}{65.5}$
2. Аргунский супертеррейн									
4	Аргунский и Агинский террейны (протерозой), $N = 6$; 117.5 50.7	4.8	99.2	-33.0	25.6	$\frac{33.7}{11.9^*}$	$\frac{21.5}{20.7}$	$\frac{152.8}{92.7}$	$\frac{23.3}{21.0}$
5	Аргунский террейн (ранний кембрий), $N = 1$; 119.4 51.4	-4.9	109.4	-43.1	5.8	$\frac{13.5}{6.5}$	$\frac{10.6}{5.1}$	$\frac{28.7}{21.6}$	$\frac{11.4}{5.1}$
3. Буреинский супертеррейн									
6	Мало-Хинганский террейн (ранний кембрий), $N = 7$; 130.7 49.2	2.3	50.9	-5.7	11.9	$\frac{10.5^*}{2.7^*}$	$\frac{13.1}{9.2}$	$\frac{90.0}{83.8}$	$\frac{13.8}{9.2}$
4. Монголо-Охотский (Охотско-Корякский) орогенный пояс									
7	Галамский террейн (ранний кембрий), $N = 1$; 135.7 54.6	-4.8	54.1	-11.8	21.3	$\frac{12.7^*}{4.6^*}$	$\frac{18.4}{15.9}$	$\frac{83.2}{77.5}$	$\frac{18.9}{15.9}$
А. Амурская плита									
8	Весь протерозой (1 + 5), $N = 16$; 125.9 48.3	-2.4	93.8	-39.6	7.7	$\frac{43.1}{1.3^*}$	$\frac{11.8}{10.4}$	$\frac{159.9}{95.2}$	$\frac{15.2}{10.7}$
9	Весь кембрий (2.3, 5-7), $N = 21$; 130.4 48.7	0.4	82.1	-30.8	12.3	$\frac{13.7}{5.9^*}$	$\frac{13.3}{9.4}$	$\frac{51.7}{45.5}$	$\frac{11.1}{9.5}$
Б. Северо-Китайская плита									
11	Средний-поздний рифей (887 ± 144 млн. лет), $N = 14$; (GPMDB 4.6) 117.6 39.3	29.8	213.1	57.9	14.6	-	-	-	-
12	Ранний-средний кембрий, $N = 7$; [Gao et al., 1983; Lin et al., 1985; Huang et al., 1999; Zhao et al., 1992] 114.8 38.0	19.5	143.3	-27.2	14.2	-	-	-	-
В. Сибирская плита									
13	Поздний протерозой (995 ± 50 млн. лет), $N = 8$ Учуро-Майский район (Павлов и др., (2000a) 135.5 58.4	0.2	202.2	-13.4	12.4	51.9	13.8	60.4	19.4
14	Ранний-средний кембрий, $N = 10$ [Павлов и др., 2000б; Gallet et al., 2003] 106.4 65.8	-14.1	137.1	-35.6	3.8	6.9*	10.1	7.2*	10.9

Примечание: N , λ , ϕ – количество геологических разрезов, средние координаты (долгота, широта) района; Φ_m – геомагнитная палеоширота объекта; Λ , Φ (A_{95}) – долгота и широта (радиус круга доверия) для среднего полюса при вероятности $p = 0.95$; F – смещение геоблоков по широте; R – угол их вращения; (ΔF) , (ΔR) – доверительные интервалы для F и R (расчет произведен с использованием опции T в компьютерной программе [Enkin, 1994]; цифры в числителе (знаменателе) – изменение позиций отдельных террейнов и плит относительно СКП (СП), незначимые величины показаны курсивом со звездочкой. Средние палеошироты для плит и террейнов вычислены по средним координатам палеополюса и места отбора образцов. Все цифровые значения даны в градусах сферических координат. GPMDB 4.6 (Global Paleomagnetic Database GPMDB 4.6) – Мировая База палеомагнитных данных, версия 4.6 (по состоянию на январь месяц 2005 г.).

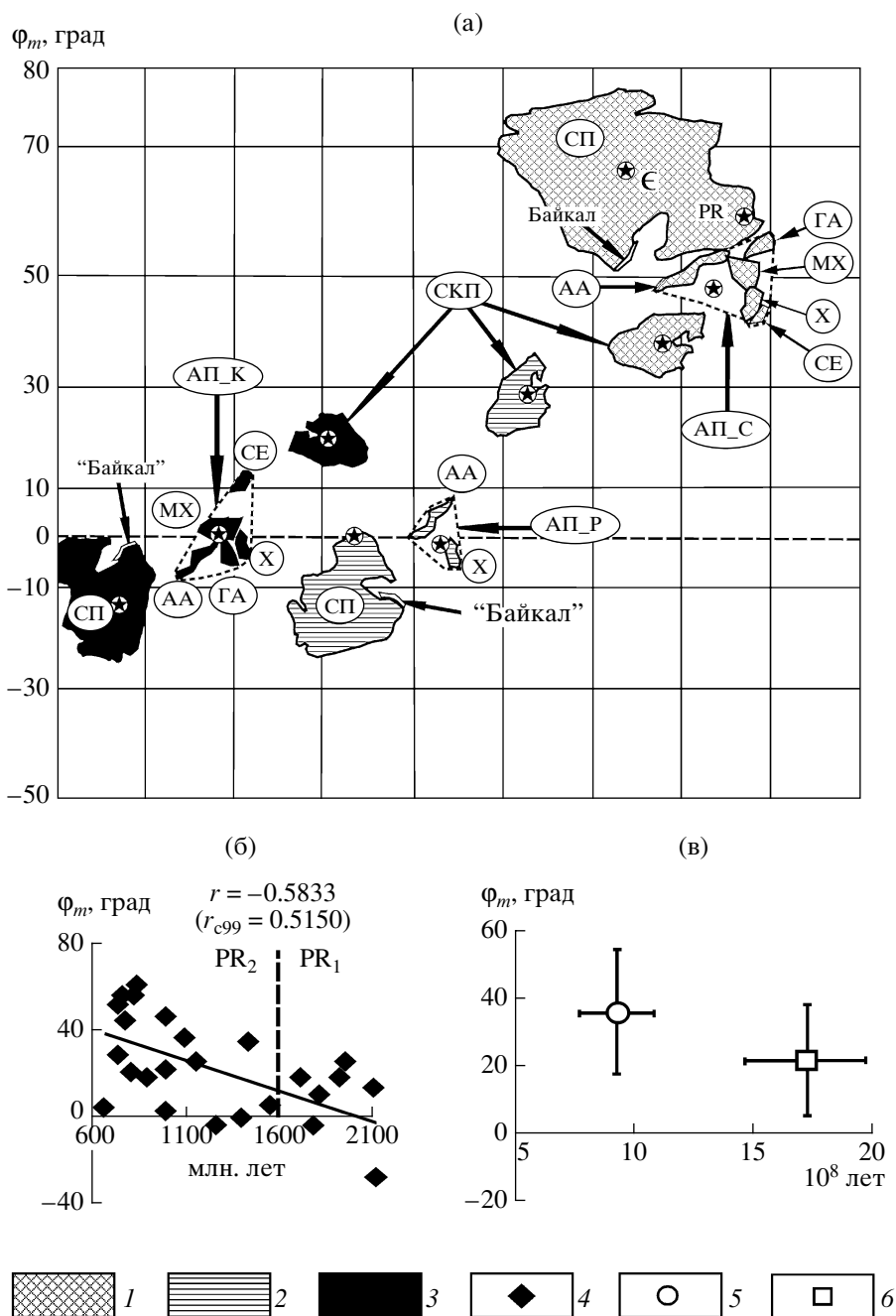


Рис. 5. Палеоширотные и возрастные взаимоотношения позиций террейнов Амурской (АП), Сибирской (СП) и Северо-Китайской (СКП) плит: (а) – широтные позиции и возможные варианты конфигурации взаимного расположения геоблоков АП, СП и СКП (с произвольной минимизацией долготного разброса): 1 – в настоящее время, 2 – в рифее, 3 – в нижнем–среднем кембрии; при определении палеоширотных позиций для террейнов и плит в рифее и кембрии в качестве прямой полярности приняты направления ChRM с преимущественно отрицательными наклонениями в ЮЮЗ (ЮЮВ) румбах для АП (СКП). Террейны Амурской плиты: АА – Аргунский и Агинский, ГА – Галамский, МХ – Мало-Хинганский, СЕ – Сергеевский, Х – Ханкайский супертеррейны (Нахимовский, Матвеевский, Спасский и Кабаргинский террейны). Контуры АП даны в условных обобщенных границах (штриховая обводка) с указанием ее позиции соответственно для настоящего времени (АП_С), рифея (АП_Р) и раннего-среднего кембрия (АП_К). Исходные расчетные данные, использованные для графических построений, приведены в табл. 1 и табл. 2. Звездочками показаны усредненные широтные позиции точек пересчета (“мест отбора”) протерозойских (PR) и кембрийских (С) образцов; (б) (4) – корреляция между возрастом и палеоширотами формирования ChRM докембрийских пород СКП; (в) – палеоширотные позиции СКП для дискретных средних возрастных интервалов: рифея – 887 ± 144 млн. лет (5) и раннего протерозоя – 1833 ± 145 млн. лет (6). Использованы имеющиеся 25 определений для докембрия СКП в Мировой Базе данных (GPMDB Ver. 6).

образом в работах [Zhao et al., 1992; Диденко и др., 1994] СКП, как и СП, также “помещались” в северном полушарии. Для рифейских пород СКП только положительные наклонения ChRM в СВ румбах (соответственно позиция палеополуса в ЮЗ румбах) дают расположение геоблока в северном полушарии. Отсюда вытекает необходимость, чтобы в случае расположения СКП и АП только в северном полушарии на протяжении всего периода с позднего протерозоя до конца раннего кембрия, полярность менялась с прямой на обратную. При любых вариантах позиции полюсов террейнов АП не выходят за пределы узкой ($\pm 10^\circ$) приэкваториальной зоны обоих полушарий (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных палеомагнитных исследований позднепротерозойско-раннекембрийских пород из большинства реперных геологических разрезов Приморья, Приамурья и Забайкалья выявлена доскладчатая высокотемпературная компонента намагниченности, характеризующаяся преобладанием пологих (чаще всего – отрицательных) наклонений в западных румбах и положительными наклонениями в северо-восточных (реже – юго-восточных) румбах. Тест обращения и тест складки при группировании разрезов дали положительные результаты для подавляющего числа объектов.

Несмотря на возможные неточности в оценке возраста пород, искажения из-за смен полярности, в целом позиции террейнов АП не выходят за пределы приэкваториальной области обоих полушарий. Их расположение между Сибирской и Северо-Китайской плитами, вероятно, могло сохраниться на протяжении длительного периода времени от позднего рифея до конца раннего кембрия, что отражает общность и целостность глобальной структуры этих геоблоков в указанный этап геологической истории. При этом отмечаются значительные внутриплитные вращения отдельных геоблоков (террейнов) без существенного широтного сдвига их относительно друг друга, СП и СКП.

Общий тренд смещения террейнов и плит от протерозоя к кембрию ограничивался приэкваториальными широтами обоих полушарий. “Промежуточная” палеоширотная позиция террейнов Амурской плиты между Сибирской и Северо-Китайской плитами (географически “сохраняющаяся” до настоящего времени) и относительно компактное расположение указанных геоблоков (для принятого нами варианта полярности) могли определяться их принадлежностью на протяжении всего позднего протерозоя вплоть до раннего кембрия к единому суперконтиненту Родинии.

Авторы выражают признательность Л.И. Попеко за всегда благожелательные консультации по геологическим вопросам, а также Р. Энкину, Т. Торсвику и М. Сметарсту за возможность использования компьютерных программ при обработке палеомагнитных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 06-05-96011 “Р_Восток_А”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бретштейн Ю.С., Гурарий Г.З., Печерский Д.М.* Палеомагнетизм палеозойских пород террейнов Юго-Западного Приморья // Тихоокеанская геология. 1997. Т. 16. № 4. С. 41–63.
- Бретштейн Ю.С., Климова А.В.* Палеомагнетизм главных тектонических единиц Юга Дальнего Востока. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. Ханчука. А.И. Книга 1. Владивосток: Дальнаука. 2006а. С. 206–225.
- Бретштейн Ю.С., Завойский В.Н., Климова А.В.* Характеристика магнитной анизотропии AMS и AIRM дислоцированных пород. Исследование магнитных свойств горных пород / Под ред. Белокопя В.И. Владивосток: Изд-во ДВГУ. 2006б. С. 29–38.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. Ханчука А.И. Книга 1. Владивосток: Дальнаука. 2006а. 572 с.
- Диденко А.Н., Моссаковский А.А., Печерский Д.М. и др.* Геодинамика Палеозойских океанов Центральной Азии // Геология и геофизика. 1994. № 7–8. С. 59–75.
- Зоненишайн Л.П., Кузьмин М.И., Наманов Л.М.* Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра. 1990. Книга 1. 328 с. Книга 2. 336 с.
- Казанский А.Ю.* Эволюция структур западного обрамления Сибирской платформы по палеомагнитным данным. Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИГ СО РАН. 2002. 338 с.
- Павлов В.А., Галле И., Шаццлло А.В.* Палеомагнетизм верхнерифейской лахандинской серии Учуро-Майского района и гипотеза позднепротерозойского суперконтинента // Физика Земли. 2000. № 8. С. 23–34.
- Павлов В.Э., Галле И., Шаццлло А.В., Водовозов В.Ю.* 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. № 2. С. 28–49.
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др.* Палеомагнитология. Л.: Недра. 1982. 312 с.
- Шаццлло А.В.* Палеомагнетизм венда Юга Сибирской платформы и некоторые аспекты позднекембрийской геодинамики. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ИФЗ РАН. 2006. 238 с.
- Шипунов С.В.* Новый тест складки в палеомагнетизме (реабилитация теста выравнивания) // Физика Земли. 1995. № 4. С. 67–74.
- Шипунов С.В., Бретштейн Ю.С.* Проблемы компонентного анализа в палеомагнетизме // Физика Земли. 1999. № 3. С. 52–61.

- Bretshtein Y.S., Klimova A.V.* Paleomagnetism of rocks in the Phanerozoic Terrains of southeast Russia: Comparison with data for the North China Platform: A review. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2005. V. 7. № 1. <http://rjes.wcdb.ru>.
- Enkin R.J.* A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre. Geological Survey of Canada. 1994. P. 16.
- Gao R.F., Huang H.L., Zhu Z.W. et al.* The study of paleomagnetism in Northeastern Sino-Korean massif during Pre-late Paleozoic // *Contr. Project of Plate Tectonics of Northern China*. Geol. Publ. House. Beijing. 1983. № 1. P. 265–274.
- Halls H.C.* The use of converging remagnetization circles in paleomagnetism // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1978. V. 16. P. 1–11.
- Huang B.C., Yang Z.Y., Otofujii Yo-ichiro, Zhu R.X.* Early Palaeozoic palaeomagnetic poles from the western part of the North China block and their implications // *Tectonophysics*. 1999a. V. 308. P. 377–402.
- Huang B.C., Otofujii Yo-ichiro., Yang Z.Y.* Palaeomagnetic constraint on the tectonic relationship between the Alashan/Hexi Corridor terrane and the North China block // *Geophys. Res. Lett.* 1999b. V. 26. № 6. P. 787–790.
- Kirschvink J.L.* The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data // *Geophys. J. R. astr. Soc.* 1980. V. 62. P. 699–718.
- Lin J.L., Fuller M., Zhang W.Y.* Preliminary Phanerozoic polar wander paths for the North and South China blocks // *Nature*. 1985. V. 313. P. 444–449.
- Kravchinsky V.A., Sorokin A.A., Courtillot V.* Paleomagnetism of Paleozoic and Mesozoic sediments from the southern margin of Mongol-Okhotsk ocean, far eastern Russia // *Journal Geoph. Res.* 2002. V. 107. № B10. 2253. EPM 10.1–10.22.
- McFadden P.L.* A new fold test for paleomagnetic studies // *Geophys. J. Int.* 1990. V. 103. P. 163–169.
- McFadden P.L., McElhinny M.W.* Classification of the reversal test in palaeomagnetism. // *Geophys. J. Int.* 1990. № 103. P. 725–729.
- McFadden P.L., McElhinny M.W.* The combined analysis of remagnetization circles and direct observations in palaeomagnetism // *Earth and Planetary Science Letters*. 1988. № 87. P. 161–172.
- Watson G.S., Enkin R.J.* The fold test in paleomagnetism as parameter estimation problem // *Geophys. Res. Lett.* 1993. V. 20. P. 2135–2137.
- Wilde S.A., Zhang X., Wu F.* Extension of a newly identified 500 Ma metamorphic terrane in North East China: further U-Pb SHRIMP dating of the Mashan Complex, Heilongjiang Province, China // *Tectonophysics*. 2000. V. 328. P. 115–130.
- Yang Z., Otofujii Y., Sun Z., Huang B.* Magnetostratigraphic constraints on the Gondwanan origin of North China: Cambrian/Ordovician boundary results // *Geophys. J. Int.* 2002. № 151. P. 1–10.
- Zhang S., Wu H., Li Z. X., Wang H.* New paleomagnetic results from Neoproterozoic successions in southern North China Block and paleogeographic implications // *Science in China. Series D*. 2000. V. 43. P. 233–244.
- Zhao X., Coe R., Liu C., Zhou Y.* New Cambrian and Ordovician paleomagnetic poles for the North China Block and their paleogeographic implications // *J. Roy. Geophys. Res.* 1992. V. 97. № B2. P. 1767–1788.
- Zijderveld J.D.A.* Ac. demagnetization of rocks: analysis of results // *Methods in palaeomagnetism* / Eds. D.W. Collinson, K.M. Kreer. Amsterdam: Elsevier Publ. Co. 1967. P. 254–286.