

УДК 550.858.5:551.72:551.732:571.6

ПЕТРО-, ПАЛЕОМАГНИТНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЮРСКИХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ЮГО-ВОСТОКА РОССИИ

© 2009 г. Ю. С. Бретштейн

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

Поступила в редакцию 19.11.2008 г.

В статье приведены новые петро-, палеомагнитные данные по юрским терригенным комплексам мезозойских осадочных бассейнов Приамурья, Забайкалья и Якутии. Исследованы магнитные свойства осадочных пород прибрежно-морского (палеошельфового) и озерного генезиса в современных внутриконтинентальных рифтогенных мезозойских наложенных прогибах Сибирской (СП) и Амурской (АП) плит – Чуманском, Унда-Даинском, Средне-Амурском, Амуро-Зейском и Верхне-Буреинском. Выявлены статистически значимые различия в магнитных (анизотропных) характеристиках континентальных и морских отложений. Установлена корреляция скалярных и тензорных характеристик анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ) и параметров ее линейности, опосредованно зависящих от интенсивности складчатости. На основе анализа распределения осей тензорного эллипсоида АМВ определены предпочтительные направления регионального стресса при складкообразовании. Уточнены юрские позиции палеомагнитного полюса, близкие к мезозойскому участку траектории его кажущегося движения (ТКДП) для Северо-Китайской (СКП) плиты и отличающиеся от юрских полюсов СП. Выявлены внутриплитные вращения геоблоков в пределах амальгамированных к концу юры–началу мела террейнов в составе Амурской тектонической плиты. Рассчитанные координаты палеомагнитного полюса указывают на большее, чем нынешнее, расхождение широтных позиций южной части СП, а также АП и СКП в ранне-среднеюрское время. Это может свидетельствовать о том, что общая ширина мелководных остаточных бассейнов палеоазиатского океана, разделявших указанные геоблоки в ранней-средней юре, достигала первые тысячи километров, и/либо такое различие в палеоширотах отражает общую величину сокращения (сучивания) коры при аккреции и складкообразовании. Время завершения аккреции террейнов Амурской и Северо-Китайской плит и причленения их к Сибирской плите – не ранее конца поздней юры–начала мела.

PACS: 91.25.Ng; 91.25.St

ВВЕДЕНИЕ

Проблема аналитической оценки времени “закрытия” Палеоазиатского океана и завершения амальгамации многочисленных геоблоков на периферии Сибирской и Северо-Китайской платформ в пределах единой Амурской тектонической плиты, выделяемой в составе восточной части композитного Центрально-Азиатского орогенного пояса [Зоненшайн и др., 1990; Мальшев и др., 2007] последние два десятилетия привлекала внимание многих исследователей – геологов и геофизиков [Натальин, 1991; Besse, Curtillot, 1992; Печерский, Диденко, 1995; Кузьмин, Кравчинский, 1996; Zhao et al., 1990, 1996; Halim et al., 1998; Yang, Besse, 2001; Kravchinsky et al. 2002a; Kravchinsky et al., 2002b и др.]. Отсутствие однозначных оценок времени “окончательной” конвергенции плит обусловлено сравнительно немногочисленностью и рекогносцировочным характером проведенных на Дальнем Востоке и в Сибири палеомагнитных исследований мезозоя, в целом, и скудностью базы качественных палеомагнитных данных по юрским породам для СКП, Сибири и Евразии, в частности.

Опубликованные данные свидетельствуют о достаточно широком предполагаемом временном диапазоне консолидации СП и СКП – от перми до мела, хотя большинство из них в качестве основного рубежа смены палеогеографического режима с морского на континентальный указывает на юру.

Вместе с тем, в большинстве случаев геодинамические выводы, приводимые в указанных работах, не подтверждены палеомагнитными тестами, либо базируются на общих геологических признаках замыкания и “осушения” Палеоазиатского океана, устанавливаемых при фациальном анализе отложений (увеличении в разрезах грубообломочных разностей, наличии углистых прослоев в осадках и т.п.). Следует также отметить, что палеомагнитные определения для поздней юры–мела выполнены, в основном, по магматическим (эффузивным) породам при не всегда ясных структурных и возрастных взаимоотношениях базальтовых потоков и нижележащих осадочных пород (например, [Halim et al., 1998; Kravchinsky et al., 2002b и др.]). Следует также учитывать то обстоятельство, что точность подразделения юрского перио-

да на отделы и, тем более, свиты для различных регионов Дальнего Востока, Сибири и Китая весьма неравноценна, достаточно условна и осуществлена, преимущественно, на основе анализа вариаций литолого-фациальных особенностей пород [Геологическая карта..., 1999], либо иногда достаточно спорных оценок фаунистических и флористических различий (например, [Захаров и др., 1996]). Соответственно приводимые разными исследователями палеомагнитные данные, привязанные к одноименным, но не всегда реально сопоставимым стратиграфическим подразделениям юры могут оказаться не всегда корректными.

Поэтому дальнейшее палеомагнитное изучение юрских терригенных комплексов на современной качественной палеомагнитной основе (и на более широком круге объектов) является важной и актуальной задачей. Это необходимо для объективной оценки кинематики плит в пределах коллизионных зон Сибирской и Северо-Китайской плит на завершающем этапе формирования суперконтинента Евразии.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И МЕТОДИКА ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В геотектоническом отношении рассматриваемый район характеризуется сложным сочетанием аккретированных в позднем палеозое и раннем мезозое террейнов различного генезиса и возраста (протерозойского и палеозойского), образующих конвергентно сопряженные структуры, сформировавшие основные орогенные пояса Дальневосточного региона – Аргунско-Мамынский, Монголо-Охотский и Бурей-Ханкайский на стыке Евразийского крата и Северо-Китайской платформы. В современных географических координатах изученные объекты расположены в пределах Восточного Забайкалья, Южной Якутии и Приамурья. Они представлены наложенными депрессионными рифтогенными структурами юрского возраста, сформированными мощными толщами различного фациального состава – от флишoidных терригенных пород прибрежно-морского генезиса (Калангуй, Павловск) до грубообломочных вулканогенно-терригенных озерно-континентальных комплексов пород (Чульман, Жидка, Шивия, Зея, Бейтоново). Породы нижних частей юрских геологических разрезов в пределах Верхне-Бурейской и Амуро-Зейской депрессии характеризуются переходными фациями от морских к континентальным. При всех вышеупомянутых оговорках относительно точности возрастной геологической корреляции отдельных разрезов, можно достаточно обоснованно говорить о преимущественно морских нижнеюрских и, соответственно – континентальных позднеюрских отложениях депрессий – с вариациями рас-

пространения переходных фациальных типов в диапазоне геологического времени от среднеюрского до средне-, позднеюрского.

Отбор ориентированных образцов в поле осуществлялся в соответствии с общепринятой методикой [Храмов и др., 1982]. В дальневосточных условиях, часто отличающихся редкой обнаженностью коренных пород, когда многие обнажения отстоят друг от друга на десятки и даже сотни километров, изученные геологические разрезы можно, скорее, сопоставить с понятием “район” (locality), принятым в зарубежной литературе, а не с понятием “сайт” (site, место отбора), часто относимым к сравнительно близко расположенным точкам в пределах одного обнажения. Это необходимо иметь в виду при анализе и сопоставлении наших и зарубежных табличных данных.

В процессе лабораторного изучения пород, проводившегося в различных лабораториях России, США и Франции, использовалась современная измерительная аппаратура – криогенный магнитометр, рок-генераторы, каппа-мосты, различные размагничивающие установки. Работы включали весь современный комплекс исследований и экспериментальных методов, в т.ч. последовательное измерение намагниченности и магнитной восприимчивости пород в процессе ступенчатой температурной “чистки” до $690^{\circ}\text{C} - J_n(T)$, а также чистку в переменном магнитном поле величиной до $100 \text{ мТл} - J_n(\hat{H})$, которая оказалась менее эффективной. В процессе термомагнитного анализа исследовались носители естественной остаточной намагниченности J_n ; определялись различные характеристики: коэрцитивная сила H_c , величина и температурные зависимости намагниченности насыщения J_s , изотермической нормальной намагниченности насыщения $J_{rs}(H)$ и магнитной восприимчивости $\chi(T)$. Изучалась также анизотропия магнитной восприимчивости (AMB) и изотермической остаточной намагниченности (AIRM) пород, в частности, с целью оценки ее возможного влияния на наклонение вектора ChRM и связи с процессами орогенеза.

Обработка палеомагнитных данных производилась с использованием современных статистических методов: компонентного анализа [Zijderveld, 1967; Kirschvink, 1980], пересечения кругов перематывания [Храмов и др., 1982], различных модификаций теста складки [McFadden, 1990; Enkin, 1994; 2003; Watson, Enkin, 2003; Шипунов, 1995a], а также разработанных способов анализа векторных палеомагнитных характеристик для выделения до-, син- и постскладчатой компонент естественной остаточной намагниченности [Шипунов, 1995б;]. Компьютерная обработка данных проводилась с использованием соответствующих пакетов прикладных программ [Enkin, 1994; Шипунов, 1995], а также программ для вычисления и анализа

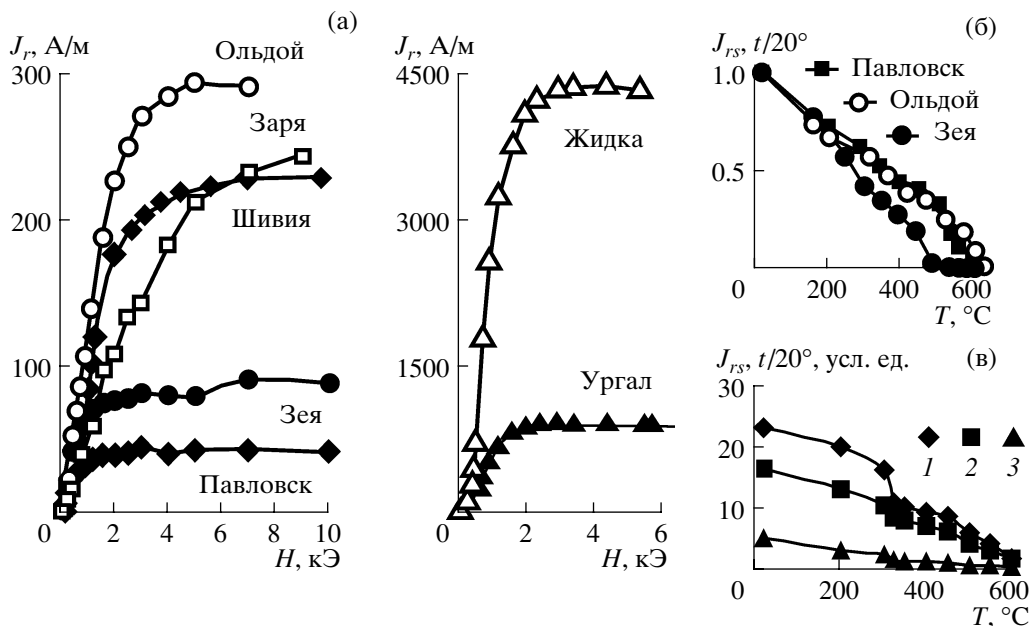


Рис. 1. Петрофизическая характеристика юрских терригенных пород: (а) – графики нормального намагничивания $J_r(H)$; (б) – нормированные кривые температурной зависимости J_{rs} ; (в) – графики $J_r(T)$ для различных значений постоянного намагничивающего поля H ($1 = 10$ кЭ, $2 = 0.05$ кЭ, $3 = 0.01$ кЭ).

данных по магнитной анизотропии пород, созданных В.Н. Завойским.

ПЕТРОМАГНИТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1а–1в показаны примеры определения петромагнитных параметров юрских осадочных пород различного генезиса. Судя по кривым намагничивания в постоянном магнитном поле и величине магнитного насыщения, а также температурным кривым размагничивания J_r и J_{rs} (в том числе полученных в различных магнитных полях), носителями намагниченности в терригенных породах являются магнетит с блокирующей температурой около 580°C , реже – пирротин и гематит.

На рис. 2а показано распределение больших, промежуточных и малых осей (K_1 , K_2 , K_3) тензорного эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ), которое подчеркивает азимутальное направление линейности структур (K_1) и позволяет определить направление преобладающих тектонических напряжений (K_2) при складкообразовании [Hroudá, 1982; Borradaile, 1988].

Анизотропия магнитной восприимчивости прибрежно-морских и озерно-континентальных фаций изученных осадочных пород из большинства геологических разрезов характеризуется смешанным (как слоистым, так и линейным) типом, при этом прослеживается значимая корреляция возрастания линейности АМВ с ростом общей анизотропии (рис. 2б, 2г). Ранее [Bretshtein, Klimova, 2005; Bretshtein, Klimova, 2006a; Bretshtein и

др., 2006б] для осадочно-метаморфических комплексов региона была установлена прямая корреляционная зависимость между скалярной абсолютной величиной АМВ (E_m) и магнитной восприимчивостью (χ), тангенсом угла ($\text{tg} I_g$) наклона вектора выделяемой высокотемпературной компоненты, а также величиной угловой поправки в наклонение за анизотропию – Δ° . Это свидетельствует о возрастании общей АМВ в процессе орогенеза, наряду с увеличением абсолютной величины занижения наклона вектора выделяемой характеристической компоненты ChRM в процессе роста АМВ. При сравнительно невысоких абсолютных значениях, последняя для пород прибрежно-морских и озерно-континентальных фаций статистически значимо различается (рис. 2в), что хорошо согласуется с большей абсолютной величиной и дисперсией параметра E_m у интенсивно смятых (часто в крутые складки) осадков прибрежно-морского генезиса по сравнению со значительно более полого залегающими гетерогенными по составу породами озерно-континентальных фаций.

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

На рис. 3 представлены типовые графики температурного разрушения естественной остаточной намагниченности изученных пород и соответствующие диаграммы Зийдервельда. В результате полного температурного размагничивания до 600°C в образцах из большинства геологических

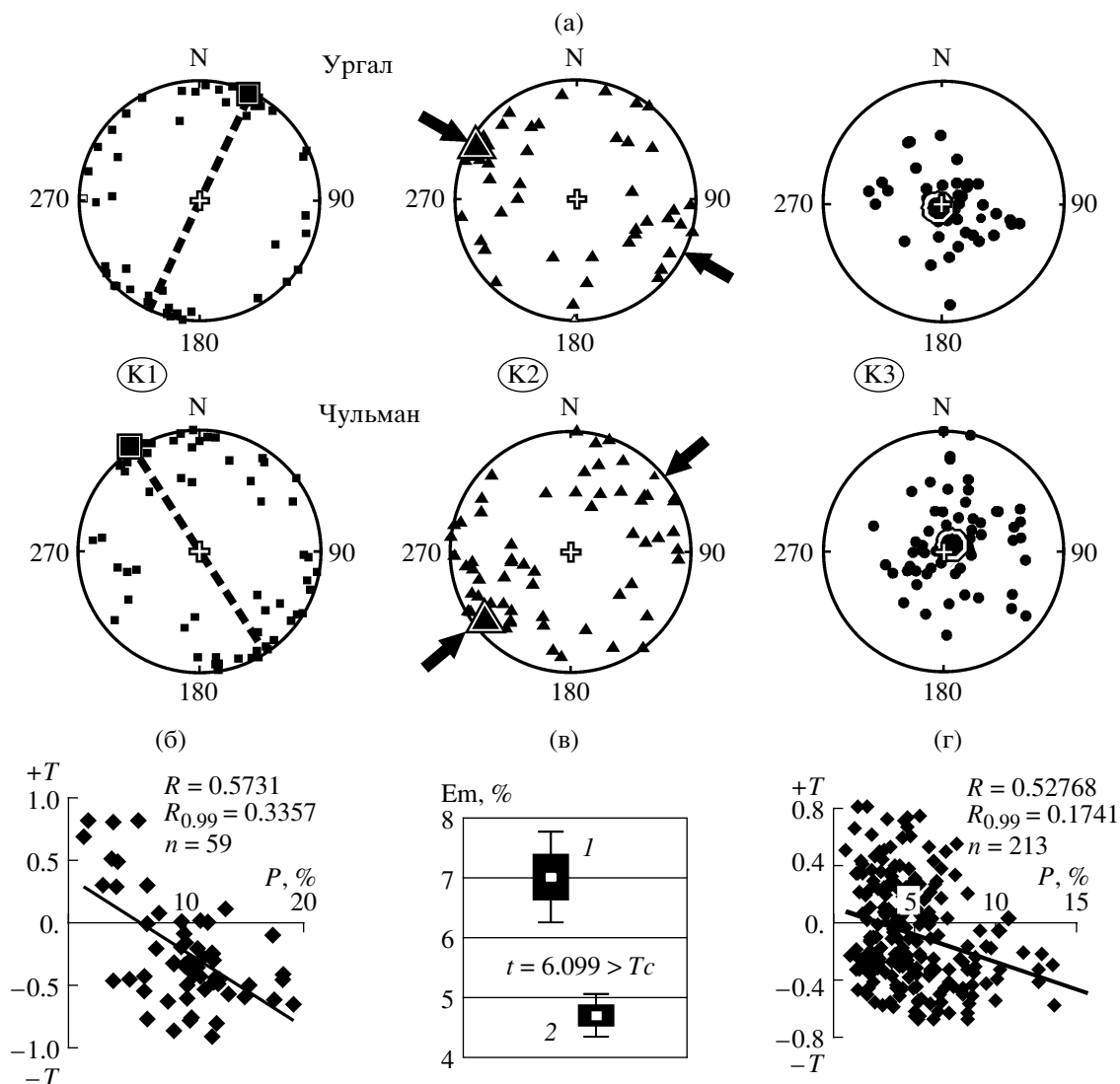


Рис. 2. (а) – распределение осей тензорного эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ) на стереографической проекции (стратиграфическая система координат, нижняя полусфера): квадраты, треугольники, кружки – соответственно большие (K_1), промежуточные (K_2) и малые (K_3) оси эллипсоида (крупные значки – средние направления осей), штриховые линии – средние направления осей складчатости (линейности), стрелки – преобладающие (“предпочтительные”) направления тектонических напряжений (стресса) при орогенезе; (б), (г) – зависимость между величиной общей анизотропии (P , %) и типом эллипсоида (T) АМВ (диаграмма Елинека [Jelinek, 1981]) – соответственно для морских (раннеюрских) и озерно-континентальных (преимущественно средне-позднеюрских) фаций пород; R , $R_{0.99}$ – вычисленные и табличные коэффициенты корреляции (уровень вероятности для $p = 0.99$), n – количество образцов; (в) – соотношение статистических параметров скалярной величины АМВ по t -критерию Стьюдента для (б) (1) и (г) (2).

разрезов обычно выделяется относительно низкотемпературная (до 350°C), судя по направлению, вторичная компонента намагниченности, близкая направлению современного геомагнитного поля, и высокотемпературная характеристическая компонента ChRM, обусловленная магнетитом.

Группирование разрезов при тестировании в различных модификациях [MacFadden, 1990; Enkin, 1994; 2003; Шипунов, 1995] показало, что доскладчатая компонента определенно выделена по всем тестам только в ранне- и ранне-среднеюрских по-

родах преимущественно прибрежно-морского генезиса в Забайкалье, Средне-Амурской и Верхне-Буреинской депрессиях (рис. 4, табл. 1). Для средне-позднеюрских пород (№№ 4–6 табл. 1) характерно наличие синскладчатой, либо суммы до- и постскладчатой компонент намагниченности, которые невозможно разделить, вследствие слабого магнитного сигнала при измерениях, когда на “невыразительных” векторных диаграммах выделенные в различных диапазонах температур компоненты часто “не идут” в начало координат и прихо-

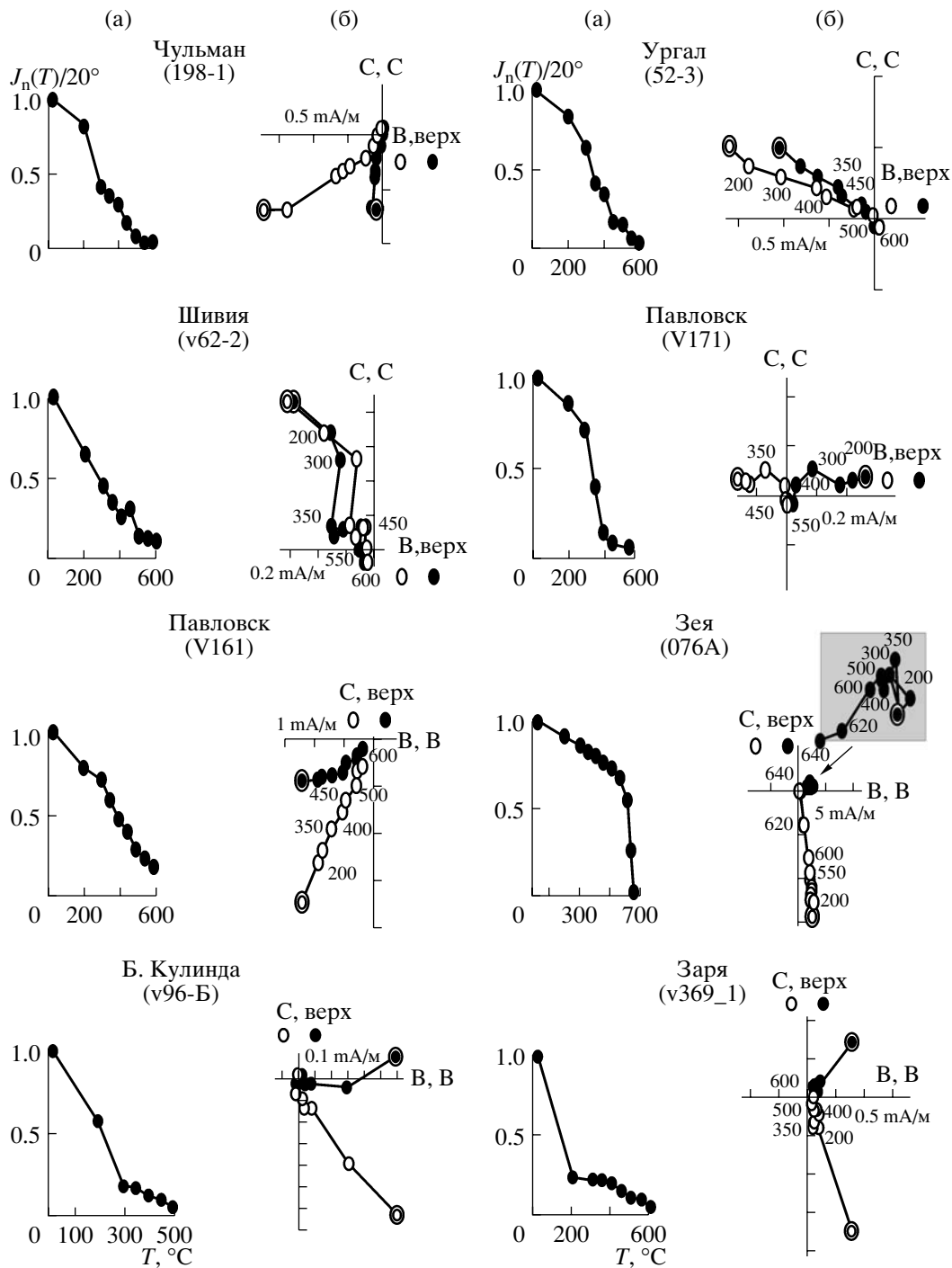


Рис. 3. Результаты ступенчатого терморазмагничивания горных пород: (а) – типовые нормированные графики терморазмагничивания $J_n(T)$; (б) – диаграммы Зийдervильда: залитые (полые) кружки – проекции на горизонтальную (вертикальную) плоскость (С – север, В – восток); двойные кружки – начальные положения векторов $J_n(T)$. Стратиграфическая (древняя) система координат.

дится применять круги перемагничивания. Тем не менее, было сочтено возможным использовать такие результаты в контексте общего анализа всего полученного материала и в целях сопоставления пород различного генезиса по их петро-, палеомагнитным характеристикам.

В немногочисленных и во многом устаревших палеомагнитных реферативных источниках по юрским породам для Сибирской платформы и смежных территорий [Поспелова, 1971; Писаревский, 1982; Павлов, 1993], а также в более поздних [Кузьмин, Кравчинский, 1996; Halim et al., 1998;

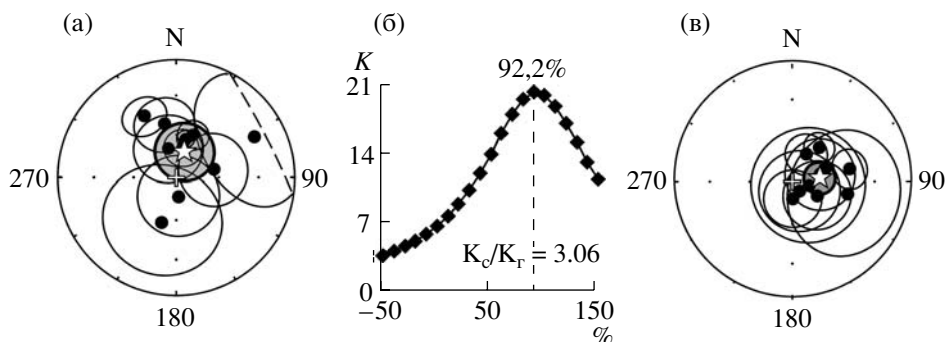


Рис. 4. Распределение средних направлений выделенных компонент ChRM (залитые кружки с овалами доверия) для 10-ти геологических разрезов раннеюрских пород (Калангуй и др. – см. табл. 1). Залитые кружки, сплошные (штриховые) линии – проекции на нижнюю (верхнюю) полусферу. Звездочки – среднее направление в географической (а) и стратиграфической (в) системе координат; (б) – график “распрямления” для теста складки в модификации DC [Enkin, 2003], указана величина (в %), при которой достигается максимальное значение кучности K_{max} ; (K_c/K_r – отношение кучностей распределения средних направлений в стратиграфической/географической системе координат).

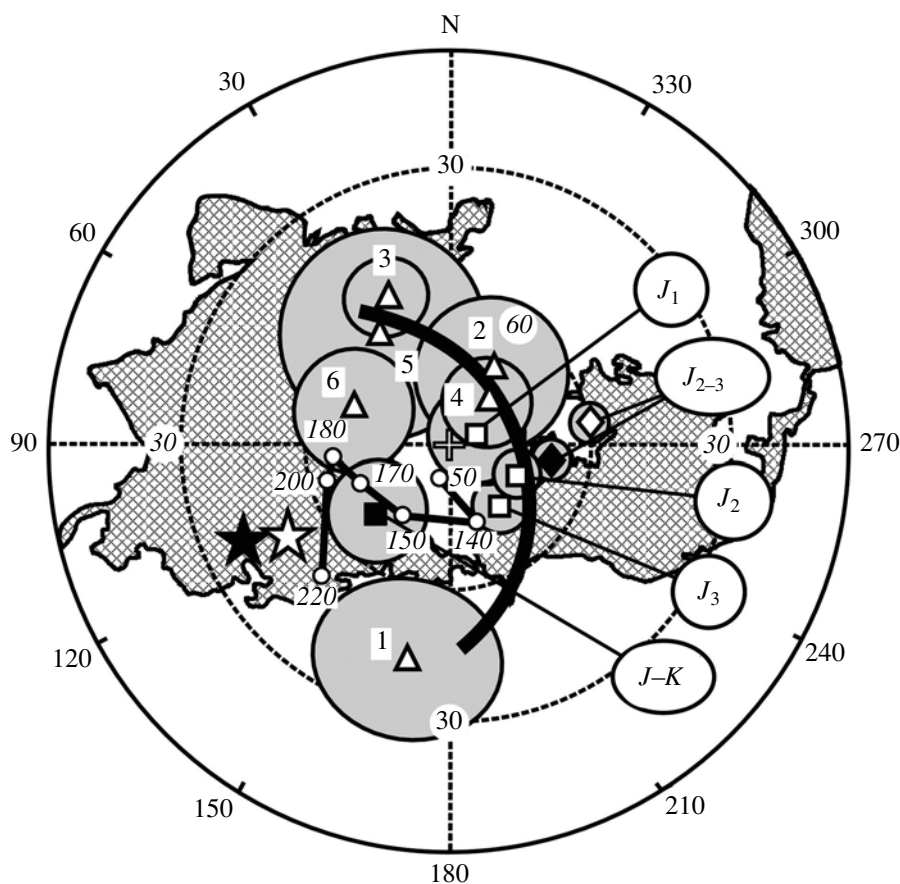


Рис. 5. Положения юрского палеомагнитного полюса (ПП). Изученные геологические районы (треугольники) – Забайкалье: 1 – Калангуй, Заря, Павловск; 4 – Жидка–Шивия. Приамурье: 2 – Ольдой; 5 – Зея–Бейтоново; 3 – Ургал (Верхне-Буреинская депрессия); Сибирская платформа (Алдано–Становой щит): 6 – Чульман (Чульманская депрессия). Белые и черные квадраты – позиции юрского ПП соответственно для Северо-Китайской [Gilder, Courtillot, 1992; Yang et al., 1992] и Сибирской [Поспелова, 1971; Писаревский, 1982; Павлов, 1993; Кузьмин, Кравчинский, 1996] плит. Для последней дано среднее по пяти определениям (табл. 1, №№ 6, 8–11); белый (черный) ромбик – позиции средне-позднеюрского ПП для шадаронской вулканогенной формации Унда-Даинской депрессии в Забайкалье, вычисленные с поправкой (без поправки) за наклон [Klavchinsky et al., 2002a; 2002b]; овалы доверия (A_{95}) вокруг палеомагнитных полюсов показаны затухеванным серым фоном; усредненный возраст пород, по которым приведены данные из реферированных работ, показан в больших белых кружках; тонкая ломанная линия с маленькими полыми кружками – мезо-кайнозойский участок ТКДП для Евразии [Besse, Courtillot, 2002], цифры мелким курсивом – время млн. лет; белая (черная) звездочки – среднее расположение изученных объектов в Приамурье, Южной Якутии и Забайкалье (Северо-Восточном Китае). Дугообразная утолщенная линия – общий тренд “вращения” позиций ПП вокруг эйлорова полюса.

Таблица 1. Палеомагнитные характеристики юрских пород Забайкалья, Приамурья и Якутии

№	район, ф, λ	воз- раст N/n	D _r D _c	I _r I _c	K _r K _c	α ₉₅ (г/с)	γ Δ (min-max)	Φ _m (г/с)	Λ (г/с)	Φ (г/с)	A ₉₅	Тесты		
												McF	NFT DC	
I. АМУРСКАЯ ПЛИТА														
ЗАБАЙКАЛЬСКОЕ ЮРСКОЕ “ПОЛЕ” В МЕЖДУРЕЧЬИ ОНОНА–БОРЗИ (прибрежно-морские отложения)														
1	Калангуй, Заря 51.3 117.3	J ₁ 10/98	18.5 83.3	70.8 70.9	6.5 19.9	20.6 11.1	<u>92.2</u> (66.9–116.6)	55.1 53.3	180.9 168.0	78.3 43.1	33.4 18.0	ξ _{1is} = 6.318 ξ _{1uf} = 1.556 ξ _{c95} = 3.685 ξ _{c99} = 5.120	+	+
СРЕДНЕ-АМУРСКАЯ ДЕПРЕССИЯ (бассейн р. Ольдой, прибрежно-морские и озерно-континентальные отложения)														
2	Ольдой 53.9 123.4	J ₁₋₂ 3/21	330.2 348.6	34.3 52.6	2.8 34.3	96.0 21.4	<u>128.2</u> (104.1–144.8)	18.8 33.2	348.2 329.3	48.1 67.8	83.2 24.5	ξ _{2is} = 2.932 ξ _{2uf} = 1.199 ξ _{c95} = 2.076 ξ _{c99} = 2.662	+	+
ВЕРХНЕЕ-БУРЕЙНСКАЯ ДЕПРЕССИЯ (прибрежно-морские и озерно-континентальные отложения)														
3	Ургал 51.0 133.2	J ₂ 9/42	326.8 323.6	70.5 50.9	21.5 47.0	11.4 7.6	<u>81.9</u> (32.4–127.6)	54.7 31.6	66.7 21.3	69.8 57.0	18.4 8.4	ξ _{1is} = 3.800 ξ _{1uf} = 0.310 ξ _{c95} = 3.497 ξ _{c99} = 4.849	+	+
УНДА-ДАЙНСКАЯ ДЕПРЕССИЯ (озерно-континентальные отложения)														
4	Шивия, Жидка 51.8 117.3	J ₃ 4/28	2.5 350.9	69.0 54.6	51.7 64.3	12.9 11.5	<u>53.6</u> (24.7–82.3)	52.5 35.1	182.3 322.2	88.3 72.1	20.2 13.6	ξ _{2is} = 2.784 ξ _{2uf} = 3.148 ξ _{c95} = 2.335 ξ _{c99} = 3.180	syn	~
АМУРО-ЗЕЙСКАЯ ДЕПРЕССИЯ (озерно-континентальные отложения)														
5	Зея, Бей- тоново 52.2 128.2	J ₂₋₃ 4/26	17.3 319.3	71.3 62.0	46.5 45.1	13.6 13.8	<u>49.0</u> (–3.5–99.3)	55.9 43.2	191.9 34.9	79.4 61.6	22.2 18.9	ξ _{2is} = 0.890 ξ _{2uf} = 1.011 ξ _{c95} = 2.076 ξ _{c99} = 2.662	syn	~
II. СИБИРСКАЯ ПЛИТА – АЛДАНО-СТАНОВОЙ ЩИТ (озерно-континентальные отложения)														
6	Чульман* 56.9 124.8	J ₂₋₃ 11/60	344.2 293.9 317.7*	74.5 75.0 76.3*	36.9 38.4 43.9*	7.6 7.5 7.0*	<u>53.4</u> (2.7–104.5)	61.0 61.8 64.0*	68.1 71.6 71.4*	80.9 57.4 68.4*	13.1 13.1 12.5*	ξ _{2is} = 3.982 ξ _{2uf} = 4.872 ξ _{c95} = 3.865 ξ _{c99} = 5.378	syn	~

Таблица 1. Окончание

РЕФЕРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ								
№	район, координаты φ, λ	возраст	N/n	φ_m (с)	Λ (с)	Φ (с)	A_{95}	источник
I. АМУРСКАЯ ПЛИТА (УНДА-ДАИНСКАЯ ДЕПРЕССИЯ)								
7	Шадаронский эффузивный комплекс* 51.5 117.5	J_{2-3}	8/43	33.0* 22.1	261.8* 279.0	68.6* 59.6	4.1* 4.2	[Kravchinsky, 2002b]
II. СИБИРСКАЯ ПЛИТА И АККРЕЦИОННЫЕ ТЕРРЕЙНЫ ЕЕ ЮЖНОГО ОБРАМЛЕНИЯ								
8	р. Лена 72.6 124.7	T_2-J_1	3/26	64.3	129	47	8	[Писаревский, 1982]
9	р. Улахан-Юрях » »	J_3-K_1	1/25	83.5	145	71	8	»
10	Кондер 57.7 134.6	$J-K$	-/34	69.7	163	75	10.6	[Павлов, 1993]
11	Могзон 51.8 112.0	J_3	9/57	62.1	161.0	64.4	7.0	[Кузьмин, Кравчинский, 1996]
III. СЕВЕРО-КИТАЙСКАЯ ПЛИТА С ВНУТРЕННЕЙ МОНГОЛИЕЙ (сводные данные)								
12	36.2 109.3	J_1	10/-	28.6	286.0	82.4	10.0	[Yang et al. 1992]
13	36.9 111.4	J_2	6/-	28.7	234.8	76.4	5.1	[Yang, Besse, 2001]
14	31.6 116.0	J_2	23/-	19.7	249.3	73.6	4.9	[Gilder, Courtillot, 1997]
15	31.6 116.0	J_3	10/-	26.0	222.8	74.4	5.9	»
16	48.3 120.4	J_3	4/-	37.3	231.6	68.5	9.5	[Zhao et al., 1990; 1996]

Примечание: N/n – общее количество геологических разрезов (“сайтов” и/или “районов” для реферативных данных)/ штуфов, использованных при расчетах палеополюса; D, I – склонение и наклонение среднего вектора выделенной высокотемпературной компоненты ChRM при определении палеомагнитного полюса; индексы г, с – соответственно географическая (современная) и стратиграфическая (древняя) системы координат; K – кучность распределения единичных векторов ChRM; A_{95} – радиус круга доверия для среднего вектора при вероятности $p = 0.95$; %, $\Delta\%$, K_{max} – параметры теста складки: % – процент “распрямления” складок, при котором достигается наибольшая кучность K_{max} в тесте DC (см. ниже); $\Delta\%$ – величина (доверительный интервал) “распрямления”; $\varphi_m, \Lambda, \Phi (A_{95})$ – геомагнитная широта (палеоширота) района, долгота и широта (радиус круга доверия) для среднего полюса при вероятности $p = 0.95$; Тесты складки: McF – [McFadden, 1990], NFT – [Шипунов, 1995], DC – [Watson, Enkin, 2003] – положительный (+), неопределенный (~); параметры теста McF: $\xi_{is} (\xi_{uf})$ – *in situ* (после распрямления), $\xi_{c99} (\xi_{c95})$ – критические значения коэффициентов корреляции для уровня вероятности $p = 0.99 (0.95)$; ξ_1, ξ_2 – коэффициенты для вариантов теста FOLD1, FOLD2 соответственно; SYN – синскладчатая ChRM. Прочерк в графах означает отсутствие данных. Значения палеомагнитных параметров для СП (Чульман), рассчитанные по максимальной кучности распределения для синскладчатой (SYN) ChRM (тест DC), и данные, полученные для образцов *in situ* [Kravchinsky, 2002], показаны значком (*).

Kravchinsky et al., 2002a], которые приходится сопоставлять с нашими данными, ссылки на использование каких-либо тестов отсутствуют либо констатируется перемагничивание пород и, в частности, не исключается целесообразность использования для геодинамических оценок и палинспастических реконструкций позиций юрского палеополюса, полученных для вулканических пород *in situ*, ввиду их лучшей согласованности с полюсами, полученными для смежных регионов.

В табл. 1 представлены основные палеомагнитные характеристики юрских осадочных пород изученных объектов, а также приведены соответствующие реферативные данные по Сибирской и Северо-Китайской плитам. Как видно из таблицы, а также рис. 5, полученные по осадочным породам наложенных депрессий юрские позиции палеомагнитного полюса (треугольники) близки его позициям, полученным для СКП (полюе квадраты на рисунке). Наблюдается их отчетливый разброс по склонению вдоль дуги малого круга с эйлеровым

полюсом (центром вращения), приблизительно совпадающим с районами исследований.

Относимые к Амурской плите геоблоки, будучи расположенными на стыке СП и СКП и находясь в зоне их “влияния” (взаимодействия), вероятно, имели сложный характер движений между этими смежными плитам, которые также подвергались разнонаправленным дифференцированным вращениям. Это можно интерпретировать, как повороты геоблоков друг относительно друга в позднемезозойское-раннекайнозойское время при перманентных лево- и правосторонних сдвиговых смещениях в пределах системы разломных зон, “обрамлявших” указанные наложенные депрессионные структуры уже после формирования задуговых осадочных бассейнов. Этот процесс мог сопутствовать различным фазам кайнозойского рифтинга, ассоциируемого с западной субдукцией Тихоокеанской плиты под Азиатский континент в кайнозое [Zhang et al., 2003]. Наличие масштабных вращений подтверждается также результатами палеомагнитных исследований, проведенных в предыдущие годы на

Таблица 2. Сопоставление палеомагнитных данных для юрских пород Амурской, Сибирской и Северо-Китайской плит

№ п/п	Район	Возраст (N/n)	λ	φ	φ_m	Λ	Φ	A_{95}	F	ΔF	R	ΔR
I. ЗАБАЙКАЛЬЕ (АРГУНСКИЙ ТЕРРЕЙН)												
1	Калангуй, Заря, Клад, Павловск	J_1 (10/98)	117.3	51.3	55.3	168.0	43.1	18.0	$\frac{12.0}{16.2}$	$\frac{15.0}{17.5}$	$\frac{81.3}{64.2}$	$\frac{25.4}{44.8}$
2	Шивия, Житка	J_3 (4/28)	117.4	51.8	35.1	322.2	72.1	13.6	$\frac{6.7}{37.2}$	$\frac{16.6}{14.7}$	$\frac{30.2}{28.6}$	$\frac{28.1}{41.1}$
II. ПРИАМУРЬЕ (ОЛЬДОЙСКИЙ ТЕРРЕЙН И ВЕРХНЕ-БУРЕЙНСКАЯ ДЕПРЕССИЯ)												
3	Ольдой	J_{1-2} (3/21)	123.4	53.9	39.4	318.6	75.1	20.8	$\frac{11.6}{36.0}$	$\frac{22.3}{18.7}$	$\frac{34.9}{19.9}$	$\frac{34.3}{51.0}$
4	Зея, Бейтоново	J_{2-3} (4/26)	125.9	53.1	43.2	32.2	61.6	18.9	$\frac{1.2}{31.7}$	$\frac{15.0}{17.6}$	$\frac{64.5}{51.6}$	$\frac{20.6}{49.5}$
5	Ургал	J_2 (9/42)	133.2	51.0	31.6	21.3	57.0	8.4	$\frac{13.1}{41.9}$	$\frac{7.2}{12.4}$	$\frac{61.1}{37.3}$	$\frac{10.3}{42.1}$
АМУРСКАЯ ПЛИТА												
Среднее для 5 районов (№№ 2–5, 7 – табл. 1)		J_{2-3} (28/160)	123.9	52.2	38.5	349.1	72.4	19.7	$\frac{4.6}{35.2}$	$\frac{15.0}{18.0}$	$\frac{38.9}{28.7}$	$\frac{20.1}{46.5}$
СИБИРСКАЯ ПЛИТА												
Среднее для 5 районов (№№ 6, 8–11 – табл. 1)		J_{2-3} (>25/202)	123.8	62.5	82.9	133.9	68.3	16.8	$\frac{-31.6}{-}$	$\frac{13.0}{-}$	$\frac{3.5}{-}$	$\frac{99.6}{-}$
СЕВЕРО-КИТАЙСКАЯ ПЛИТА												
Среднее для 3 районов (№№ 14–16 – табл. 1)		J_{2-3} (37/218)	117.2	37.2	27.8	234.4	72.4	7.7	$\frac{-}{30.2}$	$\frac{-}{12.2}$	$\frac{-}{6.3}$	$\frac{-}{23.9}$

Примечание: N/n – количество изученных районов (геологических разрезов)/штуфов, использованных для расчетов; λ , φ – средние координаты района; φ_m , Λ , Φ (A_{95}) – геомагнитная широта (палеоширота) района, долгота, широта (радиус круга доверия) для среднего полюса при вероятности $p = 0.95$; F – смещение геоблоков по широте, пересчитанное из координат юрского полюса кратона – СКП или СП (цифры соответственно в числителе или знаменателе); знак (+) или (–) означает смещение рассчитанной позиции (φ_m) относительно полученной севернее или южнее (в предположении тектонической общности сравниваемых депрессий и кратонов); R – угол вращения геоблоков; (ΔF), (ΔR) – доверительные интервалы стандартные угловые отклонения) для уровня вероятности $p = 0.95$. Статистически незначимые величины параметров F (ΔF) и R (ΔR) показаны курсивом. Для раннеюрских пород АП сопоставление выполнено с данными [Yang et al., 1992] – соответственно №№ 1 и 12 табл. 1.

других объектах дальневосточного региона, где также зафиксированы разнонаправленные развороты отдельных внутриплитных геоблоков, амальгамировавшихся к мезозою в составе единой Амурской плиты [Бретштейн и др., 1997; Kravchinsky et al., 2002a; 2002b; Bretshtein, Klimova, 2005; Бретштейн, Климова, 2007].

Из табл. 2, где приведено сопоставление палеомагнитных данных для юрских пород Амурской, Сибирской и Северо-Китайской плит, видно, что палеоширотные позиции отдельных геоблоков (наложенных впадин), сложенных раннеюрскими (J_1) и средне-, -позднеюрскими (J_{2-3}) осадками, существенно различаются: соответственно, палеоширота $\varphi_m = 55.3^\circ$ для первых (объект Калангуй в Забайкалье – № 1 в табл. 1) и $\varphi_m = 38.5^\circ \pm 4.8$ – для вторых (среднее значение для объектов №№ 2–5, 7, пересчитанное со среднего полюса). Столь значи-

мое различие не может быть объяснено частичным включением в расчеты пород, в которых зафиксирована синскладчатая компонента (поскольку в этом случае, скорее, наблюдалось бы завышение палеоширот). Заметим, что выполненная ранее выборочная оценка возможного занижения наклона ChRM за счет анизотропии [Бретштейн и др., 2006б] дала результат, не превышающий нескольких градусов.

Палеопозиция Аргунского террейна (объекты Калангуй, Заря и др. в Забайкалье) в ранней юре отличается от современной всего на 4° , он располагался севернее СКП на 27.5° . При этом значимого широтного различия при пересчете с раннеюрского полюса СКП [Yang et al., 1992] на координаты этого геоблока не отмечается, хотя величина расчетного смещения достаточно велика ($12.0^\circ \pm 15^\circ$).

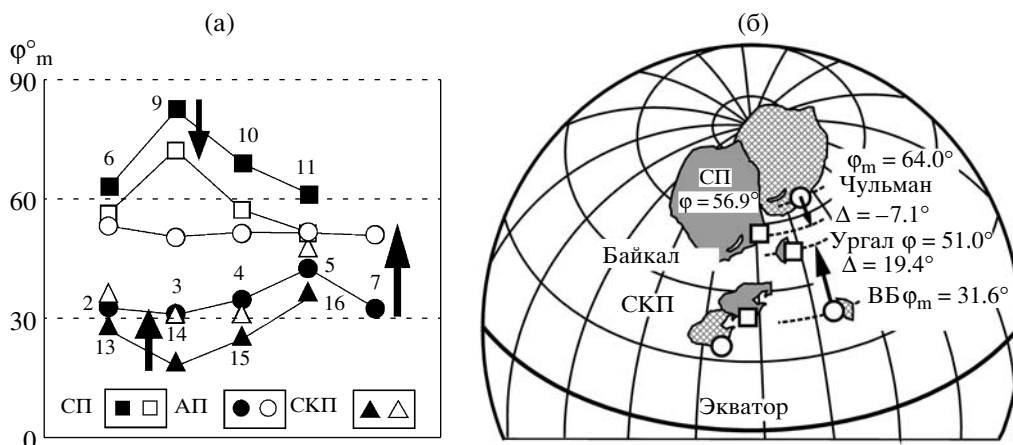


Рис. 6 (а) – палеоширотные позиции объектов исследований в средней-поздней юре (в настоящее время) – залитые (полые) значки; цифры у значков – порядковые номера объектов из табл. 1; стрелками показано направление смещения геоблоков (плит); (б) – палинспастическая реконструкция взаимного расположения Верхне-Буреинской (ВБ) депрессии Амурской плиты, Чульманской депрессии (Сибирская плита – СП) и Северо-Китайской плиты – СКП. Затененными темными контурами (крапом) обозначены позиции СП, ВБ и СКП в настоящее (среднеюрское) время, полными квадратами (кружками) – современные (юрские) позиции изученных разрезов для Ургала (ВБ) и Чульмана (СП) – соответственно №№ 3 и 6 табл. 1, а также усредненные – для средне-позднеюрских реферативных данных по СКП (№№ 14–16 табл. 1). Стрелками показано широтное смещение геоблоков Верхне-Буреинской и Чульманской наложенных впадин относительно друг друга с юры по настоящее время.

В целом, полученная (на основе использования компьютерной программы [Enkin, 1994] в опции “Т”) оценка смещений и вращений отдельных геоблоков друг относительно друга, указывает на отсутствие статистически значимого широтного дрейфа большинства геологических объектов Амурской плиты, сложенных раннеюрскими и средне-позднеюрскими осадками, а также эффузивами (соответственно №№ 1–5 и № 7 табл. 1) относительно Северо-Китайской плиты и фиксирует значимые смещения по отношению к Сибирской плите. Исключение составляют раннеюрские разрезы Амурской плиты (№ 1 в табл. 1), сравнение которых с датированными в широком возрастном диапазоне мезозоя объектами Сибирской плиты, строго говоря, некорректно, поскольку точно датированные раннеюрские осадки в пределах последней никем никогда не изучались. Тем более, что даже при таком сравнении, стандартное отклонение (17.5°) не очень отличается от среднего значения (16.2°). Любые комбинации с различным количеством включаемых в пересчет объектов (при различном их сочетании) дают схожий результат – значимые палеоширотные различия для Амурской и Сибирской плит с преимущественно незначимыми угловыми разворотами и, наоборот, – отсутствие значимого широтного дрейфа между Амурской (АП) и Северо-Китайской (СКП) плитами при наибольших угловых поворотах сравниваемых геоблоков.

Смещение по палеошироте относительно СКП самого восточного (в современных координатах) объекта Ургал (Верхне-Буреинская депрессия)

может быть объяснено предложенным ранее для Северо- и Южно-Китайской плит механизмом косой коллизии, напоминающим смыкание ножиц [Zhao et al., 1996], т.е. последовательным во времени и пространстве схождением геоблоков Амурской и Северо-Китайской плит в направлении с запада на восток. В пользу этого может свидетельствовать то, что, в отличие от Верхне-Буреинской депрессии, все более западные (забайкальские и средне-амурские) блоки не проявляют значимых различий в палеоширотах с СКП.

В целом, показанное на рис. 6а и в табл. 2 расположение средне-, позднеюрских палеоширот изученных районов наглядно демонстрирует большую близость в средней юре Амурской плиты к Северо-Китайской плите, нежели к Сибирской, и значительное расстояние, разделявшее последние (не менее 2500–3000 км).

Необходимо отметить, что при палеоширотных реконструкциях следует учитывать достаточно большие размеры сравниваемых плит и территорий и, соответственно, условность любого пересчета на некие “средние” для них координаты (точки), от выбора и количества которых (наряду с доверительным интервалом для координат палеополюса – радиусом овала доверия A_{05}), зависит величина вычисляемых широтных и угловых смещений. Для такой огромной плиты, как Сибирская, величина параметров F , ΔF , R и ΔR может сильно варьировать, в зависимости от количества и степени разброса усредняемых объектов. В нашем случае особого выбора нет – в базах данных по СП имеются всего четыре приемлемых (с большой натяжкой)

результата – четыре точки в возрастном диапазоне от позднего триаса до мела (включающие, в основном, юрские разрезы), которые разнесены по долготе и широте на расстояние, более чем в 2500 км.

Дополнительной (и, вероятно, наиболее обоснованной) иллюстрацией реальности сохранившихся в юрское время различий в палеоширотных позициях изученных объектов Амурской и Сибирской плит может служить сравнение палеомагнитных данных по среднеюрским осадкам Верхне-Буреинской депрессии (Ургал), заложенной на интрузивно-метаморфическом фундаменте Буреинского и Малохинганского террейнов Амурской плиты, и палеомагнитных определений для территориально наиболее близких к ней в настоящее время средне-позднеюрских пород Чульманской депрессии (объект Чульман), сформировавшейся в краевой части Сибирского кратона на фундаменте аккреционных допалеозойских террейнов ее обрамления (рис. 6б). Наблюдается расхождение их юрских позиций на 32.4° по широте (против нынешней разницы в 5.9°). Пересчет со среднего полюса для Чульмана (юго-восточной окраины СП) на координаты Ургала (в предположении их “тектонической общности”) дает для последнего палеошироту в 56.3° , что на 24.7° севернее широты, реально полученной по палеомагнитным данным. Т.е. Верхне-Буреинская депрессия в среднеюрское время располагалась значительно южнее ее нынешней позиции, а Чульманская депрессия (СП) – соответственно севернее, чем сейчас. Намагничивание средне-, позднеюрских осадков в районе Чульмана происходило на палеошироте 64° , что больше современной на 7.1° и отвечает разнице палеоширот изученных здесь геологических разрезов с Северо-Китайской плитой друг относительно друга на величину 36.2° .

В целом, полученные результаты можно интерпретировать как то, что общая ширина мелководных остаточных бассейнов Палеоазиатского океана, разделявших указанные геоблоки в средней юре, могла достигать первые тысячи километров, и/либо это расстояние, в целом, характеризует общую величину сокращения (скупивания) коры при коллизии и аккреции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

а). Изученные петромагнитные характеристики терригенных комплексов юрского возраста по составу и концентрации ферромагнетиков – носителей намагниченности, а также особенностям анизотропии магнитной восприимчивости позволяют идентифицировать различия прибрежно-морских раннеюрских и средне-, позднеюрских озерно-континентальных фаций осадочных пород.

б). В результате проведенных палеомагнитных исследований геологических разрезов Приамурья,

Якутии и Забайкалья получены новые палеомагнитные направления и полюсы для юрских пород террейнов Амурской плиты, удовлетворяющие современным требованиям палеомагнитной надежности, которые сопоставлены с данными для Сибирской и Северо-Китайской плит. Эти данные свидетельствуют, во-первых, о значительных внутриплитных вращениях отдельных геоблоков – наблюдается отчетливый разброс вычисленных позиций палеополюсов по долготе вдоль дуги малого круга с эйлеровым полюсом, совпадающим с районом исследований.

Во-вторых, установлено, что позиции палеополюса для средне-позднеюрских пород Амурской плиты близки его позициям, полученным для Северо-Китайской плиты, и отличаются от таковых для Сибирской плиты. Величина широтных смещений и разворотов относительно последней для отдельных геоблоков (депрессий) АП колеблется, соответственно, в пределах – 31.7° – 41.9° при $\Delta F \pm (12.4^\circ$ – $18.7^\circ)$ и от 30.2° до 64.5° при $\Delta R \pm (10.3^\circ$ – $34.3^\circ)$.

в). Полученные палеомагнитные данные дают основание предполагать, что в средне-позднеюрское время наложенные депрессии Амурской плиты в палеогеографическом отношении представляли собой пассивную континентальную окраину Северо-Китайской плиты, отделенную на несколько тысяч километров от Сибирской плиты озерно-континентальными остаточными бассейнами и мелководными заливами Палеоазиатского океана.

Автор выражает глубокую благодарность А.В. Климовой за активное участие в выполнении лабораторных исследований и компьютерной обработке данных, а также ценные советы в процессе работы. Неизменна признательность Д.М. Печерскому за, как всегда, точные замечания и полезные рекомендации при прочтении рукописи, способствовавшие улучшению статьи, а также С.В. Шипунову (СПГУ), Р. Энкину (Геологическая служба Канады) и В.Н. Завойскому (светлая ему память!) за возможность использования созданных ими компьютерных программ для анализа палеомагнитных и петрофизических данных, которые существенно облегчили и ускорили обработку результатов измерений и способствовали более объективной геофизической интерпретации.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и ДВО РАН (гранты 06-05-96011 “Р_Восток_А” и 06_III_А_08_345).

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. 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. Владивосток: изд-во ДВГУ. 2006б. С. 29–38.
- Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. М1 : 2500000. Объяснительная записка. Санкт-Петербург. 1999. 135 с.
- Захаров В.А., Курушин Н.И., Похиалайнен В.П.* Палеогеографические критерии геодинамики террейнов северо-восточной Азии в мезозое // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 11. С. 3–22.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М.* Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра. 1990. Книга 1. 328 с. Книга 2. 336 с.
- Кузьмин М.И., Кравчинский В.А.* Первые палеомагнитные данные по Монголо-Охотскому поясу // Геология и геофизика. 1996. Т. 34. № 1. С. 54–62.
- Мальшев Ю.Ф., Подгорный В.Я., Шевченко Б.Ф. и др.* Глубинное строение структур ограничения Амурской литосферной плиты // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 2. С. 3–17.
- Натальин Б.А.* Мезозойская аккреционная и коллизийная тектоника юга Дальнего Востока СССР // Тихоокеанская геология. 1991. № 5. С. 3–23.
- Павлов В.Э.* Палеомагнитные направления и палеомагнитные полюса. Материалы Мирового Центра Данных Б. Вып. 8. 1993. Л.: ВНИГРИ. Каталог.
- Печерский Д.М., Диденко А.Н.* Палеоазиатский океан. Петромагнитная и палеомагнитная информация о его литосфере. М.: ОИФЗ РАН. 297 с.
- Писаревский С.А.* Палеомагнитные направления и палеомагнитные полюса. Материалы Мирового Центра Данных Б. Вып. 5. 1982. М.: Междудементственный Геофизический Комитет АН СССР. Каталог.
- Поспелова Г.А.* Палеомагнитные направления и палеомагнитные полюса. Материалы Мирового Центра Данных Б. Вып. 1. 1971. М.: Междудементственный Геофизический Комитет АН СССР. Каталог.
- Храмов А.Н. и др.* Палеомагнитология. Л.: Недра. 1982. 312 с.
- Шуинов С.В.* Новый тест складки в палеомагнетизме (реабилитация теста выравнивания) // Физика Земли. 1995а. № 4. С. 67–74.
- Шуинов С.В.* Синскладчатая намагниченность: оценка направления и геологическое приложение // Физика Земли. 1995б. № 11. С. 40–47.
- Besse J., Courtillot V.* Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field in the last 200 million year // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. № B11, doi:10.1029/2000JB000050.
- Borradaile G.J.* Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain // Tectonophysics. 1988. P. 1–20.
- Bretshteyn 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. V. 7. № 1. February 2005.
- Jelinek V.* Characterization of the magnetic fabric of rocks // Tectonophysics. 1981. V. 79. P. T63–T67.
- Enkin R. J.* A computer program package for analysis and presentation of paleomagn. data. Pacific Geoscience Centre. Geol. Survey of Canada. 1994. P. 16.
- Enkin R.J.* The direction-correction tilt test: an all-purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies Earth and Planetary Science Letters. 2003. V. 212. P. 151–166.
- Gilder S., Courtillot V.* Timing of the North-South China collision from new middle to late Mesozoic paleomagnetic data from the North China Block // J. Geophys. res. 1997. V. 102. P. 17.713–17.727.
- Halim N., Kravchinsky V., Gilder S. et al.* A palaeomagnetic study from the Mongol-Okhotsk region: rotated Early Cretaceous volcanics and remagnetized Mesozoic sediments // Earth and Planetary Science Letters. 1998. № 159. P. 133–145.
- Hrouda F.* Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics // Geophys. Surv. 1982. № 5. P. 37–82.
- 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.
- 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. 2002a. V. 107. № B10. 2253. EPM 10.1–10.22.
- Kravchinsky V.A., Cogne J-P., Harbert W.P., Kuzmin M.I.* Evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean as constrained by new paleomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberia // Geophys. J. Int. 2002b. V. 148. P. 34–57.
- McFadden P.L.* A new fold test for paleomag. studies // Geophys. J. Int. 1990. V. 103. P. 163–169.
- Watson G.S., Enkin R.J.* The fold test in paleomagnetism as parameter estimation problem // Geophys. Res. Lett. 1993. V. 20. P. 2135–2137.
- Yang Z., Courtillot V., Besse J., et al.* Jurassic paleomagnetic constraints on the collision of the North and South China blocks // Geophysical Research Letters. 1992. V. 19. № 6. P. 577–580.
- Yang Z., Besse J.* New Mesozoic apparent polar wander path for south China: Tectonic consequences. // J. Geoph. Res. 2001.V.106. № B5. P. 8493–8520.
- Zhang Y., Ma Y., Yang N. et al.* Cenozoic extensional stress evolution in North China // Journ. Geodynamics. 2003. V. 36. P. 591–613.
- Zhao X., Coe R.S., Zhou Y., et al.* New paleomagnetic results from northern China: collision and suturing with Siberia and Kazakhstan // Tectonophysics. 1990. № 181. P. 43–81.
- Zhao X., Coe R.S., Gilder S.A., Frost G.M.* Palaeomagnetic constraints on the palaeogeography of China: implications for Gondwanaland // Australian Journal of Earth Sciences. 1996. V. 43. P. 643–672.
- Zijderveld J.D.A.* A c. demagnetization of rocks: analysis of results // Methods in palaeomagnetism. Eds. D.W. Collinson, K.M. Kreer. Amsterdam. Elsevier Publ. Co. 1967. P. 254–286.