

**ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ И ПЕТРОХИМИЯ ПЕСЧАНИКОВ ГОРИНСКОЙ И ПИОНЕРСКОЙ
СВИТ ЖУРАВЛЕВСКО-АМУРСКОГО ТЕРРЕЙНА (СЕВЕРНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ)**

А.Ю. Песков, А.Н. Диденко, А.В. Кудымов, А.С. Каретников, М.В. Архипов

*ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск,
680000; e-mail: itig@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 26 апреля 2019 г.

В работе представлены первые данные палеомагнитного и петрохимического изучения нижнемеловых осадочных пород комсомольской серии Журавлевско-Амурского турбидитового палеобассейна, отобранных в береговых обнажениях Сахалинского залива (54.09° с.ш., 140.05° в.д.). По результатам настоящих исследований установлено: 1) петрохимические характеристики осадочных пород горинской и пионерской свит берриас-валанжинского возраста не противоречат модели их формирования в обстановке трансформной континентальной окраины; 2) палеоширота приобретения ими доскладчатого палеомагнитного направления ($Dec = 303^\circ$, $Inc = 27^\circ$, $Ks/Kg = 6.2$) составила $10\text{--}18^\circ$ с.ш.; 3) в послеваланжинское время до 95 млн лет назад блок с изученными породами был перемещен на 3900–4800 км вдоль трансформной континентальной окраины Евразии на север со средней скоростью около 10–13 см/год.

Ключевые слова: палеомагнетизм, палеоширота, петрохимия, трансформная окраина, турбидитовый бассейн, нижний мел, Журавлевско-Амурский террейн, Северный Сихотэ-Алинь, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно концепции аккреционного коллажа террейнов, разработанной в 70–80-х годах прошлого века [29], орогенные пояса континентальных окраин представляют собой мозаику различных по геологическому строению и геодинамической природе формирования террейнов. Исследованиями прошлых лет [1, 2, 4, 10, 22, 23 и др.] установлено, что формирование восточной части Евразийской континентальной окраины обусловлено двумя различными геодинамическими процессами: субдукцией океанической плиты под континентальную и трансформным скольжением океанической плиты вдоль континентальной. Значительную часть восточной окраины Евразийского континента занимает Сихотэ-Алиньский орогенный пояс (САОП). Он простирается от северного побережья Японского моря на юге до побережья Сахалинского залива Охотского моря на севере и входит в состав, вместе с Хоккайдо-Сахалинской ветвью, в более крупный Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинский орогенный пояс [2].

Сихотэ-Алиньский орогенный пояс образован разновозрастными террейнами с различной геоди-

намической историей формирования – фрагментами юрских и раннемеловых аккреционных призм, раннемеловых островодужных систем, а также раннемелового синсдвигового турбидитового бассейна (Журавлевско-Амурский террейн) [2].

Согласно работе [2, стр. 184]: «Раннемеловые образования Журавлевско-Амурского террейна смяты в сложную систему тесно сжатых складок и чрезвычайно фрагментированы в процессе левосторонних перемещений по серии новообразованных сколов север-северо-восточного простирания, происходивших главным образом в позднем альбе. Поэтому восстановление первичных координат и конфигурации палеобассейна, где эти осадки накапливались, с достаточной определенностью пока невозможно».

Палеомагнитный метод может привнести количественную меру в анализ доаккреционной истории террейнов, что делает его одним из основных при геодинамических исследованиях [10]. В последние годы были получены надежные палеомагнитные данные по различным породам САОП [1, 9, 10], включая сеноман-туронские (≈ 95 млн лет) вулканические образования утицкой свиты (САОП) [14], для которой были установлены «высокие» палеошироты формирования

вулканитов, близкие по значениям к современной широте их местонахождения. При этом задача, связанная с оценкой масштабов перемещения Журавлевско-Амурского террейна (ЖР) вдоль трансформной континентальной окраины в раннемеловое время, а также координат формирования турбидитов остается нерешенной.

В настоящей работе представлены результаты палеомагнитного, в первую очередь, и петрохимического изучения берриас-валанжинских песчаных пород комсомольской серии, отобранных в береговых обнажениях Сахалинского залива с целью определения масштабов перемещения и координат формирования раннемелового Журавлевско-Амурского турбидитового бассейна.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

Изученные нижнемеловые отложения обнажаются по побережью Сахалинского залива между мысами Промежуточный и Мофета (рис. 1). Первоначально эти образования Г.С. Ведерниковым (Ведерников и др., 1956) относились к орельской свите позднеюрско-раннемелового возраста. Позднее здесь были найдены органические остатки (разнообразные ауцелины и иноцерамы) валанжинского возраста (по определению А.А. Капицы и В.Н. Верещагина), что позволило В.Э. Пилацкому в 60-х годах прошлого века сопоставить данные отложения с комсомольской серией (Пилацкий и др., 1968).

Согласно современным представлениям [3, 5, 6, 12, 21], отложения горинской и пионерской свит комсомольской серии по комплексу фауны соответствуют берриасскому (139.8–145.0 млн лет) и валанжинскому (132.9–139.8 млн лет) ярусам нижнего мела, соответственно.

Согласно тектоническим схемам Сихотэ-Алиня, изученные отложения входят в состав северного окончания Журавлевско-Амурского турбидитового бассейна (террейна) [2, 4]. Террейн образован преимущественно нижнемеловыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, а также их ритмичным переслаиванием, общей мощностью около 15 000 м [4, 23].

Детальное изучение разреза берриас-валанжинских отложений комсомольской серии на побережье Сахалинского залива позволяет заключить, что он сложен пакетами (10–150 м) переслаивания крупноритмичного песчаного флиша и сопутствующих ему массивных песчаников (2–15 м). Эти пакеты содержат пачки (0.5–5.0 м) мелкоритмичного песчаного или песчано-глинистого флиша. Также в пакетах отмечаются редкие пачки (0.5–1.5 м) тонкослоистых алевроаргиллитов. Пакеты переслаивания перемежаются с

более мощными пачками песчано-глинистого флиша (10–50 м) и (или) тонкослоистых алевро-аргиллитов (10–30 м). Песчаники в пакетах переслаивания часто содержат линзы седиментационных брекчий длиной от 50 см до первых метров. В свою очередь, в крупных пачках песчано-глинистого флиша и тонкослоистых алевроаргиллитов присутствуют отдельные пласты массивных мелкозернистых песчаников мощностью до первых метров [13].

В крупноритмичном песчаном флише наблюдаются ритмы мощностью до 2.5 м с элементами цикла А. Боума *ABC, ABCD* [13]. Ритмы имеют четкую нижнюю эрозионную границу, часто с отторженцами подстилающих пород. Нижний элемент ритма *A* представлен, как правило, седиментационными брекчиями или гравелистыми песчаниками. В подошвах ритмов наблюдаются слепки водоворотных выемок. Массивные песчаники в этих же пакетах имеют те же седиментационные признаки, что и крупноритмичный флиш, но представлены лишь элементами *A* или *AB* последовательности А. Боума.

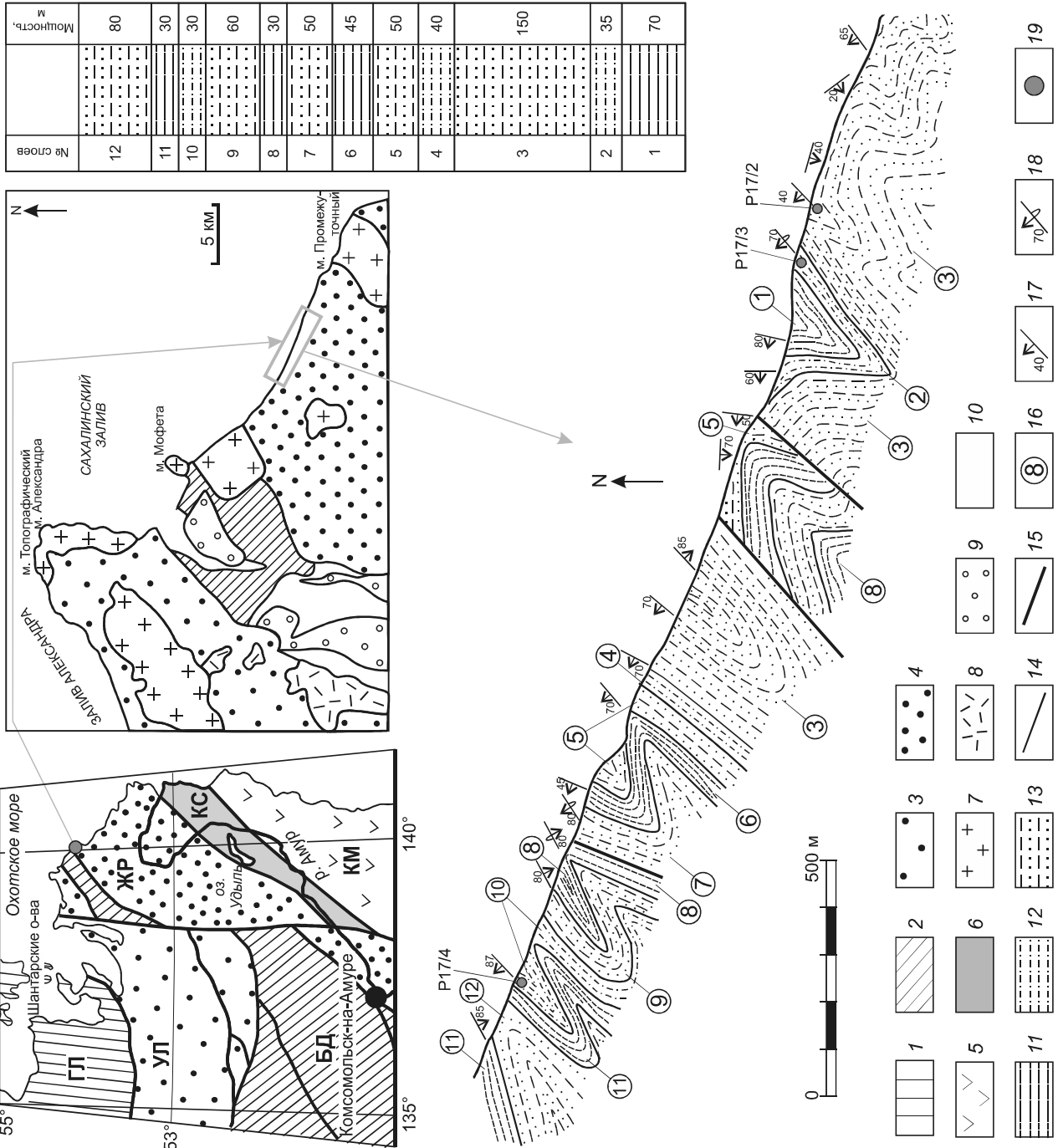
В мелкоритмичном песчаном флише мощности ритмов достигают 30 см, а в пачках мелкоритмичного песчано-глинистого флиша колеблются от 3 до 25 см. Ритмы двух последних видов флиша представлены преимущественно элементами *CD, BCD*. В подошвах ритмов песчано-глинистого флиша наблюдаются слепки параллельных ложбин и гребней, а в пелитовой части ритмов фиксировались многогранные текстуры, детально описанные в [7].

Алевро-аргиллиты представляют собой тонкое переслаивание (до первых мм) аргиллитов и алевролитов. Они содержат линзовидные прослои (0.5–1.5 см) мелкокослоистых и параллельнослоистых песчаников. Последние нередко смяты в результате подводно-оползневых процессов в конволютные складки.

Образцы для палеомагнитных и петрохимических исследований были отобраны из песчаников нижней части охарактеризованного разреза (рис. 1), в интервале 0.7–6.7 км северо-западнее устья руч. Бол. Вилки. Мощность данного разреза составляет 1140 м. Согласно геологической карте [3, 5], эти осадки отнесены к пионерской свите комсомольской серии. Разрез осадочных образований здесь, в целом, представлен преимущественно грубым чередованием мелкозернистых песчаников (2–10 м) и пачек (1.5–4.0 м) ритмично переслаивающихся алевролитов и мелкозернистых песчаников, а также пластов алевролитов (0.2–1.5 м) (рис. 1). Кроме этого, вышеотмеченное чередование пород содержит еще и более мощные пачки ритмично переслаивающихся алевролитов

Рис. 1. Геологическая характеристика района работ.

1 – палеозойский Галамский (ГЛ) террейн; 2–6 – террейны-фрагменты: 2 – юрской аккреционной призм (БД – Баджалский), 3 – юрского континентального турбидитового бассейна (УЛ – Ульбанский), 4 – мелового синедривого турбидитового приконтинентального бассейна (ЖР – Журавлевско-Амурский террейн), 5 – готерив-альбской островоужной системы Кемского террейна (КМ), 6 – готерив-альбской аккреционной призм (КС – Киселево-Маноминский); 7 – поздне меловые-палеогеновые гранитоиды; 8 – позднемеловые эффузивы; 9 – плиоценовые осадки с прослоями бурых углей; 10 – четвертичные аллювиальные отложения; 11 – ритмично переслаивающиеся алевролиты и аргиллиты; 12 – ритмично переслаивающиеся алевролиты и мелкозернистые песчаники с мощностью ритмов 8–12 см; 13 – чередование мелкозернистых песчаников (2–10 см) и пластов алевролитов (0.2–1.5 м), а также пачек (1.5–2.0 м) ритмично переслаивающихся алевролитов и мелкозернистых песчаников с мощностью ритмов 8–10 см; 14 – границы пачек, имеющих собственный номер; 15 – разрывные нарушения; 16 – номера пачек; 17–18 – элементы залегания слоистости; 17 – нормальное, 18 – опрокинутое; 19 – точки отбора проб (сайты). Тектоническая схема дана по [2].



№ слоев	Мощность, м
12	80
11	30
10	30
9	60
8	30
7	50
6	45
5	50
4	40
3	150
2	35
1	70

и песчаников (до 60 м), алевролитов и аргиллитов (до 40 м), а также пласты алевролитов (до 70 м).

Песчаники имеют размер зерен от 0.1 до 0.35 мм. Они сложены обломочными зернами минералов – 40–60 %, обломками горных пород – 10–30 % и цементом. Обломочные зерна минералов представлены кварцем (до 60 %), полевыми шпатами (до 40 %), биотитом (единичные зерна), турмалином (единичные зерна) и акцессорными минералами. Форма зерен угловатая или полуокатанная, слабо корродированная. Имеет место примесь туфогенного материала (вытянутые зерна резко остроугольной формы). Обломки горных пород состоят из эффузивов, глинистых сланцев, алевролитов, кварцитов. Цемент сложен мелкозернистыми агрегатами кварца, чешуйками серицита, хлорита, а также редкими зернами карбоната и рутила. Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом и рудным минералом.

Алевролиты темно-серого и черного цвета. Сложены они зернами минералов – 40–60 %, обломками горных пород – 5–10 % и цементом – 30–55 %. В минеральной фракции преобладает кварц – до 60 %, иногда повышено содержание биотита – 10–15 %. Акцессорные минералы представлены цирконом, апатитом. Цемент поровый, реже базальный; по составу – глинистый, часто серицитизированный. Отмечается примесь туфогенного материала до 5 %.

Залегание слоев пород пионерской свиты характеризуется падениями под углами 75–40° в северо-западном и юго-восточном направлениях.

Помимо этого для петрохимической характеристики пород использовались данные анализов образцов горинской свиты, отобранных в 10 км северо-западной от руч. Бол. Вилки, в которых, по данным предыдущих исследований [34], стабильный палеомагнитный сигнал не установлен.

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Надежность петро- и палеомагнитных результатов обеспечивалась качественным отбором образцов горных пород и применением современных методик измерений [17, 20, 24] на высокоточном оборудовании производства России, Чехии и США (ИГП, ТАФ-2, JR-6A, MFK-1FA, 2G Enterprises).

Отбор образцов для палеомагнитных исследований производился сайтами (точками отбора), в количестве от 10 до 25 независимо ориентированных штучных проб в каждом. Распиловка штучных проб производилась на пиле с алмазным диском. Из одной штучной пробы выпиливались 1–2 кубических образца (с ребром 2 см).

Размагничивание образцов проводилось двумя способами: термомагнитной чисткой и чисткой пе-

ременным магнитным полем. Сходимость компонент естественной остаточной намагниченности пород, установленных разными методами чистки, может служить дополнительным критерием в обосновании первичности выделенной компоненты намагниченности. Измерение остаточной намагниченности в процессе термомагнитной чистки выполнялось на спин-магнитометре JR-6A, при чистке переменным магнитным полем – на криогенном магнитометре 2G Enterprises. При переносе из немагнитной печи к измерительному прибору образцы помещались в контейнер из μ -металла. Все образцы размагничивались, как правило, до температуры 550–600°C и величины переменного магнитного поля 50–100 мТ. Шаг чистки зависел от поведения вектора намагниченности в ходе размагничивания.

Выделение компонент естественной остаточной намагниченности производилось методом компонентного анализа с использованием пакета программ PMGSC (версия 4.2) Р. Энкина [31]. Выделялись компоненты, соответствующие на ортогональных диаграммах прямолинейным отрезкам, рассчитанные по 2–4 точкам ступенчатой чистки. В дальнейшем подвергались анализу высокотемпературная и высококоэрцитивная компоненты намагниченности.

Большая часть изученных образцов имеет двухкомпонентный состав вектора естественной остаточной намагниченности (NRM) (рис. 2 а, в). В некоторых образцах, преимущественно из сайта P1702, наблюдается трехкомпонентный состав NRM (рис. 2 б, г).

Низкотемпературная (LT) и низкокоэрцитивная (LC) компоненты намагниченности выделяются, как правило, в диапазонах 25–300°C и 1–15 мТ, соответственно (рис. 2). Данные компоненты, на наш взгляд, являются результатом наложения вторичной и современной (вязкой) компонент намагниченности и поэтому дальнейшему анализу не подвергались.

Среднетемпературная и среднекоэрцитивная компоненты намагниченности выделяются в диапазонах 300–400 °C и 15–25 мТ, соответственно. Поскольку данные компоненты установлены лишь в нескольких образцах из сайта P1702, дальнейшему анализу они не подвергались.

Высококоэрцитивная (HC) и высокотемпературная (HT) компоненты намагниченности имеют схожие между собой направления. На ортогональных диаграммах, построенных по результатам термомагнитной чистки, HT компонента выделяется в интервале температур от 380–430 до 540–580°C и спадает в начало координат (рис. 2 в, г) (является характеристической – ChRM). HC компонента намагниченности на ортогональных диаграммах выделяется в интервале

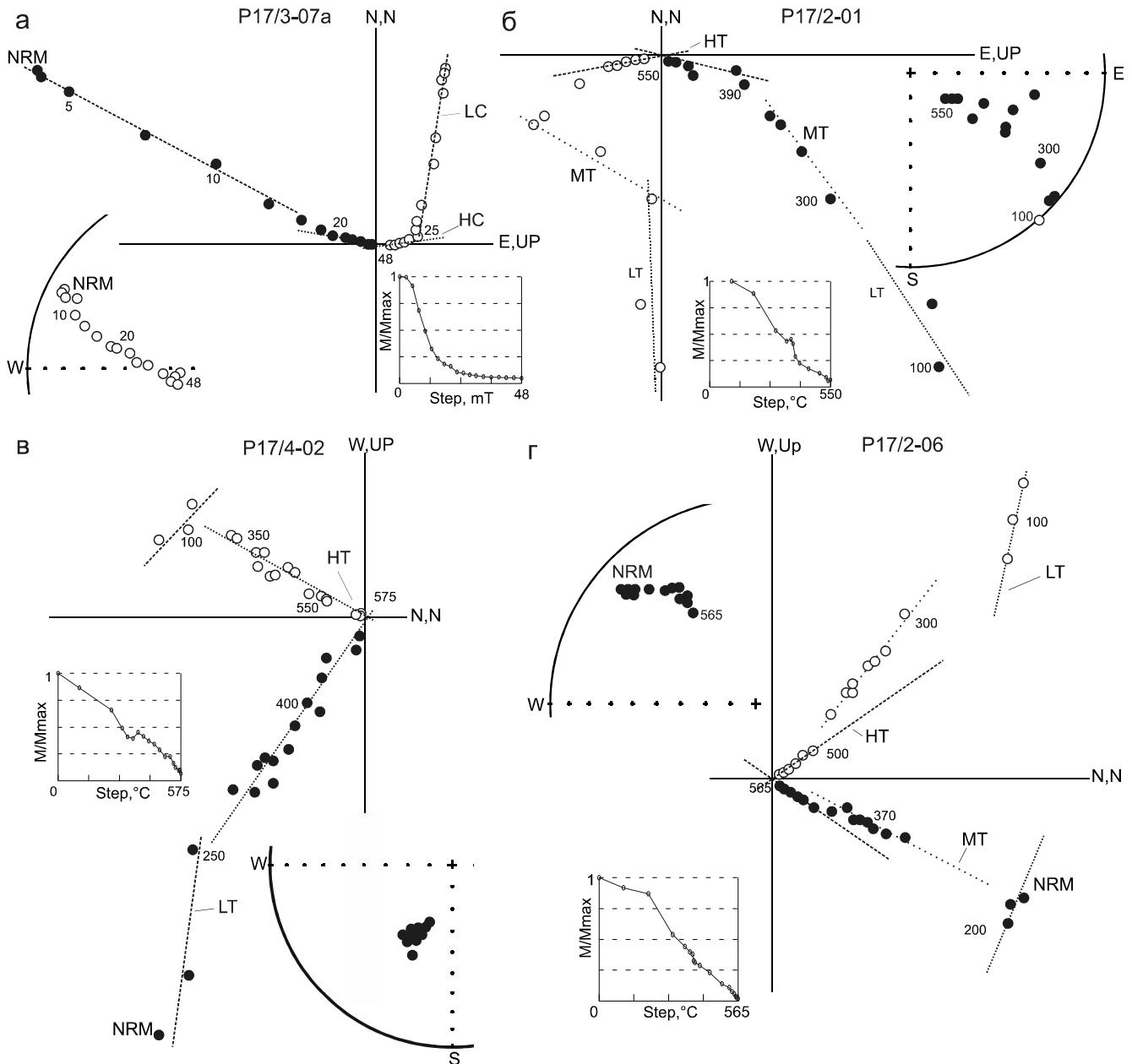


Рис. 2. Примеры ортогональных диаграмм (в географической системе координат) при проведении палеомагнитной чистки переменным магнитным полем (а) и температурой (б–г) образцов песчаных пород комсомольской серии.

от 20–25 до 40–60 мТ (рис. 2 а) и также является характерической (за исключением нескольких образцов, не вошедших в статистику).

В качестве примера приведем результаты палеомагнитных чисток нескольких образцов, в которых установлены данные компоненты намагниченности.

В образце P170307а в ходе чистки переменным магнитным полем выделяются две компоненты намагниченности (рис. 2 а). Высококоэрцитивная компонента выделяется по 6-ти точкам в диапазоне от 25 до 48 мТ и «идёт» в начало координат.

Намагниченность образца P170402, как показали результаты терромагнитной чистки, также имеет двухкомпонентный состав. Высокотемпературная компонента выделяется по 7-ми точкам в диапазоне температур от 380 до 575°C и спадает в начало координат (рис. 2 в).

В образцах P170201 и P170206 установлен трехкомпонентный состав намагниченности (рис. 2 б, г). НТ компонента «идет» в начало координат и выделяется в диапазонах 390–550°C и 500–565°C, соответственно.

Таблица 1. Результаты палеомагнитных исследований.

Сайт	$\varphi, ^\circ$	$\lambda, ^\circ$	N_1	N_2	Залегание слоя, $^\circ$		$Dec_g, ^\circ$	$Inc_g, ^\circ$	K	$a_{95}, ^\circ$	$Dec_s, ^\circ$	$Inc_s, ^\circ$	
P17/2	54.09	140.05	15	14	319	40	294.2	62.3	14.8	10.7	306.7	24.0	
P17/3	54.10	140.03	11	6	317	70*	248.1	-67.5	20.1	15.3	293.5	26.4	
P17/4	54.10	140.02	25	15	317	87	162.6	60.3	11.1	12.0	302.8	29.4	
Среднее направление ChRM по образцам (N = 35)							229.3	68.0	2.2	21.8			
								13.7	6.8	302.7	26.8		
Среднее направление ChRM по сайтам (N = 3)							236.0	47.5	1.1	180			
								148.2	10.2	301.0	26.7		
Координаты палеомагнитного полюса							Plat = 30.4 $^\circ$; Plong = 31.1 $^\circ$; dm = 7.4 dp = 4.0						
Палеоширота							14.2 $^\circ$ (+4.2 $^\circ$ /-3.9 $^\circ$)						

Примечание. φ, λ – координаты (широта и долгота) точки отбора (сайта); N_1 – количество образцов в сайте; N_2 – количество образцов, в которых установлена ChRM; Dec, Inc – склонение и наклонение ChRM в географической (g) и стратиграфической (s) системах координат; K – кучность распределения ChRM; a_{95} – овал доверия 95 % ChRM; Plat, Plong – широта и долгота палеомагнитного полюса; dp, dm – полуоси овала доверия 95 % палеомагнитного полюса; * – опрокинутое залегание.

Результаты палеомагнитных исследований ранне-меловых песчаных пород пионерской свиты Журавлевско-Амурского террейна представлены в таблице 1.

Тест складки. Компонента ChRM установлена в 35 из 51 изученного образца пионерской свиты. Для данной компоненты наблюдается увеличение кучности распределения в стратиграфической системе координат: по образцам более чем в 6 раз ($K_s/K_g = 6.2$); по сайтам более чем в 100 раз – $K_s/K_g = 134.7$ (табл. 1). Максимальная кучность наблюдается при введении 97 % поправки на залегание пород, что свидетельствует о «доскладчатом», близком ко времени образования пород, возрасте ChRM (рис. 3).

Несмотря на значительный прогресс в петро- и палеомагнитных исследованиях, существует ряд проблем, в том числе и в методике проводимых исследований, одной из которых является проблема занижения наклона вектора намагниченности в осадочных горных породах. Данное явление было открыто экспериментальным путем. В лабораторных условиях Э. Джонсон в 1948 г. обнаружил, что при пересадке глин наблюдается хорошее совпадение склонения естественной остаточной намагниченности (Dec) со склонением магнитного поля Земли, тогда как величина наклона естественной остаточной намагниченности (Inc) оказалась меньше величины наклона магнитного поля Земли в момент пересадки пород [24]. Величина занижения наклона (или ошибка наклона) может составлять от 1 до 10–30 $^\circ$. В песчаных породах ошибка наклона, как правило, существенно меньше, чем в алевритовых, и ее значение часто находится в пределах погрешности измерений ($\approx 5^\circ$).

Для оценки величины вероятного занижения наклона в песчаных породах пионерской свиты была изучена зависимость величины отношения минималь-

ной к максимальной полуосей эллипсоида анизотропии начальной магнитной восприимчивости (K_3/K_1) и тангенса угла наклона ChRM [28]. Коэффициент корреляции этой зависимости составил 0.21, что говорит об отсутствии зависимости между рассчитанными параметрами. По всей вероятности это свидетельствует в пользу незначительных величин ошибки занижения наклона и, поскольку полученные результаты не позволяют количественно оценить ее величину, в дальнейших расчетах последняя не учитывалась.

По среднему направлению ChRM, рассчитанному по образцам, были вычислены координаты палеомагнитного полюса и палеоширота формирования изученных пород. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все аналитические исследования были выполнены в Центре коллективного пользования Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН (г. Хабаровск). Содержание главных породообразующих оксидов определено методом РФА (прибор S4 Pioneer, Брукер, Германия). Препараты изготавливались методом прессования с метаборатом лития, в качестве стандартов использовались международные CO LDI-3 (габбро) и WMG-1a (минерализованное габбро), а также CO, изготовленные из горных пород Дальнего Востока России – DVB (базальт), DVA (андезит) и DVD (дацит). Погрешность измерений составляет не более 10 %. Аналитик – Л.М. Ильин.

Для петрохимической характеристики берриас-валанжинских песчаных пород комсомольской серии, отобранных в береговых обнажениях Сахалинского залива, были использованы данные силикатного анализа 20 образцов пород горинской (8 образцов) и пионерской (12 образцов) свит (табл. 2).

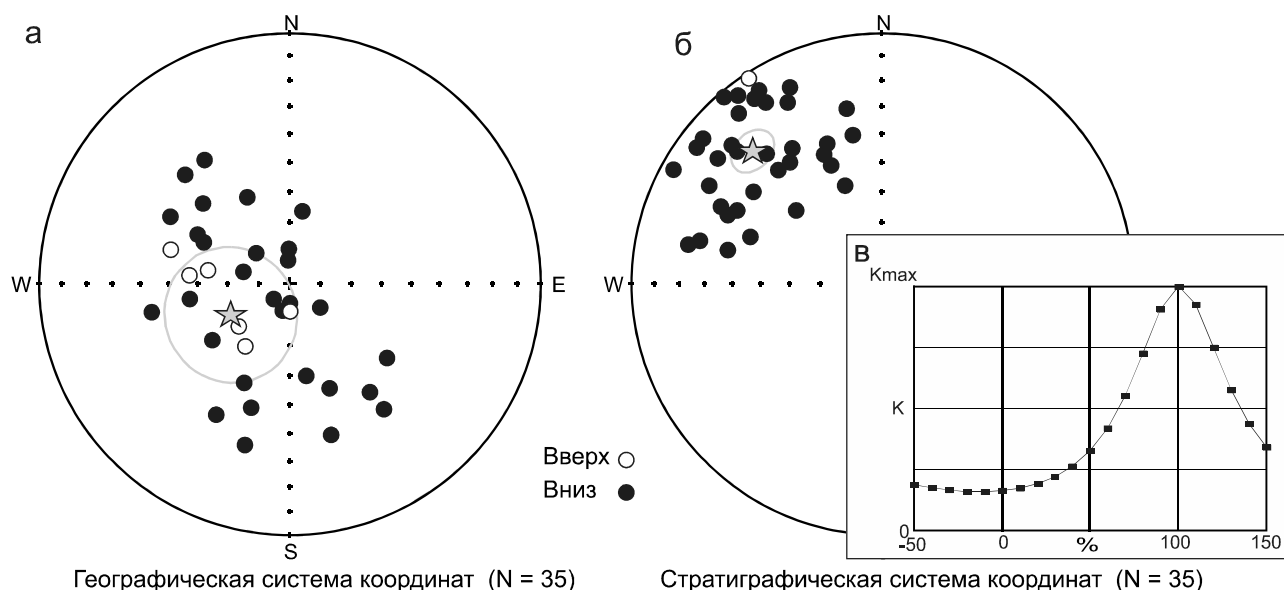


Рис. 3. Распределения проекций направлений характеристической компоненты намагниченности (ChRM) в песчаных породах пионерской свиты в (а) географической и (б) стратиграфической системах координат; (в) – тест складки. Серым цветом показано среднее направление ChRM (звезда) и овал доверия 95 %.

Таблица 2. Содержание породообразующих оксидов (в %) в образцах песчаных пород комсомольской серии.

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	Сумма
Горинская свита												
P17/0814	71.78	0.41	13.37	3.30	1.19	0.04	0.48	4.03	3.10	0.10	2.01	99.81
P17/0810	71.49	0.22	13.79	2.23	0.76	0.07	1.33	4.37	4.86	0.07	0.63	99.81
P17/0804	70.32	0.40	14.00	2.79	1.24	0.07	0.86	5.64	3.07	0.09	1.32	99.78
P17/0802	71.77	0.38	13.82	2.22	0.94	0.05	0.46	5.66	3.12	0.08	1.31	99.80
P17/0713	67.11	0.41	15.21	2.78	1.35	0.09	1.57	5.28	3.61	0.09	2.33	99.82
P17/0710	71.96	0.39	13.46	2.34	0.92	0.06	0.64	5.57	3.01	0.08	1.35	99.77
P17/0707	71.08	0.43	13.59	2.92	1.16	0.07	0.50	4.94	3.14	0.09	1.93	99.84
P17/0703	69.17	0.38	14.60	2.81	1.17	0.09	0.84	5.52	3.32	0.09	1.80	99.80
Пионерская свита												
P17/0610	70.49	0.41	13.85	3.51	1.41	0.05	0.64	4.34	2.96	0.10	2.08	99.83
P17/0606	66.64	0.49	13.26	3.38	1.20	0.08	3.42	4.45	3.01	0.10	3.74	99.78
P17/0603	69.69	0.42	14.85	2.54	1.02	0.06	0.62	5.29	3.62	0.08	1.61	99.81
P17/0601	70.67	0.39	13.13	3.43	1.26	0.06	1.00	4.53	2.89	0.09	2.35	99.80
P17/0512	69.48	0.40	12.67	3.10	1.05	0.08	2.58	4.05	2.97	0.09	3.33	99.80
P17/0510	63.71	0.59	13.76	3.74	1.22	0.10	4.40	4.61	3.07	0.11	4.06	99.38
P17/0506	67.95	0.50	14.17	4.10	1.42	0.07	1.37	4.02	3.09	0.11	3.03	99.83
P17/0505	68.81	0.46	13.70	3.82	1.20	0.07	1.63	4.40	2.91	0.11	2.77	99.87
P17/0415	70.52	0.40	13.78	3.08	1.07	0.04	0.84	4.94	2.98	0.09	2.06	99.80
P17/0407	69.32	0.43	14.41	3.14	1.14	0.04	1.21	4.50	3.17	0.10	2.41	99.86
P17/0406	71.26	0.43	13.97	2.10	0.80	0.05	1.02	5.24	3.04	0.08	1.88	99.87
P17/0401	69.54	0.42	13.92	3.32	1.14	0.05	1.23	4.85	2.98	0.09	2.25	99.80

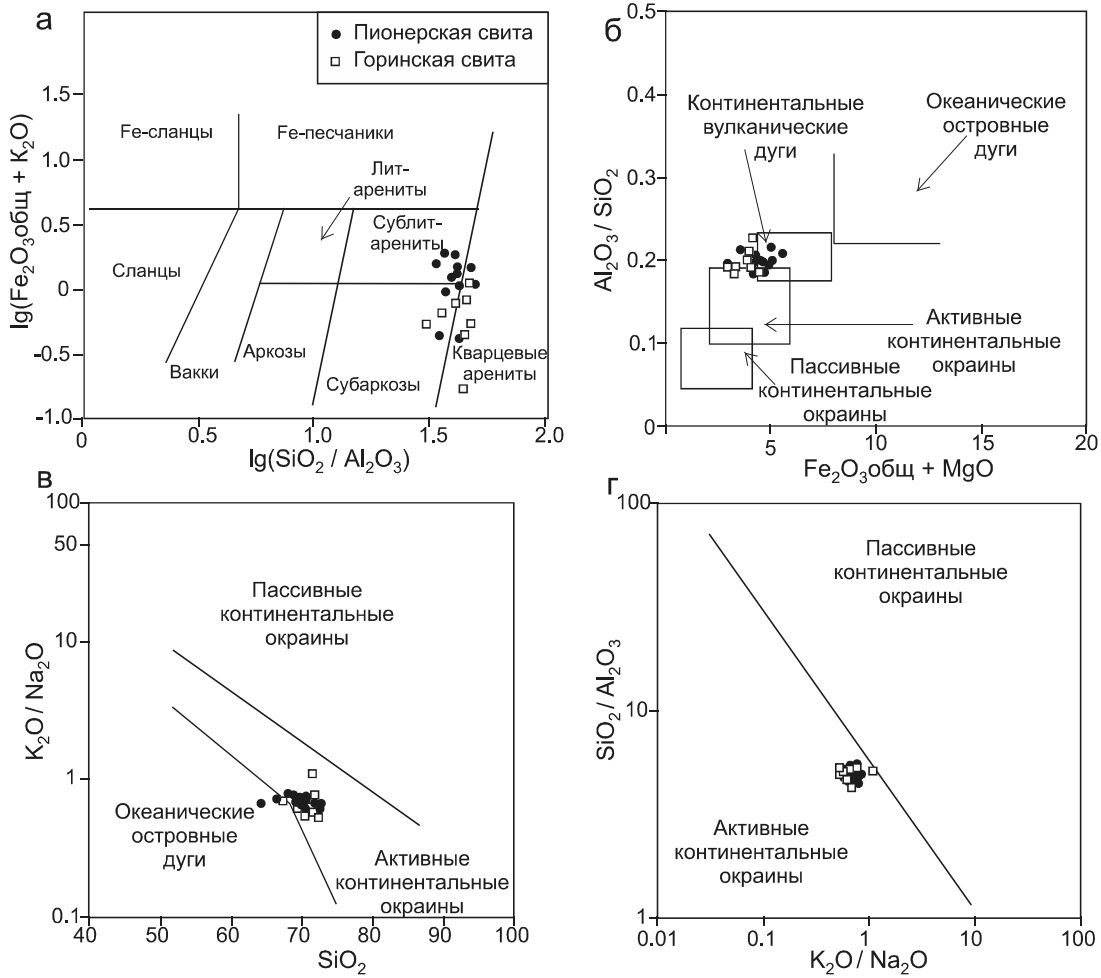


Рис. 4. Распределение фигуративных точек состава песчаных пород комсомольской серии на диаграммах М. Хиррона (а), М. Бхатия (б), Б. Розера и Р. Корша (в) и Дж. Мейнарда с соавторами (г).

По своему валовому химическому составу песчаные породы горинской и пионерской свит различаются незначительно. Согласно диаграмме М. Хиррона [32], песчаные породы представлены сублитаренитами, субаркозами и кварцевыми аренитами (рис. 4 а). Причем к полю сублитаренитов тяготеют точки составов образцов пионерской свиты, а к полям субаркозов и кварцевых аренитов – образцы горинской свиты.

Для определения геодинамической обстановки формирования изученных пород использовались дискриминатные диаграммы М. Бхатия, Дж. Мейнарда, Б.Розера и Р. Корша [16, 25, 27, 33, 35] (рис. 4 б–г).

На диаграмме М. Бхатия [27] фигуративные точки анализов песчаных пород попадают в поле активных континентальных окраин, а также в поле континентальных вулканических дуг (рис. 4 б).

Позднее Б. Розером и Р. Коршом [35] была разработана диаграмма $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ с полями: океанических островных дуг, пассивных и активных

континентальных окраин. На ней практически все фигуративные точки анализов изученных образцов располагаются в поле активных континентальных окраин; всего лишь три точки находятся в пограничной области между полями океанических островных дуг и активных континентальных окраин (рис. 4 в). На диаграмме Дж. Мейнарда [33] все фигуративные точки составов исследованных образцов попадают в поле активных континентальных окраин (рис. 4 г).

ОБСУЖДЕНИЕ

Фигуративные точки составов изученных пород на дискриминатных диаграммах М. Бхатия, Б. Розера и Р. Корша (рис. 2 б–г) попадают в несколько областей геодинамических обстановок: континентальные вулканические дуги, активные континентальные окраины и океанические островные дуги. Такое распределение свидетельствует, на наш взгляд, о возможных вариациях источников сноса терригенного материала.

Приведенные петрохимические данные согласуются с полученными ранее данными [2, 4, 15, 22, 23] о формировании изученных пород в геодинамической обстановке синдвигового турбидитового бассейна на трансформной границе типа «континент-океан», где возможно смешение пород близкого, но не идентичного генезиса. Аналогичные выводы получены по результатам петрохимического изучения осадочных пород южной части Журавлевско-Амурского террейна; согласно работе [15], смешение фигуративных точек генетически различных источников терригенного материала, демонстрируемое на дискриминантных диаграммах, «является, по-видимому, главным характерным признаком седиментации в обстановке трансформной окраины Калифорнийского типа» [15, стр. 422].

Как было установлено нами, изученные породы приобрели доскладчатую компоненту намагниченности близко по времени с образованием самих пород в приэкваториальной зоне (табл. 1, рис. 5), что не согласуется с имеющимися биостратиграфическими данными для пород комсомольской серии: известны находки бореальной фауны [21]. Но помимо новых палеомагнитных данных, свидетельствующих об образовании пород в низких широтах, имеются и биостратиграфические, согласно которым в нижнемеловых осадочных породах в пределах Сихотэ-Алиня имеется своеобразный комплекс тетических позднеплинсбахских аммоноидей, в которых преобладают средиземноморские формы (*Arietoceras*, *Protogrammoceras*) [8]. Более того, имеются данные о находках тетической фауны (берриасский аммонит *Pseudosubplanites* [21]) в отложениях комсомольской серии Журавлевско-Амурского террейна. Исходя из этого, можно заключить, что в настоящее время существует неоднозначность в имеющихся палеобиогеографических определениях для изученных раннемеловых пород.

Полученные палеомагнитные данные позволяют количественно оценить палеошироты формирования изученных пород ЖР, которые, с учетом погрешности измерений, определяются интервалом 10–18° с.ш. (рис. 5, табл. 1). Это означает, что впоследствии породы пионерской свиты претерпели северный дрейф вдоль континентальной палеоокраины более чем на 4 тыс. км (3900–4800 км). С учетом имеющихся палеомагнитных данных по сеноман-туронским (~95 млн лет) вулканическим породам утицкой свиты [14], можно заключить, что в интервале времени 133–95 млн лет назад, средняя скорость дрейфа ЖР в северном направлении составляла 10–13 см/год. Выбор полярности или, другими словами, полушария (северного или южного) для полученного палеомаг-

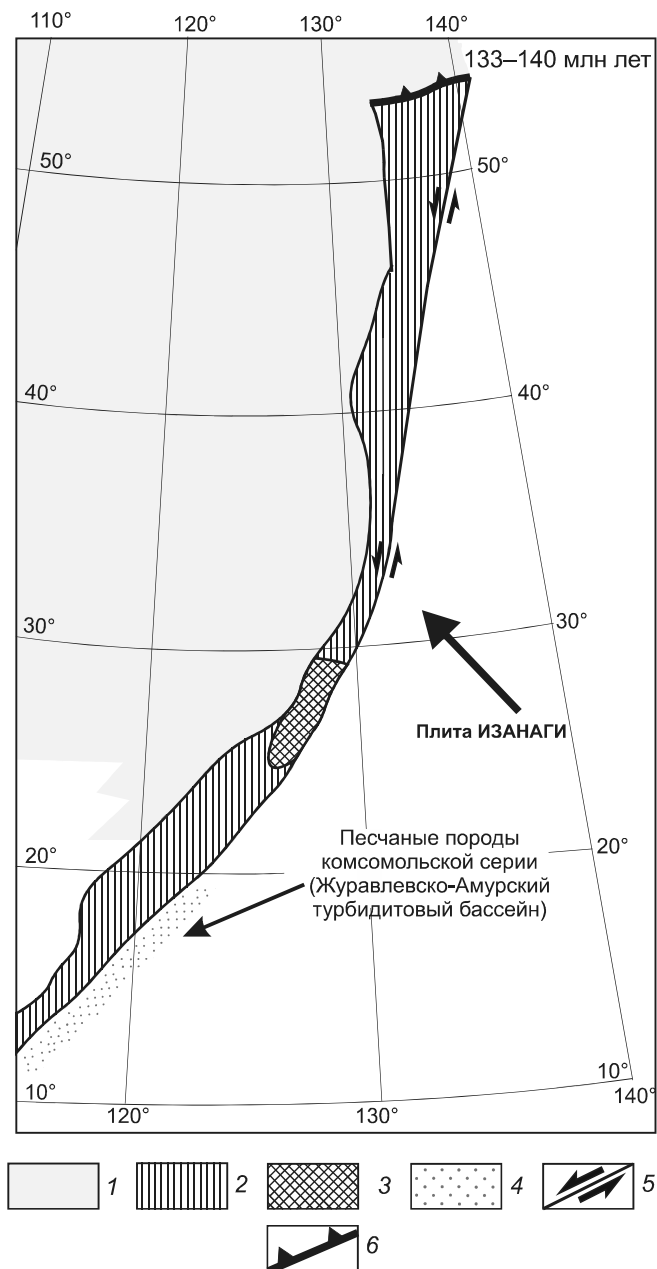


Рис. 5. Геодинамическая реконструкция восточной окраины Азии (133–140 млн лет назад), по [4], с дополнениями.

1 – доюрский континент; 2 – юрские террейны: фрагменты юрских аккреционных призм; 3 – фрагменты домезозойского континента в аккреционных призмах; 4 – фрагмент раннемелового турбидитового бассейна; 5 – сдвиги; 6 – зона субдукции.

нитного полюса был сделан в пользу северного по следующим соображениям: в случае выбора южного полушария, скорости перемещения ЖР окажутся порядка 40 см/год, что в два и более раз превышает расчетные значения для плиты Изанаги (~20 см/год); при выборе северного полушария, скорости перемещения изученных блоков Журавлевско-Амурского террейна

и океанической плиты Изагаи вдоль восточной континентальной окраины Евразии становятся сопоставимы друг с другом.

Возможна и несколько другая интерпретация времени начала смещения изученных пород на север. Предполагается, что смена конвергентного режима на трансформный у восточной окраины Евразии произошла примерно 135 млн лет назад [2, 4 и др.] и коррелируется по времени с изменением скорости и направления дрейфа океанической плиты Изагаи [30]. Скорость последней, рассчитанной на координаты острова Хонсю 40° с.ш. и 140° в.д. [30], около 135 млн лет назад выросла с 5 до 30 см/год, а направление движения изменилось с северо-западного на почти меридиональное (рис. 6). Согласно более поздним кинематическим расчетам и геодинамическим построениям [36], и как было показано в [11], смена субдукционного геодинамического режима на трансформный у восточной активной окраины Евразийского палеоконтинента в меловое время могла произойти существенно позже – во второй половине апта. На рисунке 6, помимо данных о скорости и направлении дрейфа плиты Изагаи по модели [30], даны аналогичные данные для той же точки (о. Хонсю) и по модели [36] для всего мелового периода. Согласно этим данным, с начала мела и примерно до 120 млн лет (вторая половина апта) плита смещалась в юго-западном и западном направлениях со скоростью 11–13 см/год. На рубеже 120–115 млн лет скорость и направление движения плиты Изагаи резко изменились: направление – на северо-северо-западное, скорость возросла до 17–18 см/год, а во второй половине позднего мела – свыше 20 см/год. Можно полагать, что именно в это время произошла смена субдукционного режима на трансформный. Еще раз подчеркнем, что это один из возможных вариантов, являющийся следствием, в основном, расчетной кинематики океанических тихоокеанских плит. Прямые геологические данные о структурно-литологических парагенезисах, стратиграфии и составе пород Журавлевско-Амурского террейна [2, 4 и др.] свидетельствуют о более ранней (135 млн лет) смене субдукционного режима на трансформный у восточной окраины Евразии. Прямые расчеты скорости смещения изученных блоков Журавлевско-Амурского террейна (см. выше) хорошо согласуются с расчетными скоростями смещения плиты Изагаи вдоль континентальной окраины Евразии во второй половине раннего и позднем мелу.

Полагаем, что вопросы о времени смены геодинамического режима и скоростях северного дрейфа отдельных блоков у восточной окраины Евразии в меловое время нуждаются в уточнении, что возможно сделать, уточнив возраст ключевых объектов, геоди-

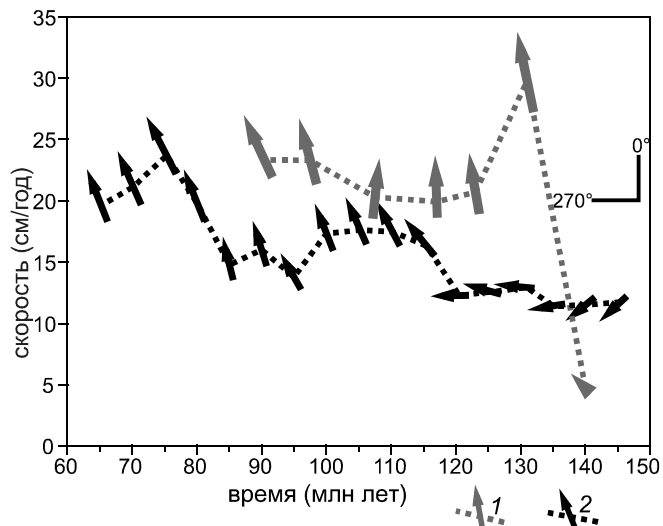


Рис. 6. Сопоставление кинематических параметров плиты Изагаи в меловое время по различным моделям.

1 – модель по [30], 2 – модель по [36]. Кинематические параметры рассчитаны на координаты о. Хонсю (40° с.ш. и 140° в.д.).

намическая природа которых уверенно определена, и повысив точность в определении направлений древних компонент намагниченности этих же объектов.

Полученные в настоящей работе результаты согласуются с ранее опубликованными данными о существовании крупноамплитудных левых сдвигов в меловое время вдоль восточной окраины Евразии [2, 4, 18, 19, 22, 23 и др.]. Например, согласно [2, 4], фрагменты Журавлинско-Амурского террейна формировались и были аккретированы к континенту в обстановке левосдвиговых дислокаций, связанных со скольжением океанической плиты Изагаи вдоль трансформной континентальной границы.

Стоит отметить, что рассчитанные палеошироты формирования изученных валанжинских пород комсомольской серии ($10\text{--}18^\circ$ с.ш.) сопоставимы с палеоширотами формирования (4° ю.ш.– 11° с.ш.) берриас-валанжинских базальтов рождественской свиты [26], которые входят в состав Хоккайдо-Сахалинской ветви Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинского орогенного пояса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты петрохимического изучения осадочных пород двух свит комсомольской серии (горинская и пионерская) в самой северной части Журавлевско-Амурского террейна согласуются с полученными ранее данными [2, 4, 22, 23], согласно которым формирование изученных пород происходило в геодинамической обстановке синсдвигового турбидитового бассейна на трансформной границе типа «континент-

океан», где возможно смещение обломков пород близкого состава, но не идентичного генезиса.

В результате палеомагнитных исследований в песчаных породах пионерской свиты комсомольской серии установлена древняя «доскладчатая» характеристическая компонента намагниченности, по которой были рассчитаны координаты палеомагнитного полюса и палеоширота формирования изученных пород. Валанжинские песчаники пионерской свиты, входящие в состав Журавлевско-Амурского синсдвигового турбидитового бассейна, формировались в приэкваториальных широтах (10–18° с.ш.) вблизи границы «континент-океан». В интервале 133–95 млн л.н. блок изученных пород испытал дрейф в северном направлении (трансляция вдоль континентальной окраины) более чем на 4000 км, при этом средняя скорость дрейфа могла составлять: 1) 10–13 см/год в случае более ранней (135 млн лет назад) смены субдукционной геодинамической обстановки на трансформную; 2) до 20 см/год в случае более поздней (120–115 млн лет назад) смены субдукционной геодинамической обстановки на трансформную.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность А.И. Ханчуку, рецензентам рукописи В.В. Голозубову и Д.В. Метелкину, а также И.П. Войновой за замечания и предложения, которые способствовали улучшению качества представленного материала. Техническую помощь и поддержку в процессе проведения полевых работ, подготовки рукописи настоящей работы оказали С.В. Буря, Е.Ю. Диденко и О.М. Меньшикова, за что авторы им очень благодарны.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-05-00117 (полевые и петрохимические исследования) и № 18-35-00048 (палеомагнитные исследования).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов М.В., Войнова И.П., Кудымов А.В., Песков А.Ю., Ото Ш., Нагата М., Голозубов В.В., Диденко А.Н. Сравнительный анализ апт-альбских пород Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов: геохимия, геохронология и палеомагнетизм // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 1–26.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
- Геологическая карта СССР. 1:200 000. Лист N-54-XIV / А.А. Козлов, В.Д. Овчинский, С.В. Беляцкая; ред. Ю.А. Иванов. Второе гидрогеологическое / Ленинградская картфабрика объединения «Аэрогеология» управление, 1975.
- Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Лист N-54. Серия Дальневосточная / Л.И. Шаруева, В.Г. Лопатин, Г.В. Роганов и др.; ред. Г.В. Роганов, О.И. Супруненко: Объясн. зап. 2016. СПб: ВСЕГЕИ, 480 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Лист M-54. Серия Дальневосточная / А.Ф. Васькин, В.А. Дымович: Объясн. зап. 2017. СПб: ВСЕГЕИ, 609 с.
- Градзинский Р., Костецкая А., Родомский А., Унгур Р. Седиментология. М.: Недра, 1980. 644 с.
- Дагис А.А. Новая схема детальной стратиграфии плинсбахских отложений Северо-Востока СССР // Геология и геофизика. 1974. № 2. С. 39–43.
- Диденко А.Н., Ханчук А.И., Тихомирова А.И., Войнова И.П. Восточный сегмент Киселевско-Маноминского террейна (Северный Сихотэ-Алинь): палеомагнетизм и геодинамические следствия // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 1. С. 20–40.
- Диденко А.Н., Песков А.Ю., Кудымов А.В., Войнова И.П., Тихомирова А.И., Архипов М.В. Палеомагнетизм и аккреционная тектоника Северного Сихотэ-Алиня // Физика Земли. 2017. № 5. С. 1–18.
- Диденко А.Н., Ханчук А.И. Смена геодинамических обстановок в зоне перехода Тихий океан-Евразия в конце раннего мела // Докл. АН. 2019 (в печати).
- Кириллова Г.Л., Анойкин В.И. Структура Амуро-Горинского фрагмента позднемезозойской Восточно-Азиатской аккреционной системы // Докл. АН. 2011. Т. 436, № 1. С. 64–68.
- Кудымов А.В. Флиш Нижнего Амура // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Восточной Азии: III Косыгинские чтения. Хабаровск, 2001. С. 89–93.
- Кудымов А.В., Войнова И.П., Тихомирова А.И., Диденко А.Н. Геология, геохимия и палеомагнетизм вулканогенных и осадочных пород утицкой свиты (Северный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 5. С. 3–18.
- Малиновский А.И., Голозубов В.В. Строение, состав и обстановки формирования нижнемеловых отложений Журавлевского террейна (Центральный Сихотэ-Алинь) // Литология и полез. ископаемые. 2012. № 4. С. 399–424.
- Маслов А.В. Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 248 с.
- Метелкин Д. В., Казанский А. Ю. Основы магнитотектоники: Учеб. пособие. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2014. 127 с.
- Натальин Б.А. Мезозойская аккреционная и коллизионная тектоника юга Дальнего Востока СССР // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 3–23.
- Парфенов Л.М., Берзин А.Н., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7–41.
- Печерский Д.М., Диденко А.Н. Палеозойский океан: петромагнитная и палеомагнитная информация о его литосфере. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 298 с.
- Урман О.С., Дзюба О.С., Кириллова Г.Л., Шурыгин Б.Н. Бухии и биостратиграфия пограничных юрско-меловых отложений в комсомольском разрезе (Дальний Восток России) / Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 5. С. 34–46.

22. Ханчук А.И. Геологическое строение и развитие континентального обрамления Северо-Запада Тихого океана: автореф. дис. ... д-ра. геол.-минер. наук. М.: ГИН РАН, 1993. 31 с.
23. Ханчук, А.И. Геология и полезные ископаемые Приморского края / А.И. Ханчук, В.В. Раткин, М.Д. Рязанцева, В.В. Голозубов, Н.Г. Гонохова. Владивосток: Дальнаука, 1995. 82 с.
24. Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комисарова Р.А. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
25. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
26. Abrajevitch A.V., Zybrev S.V., Didenko A.N., Kodama K. Paleomagnetism of the West Sakhalin Basin: evidence for northward displacement during the Cretaceous // *Geophys. J. Intern.* 2012. V. 190. P. 1439–1454.
27. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // *J. Geol.* 1983. 91. P. 611–627.
28. Bradbury N. Correcting for paleomagnetic inclination shallowing in magnetite-bearing clay-rich soft sediments with the aid of magnetic anisotropy and uniaxial compression experiments: Thesis Master of Science. Newfoundland: St. John's, 2005. 91 p.
29. Coney P.J., Jones D.L., Monger J.W.H. Cordilleran suspect terranes // *Nature*. 1980. V. 288. P. 329–333.
30. Engebretson D.C., Cox A., Gordon R.G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific Basin // *Geol. Soc. Am. (Spec. Pap. 206)*. 1985. 60 p.
31. Enkin, R.J. A computer program package for Analysis and presentation of paleomagnetic data // Pacific Geoscience Centre, Geol. Surv. Canada, 1994. 16 p.
32. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // *J. Sed. Petrol.* 1988. 58. P. 820–829.
33. Maynard J.B., Valloni R., Ho Shing Ju. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basin // *J. Geol. Soc. Am. Spec. Publs.* 1982. 10. P. 551–561.
34. Peskov A.Yu. Magnetic properties of sedimentary rocks from pionerskaya and gorinskaya formations (junction zone between the Sikhote-Alin and Mongol-Okhotsk orogenic belts) // *Book of abstracts of International conference on paleomagnetism and rock magnetism*. St. Petersburg, 2018. P. 96.
35. Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // *J. Geol.* 1986. 94. P. 635–650.
36. Seton M., Muller R.D., Zahirovic S., Gaina C., Torsvik T.H., Shephard G., Talsma A., Gurnis M., Turner M., Maus S., Chandler M. Global continental and ocean basin reconstructions since 200 Ma // *Earth-Science Rev.* 2012. V. 113, N 3–4. P. 212–270.

*Рекомендована к печати А.И. Ханчуком
после доработки 04.06.2019 г.
принята к печати 08.07.2019 г.*

A. Yu. Peskov, A. N. Didenko, A. V. Kudymov, A. S. Karetnikov, M. V. Arkhipov

Paleomagnetism and Petrochemistry of Sandstones from the Gorinskaya and Pionerskaya Formations of the Zhuravlevka-Amur Terrane (Northern Sikhote-Alin)

The paper presents the first paleomagnetic and petrochemical data on Lower Cretaceous sedimentary rocks of the Komsomolskaya Formation of the Zhuravlevka-Amur turbidite paleobasin from the coastal exposures of the Sakhalin Bay (54.09 °N, 140.05 °E). Results of the study suggest that: 1) petrochemical characteristics of sedimentary rocks of the Berrias-Valanginian Gorinskaya and Pionerskaya formations are not in conflict with the model for their formation in a transform-margin setting; 2) the paleolatitude at which they acquired their paleomagnetic direction before folding (Dec = 303°, Inc = 27°, Ks/Kg = 6.2) is 10–18 °N; and 3) in the post-Valanginian time, the block where the studied rocks occur moved 3900 to 4800 km northward along the Eurasia transform margin at an average rate of about 10–13 cm/year at ~ 95 Ma ago.

Key words: paleomagnetism, paleolatitude, petrochemistry, transform margin, turbidite basin, Lower Cretaceous, Zhuravlevka-Amur terrane, North Sikhote-Alin, Far East of Russia.