

**ПАЛЕОМАГНИТНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ)****Ю.С. Бретштейн\*, Ю.Д. Захаров\*\*, А.В. Климова\****\* Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск**\*\* Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

Проведены рекогносцировочные палеомагнитные исследования раннетриасовых терригенных комплексов на четырех разрезах Южного Приморья, которые сопоставлены с ранее полученными результатами по другим триасовым объектам, а также с биостратиграфическими данными. Изучены петромагнитные характеристики, в частности – параметры магнитной анизотропии, которые свидетельствуют об отсутствии значительных постседиментационных тектонических деформаций, влиявших на характер распределения намагниченности. Полученные палеомагнитные данные подтверждены высокотемпературным ступенчатым терморазмагничиванием с применением компонентного анализа и современных графо-аналитических методов тестирования при выделении характеристических компонент  $I_n$  и определении их природы. Для отдельных геологических разрезов выявлена дисперсия определений, обусловленная возможным присутствием син- и постскладчатой компонент  $I_n$ . Рассчитанный палеомагнитный полюс для триаса Южного Приморья расположен на пересечении трендов кажущейся миграции палеополюса для Сибирской и Северо-Китайской платформ и близок к позиции современного геомагнитного полюса.

**Ключевые слова:** палеомагнетизм, биостратиграфия, триас, палеомагнитный полюс, Приморье.

**ВВЕДЕНИЕ**

Как показали уже первые палеомагнитные исследования фанерозойских комплексов складчатых поясов Дальнего Востока [1, 2, 7], одной из важнейших проблем является выявление палеомагнитно представительных пород при их сопоставлении с общегеологическими и биостратиграфическими данными. Часто даже магнитостабильные горные породы оказываются перемагниченными (их палеомагнитный возраст не соответствует возрасту формирования соответствующих толщ). Многие терригенно-осадочные комплексы оказываются вообще непригодными для изучения, ввиду чрезвычайно слабой намагниченности пород и ее неустойчивости при лабораторных исследованиях, что препятствует выделению стабильной характеристической компоненты  $I_n$ . Кроме того, сама задача сравнения возрастных параметров на основе достаточно условных критериев сопоставления разноранговых характеристик – биостратиграфических (качественных) и палеомагнитных (статистических) –, строго говоря, является неоднозначной и часто бывает весьма затруднительной.

Особенно сложно оценить потенциальные возможности такой корреляции на начальных этапах исследований. Достаточно детальное расчленение нижне- и среднетриасовых отложений в Приморье [3–6, 8] до настоящего времени, к сожалению, не сопровождалось качественными палеомагнитными определениями. Как показывает практика изучения геологических разрезов фанерозоя в складчатых поясах, предпринимаемые попытки использовать палеомагнитные характеристики для этой цели [20, 24, 26] не всегда являются успешными, а в ряде случаев и вовсе не возможны. Для детального сопоставления конкретных разрезов на различных биостратиграфических уровнях необходим выбор представительных геологических объектов и детальное (послойное) их изучение, а также совпадение целого ряда благоприятных обстоятельств – кроме хорошей фаунистической привязки, наличие также (и прежде всего) достаточно магнитных и стабильных пород, где сохранилась доскладчатая (близкая первичной) намагниченность. На первом этапе изучения таких объектов, вероятно, следует значительное внимание уделять таким петромагнитным характеристикам, как магнитная анизотропия осадочных пород, изучение которой

позволяет опосредованно оценить степень деформированности осадочных пород и влияние стресса на характер (тип) остаточной намагниченности и, в частности, отклонение от первоначального направления вектора  $I_n$  [5, 9]. При этом различные виды магнитной анизотропии (магнитной восприимчивости – **AMS**, идеальной остаточной намагниченности – **AARM**, изотермической остаточной намагниченности – **AIRM**) могут отражать преимущественный вклад зерен ферримагнитных минералов разного класса (парамагнитных, однодоменных, псевдооднодоменных и многодоменных).

Немаловажное значение имеет также диагностика характеристической и синскладчатой компонент  $I_n$  [15], которые могут фиксировать время до и в период складкообразования, а отнюдь не период формирования т. н. первичной намагниченности, отвечающей эпохе (возрасту) осадконакопления. Значительно возросшие требования к методике обработки и качеству палеомагнитных данных, выявление целого ряда новых факторов, влияющих на их правильную интерпретацию, заставляют более осторожно относиться к вновь получаемым результатам, уточнять и часто пересматривать в процессе исследований итоги ранее проведенных работ. В связи с развитием новых палеомагнитных «технологий» обработки результатов, а также получения новых данных о природе и механизме формирования намагниченности в горных породах (в т. ч. возможном влиянии на направление  $I_n$  пьезодинамической намагниченности и анизотропии), палеомагнитным сообществом подвергнуто существенной ревизии большинство данных, полученных ранее начала 90-х годов. Некритичное использование палеомагнитных определений без должной оценки их качества и применяемых методик выделения характеристических компонент может дать ложные результаты и привести лишь к дискредитации метода.

Таким образом, следует подчеркнуть, что спектр проблем, связанных с использованием палеомагнитных результатов в сочетании с биостратиграфическими данными (которые, разумеется, также должны быть представительными), достаточно широк и вызывает необходимость в строгом подходе при использовании и отбраковке палеомагнитных определений, получение которых должно основываться на применении всего комплекса современных методических тестов и математических приемов обработки.

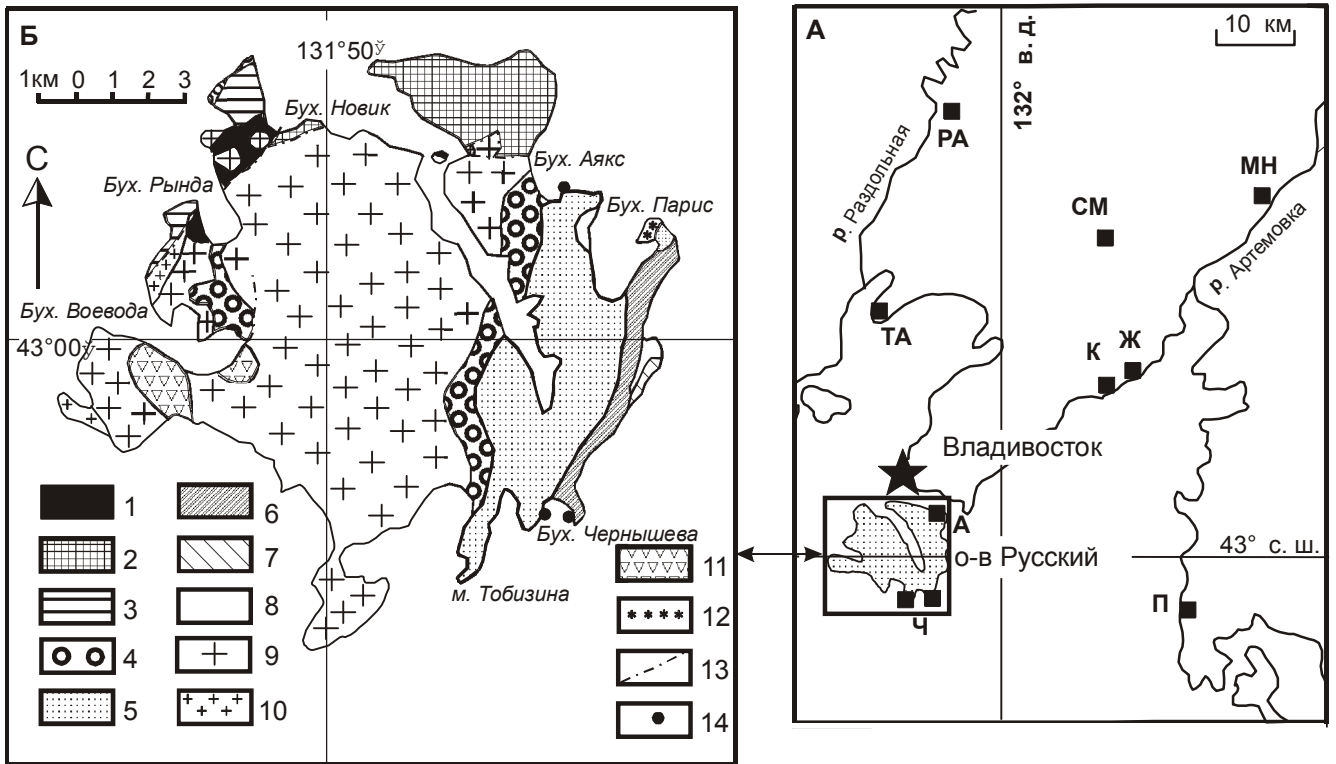
В данной работе предпринята попытка на пилотных коллекциях предварительно оценить принципиальную возможность использовать для этой цели отобранный полевой материал с тем, чтобы, в зависимос-

ти от результата, в дальнейшем расширить или сузить круг изучаемых объектов. В частности, полученные предварительные палеомагнитные результаты по триасовым породам разрезов острова Русского, мыса Три Камня сравниваются с некоторыми ранее опубликованными данными по этим объектам, в том числе с результатами из других районов Южного Приморья [1, 7]. Как будет показано ниже, при общей, достаточно удовлетворительной сходимости результатов распределение направлений отличается значительной дисперсией. Вследствие этого (а также сравнительно небольших по объему сравниваемых выборок), приводимые в данной работе палеомагнитные данные для триаса следует считать предварительными.

#### КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И МЕТОДИКА ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами изучены четыре объекта на юге Приморья, где развиты ниже- и среднетриасовые отложения. Это остров Русский (всего три разреза – два в бухте Чернышева, один – в бухте Аякс), мыс Три Камня (на восточном побережье полуострова Муравьева-Амурского), карьер СМВД к югу от г. Артема и точка на правом берегу р. Артемовки, к югу от пос. Многоудобное (рис. 1.). Породы о-ва Русского представлены триасовым терригенным комплексом, полого и несогласно залегающим на гранитоидах предположительно раннепалеозойского возраста. Последние вместе с ксенолитами метаморфизованных докембрийских (?) пород путятинской свиты, а также пермскими вулканогенно-осадочными породами поспеловской и владивостокской свит слагают здесь ядро антиклинальной складки. Триасовые песчаники в бухтах Аякс и Чернышева, где отбирались палеомагнитные образцы, представляют собой юго-восточное крыло этой складки, с довольно пологим залеганием (10–20 градусов).

В бухте Аякс базальные конгломераты триаса (около 100 м) залегают с размывом непосредственно на гранитоидах. Поверхность размыва неровная (с карманами размыва), извилистая, с углами падения до 18–20°. Вышележащие конгломераты залегают полого (Аз. пад. 140–160, угол 17–21 град.). Исследованный разрез сложен полимиктовыми песчаниками и известковистыми песчаниками-ракушечниками, охарактеризованными двустворчатыми моллюсками (*Entolium microtis* (Witt.), *Leptochondria minima* (Kipar.), аммоноидеями (*Hedenstroemia bosphorensis* Zakh., *Arctoceras septentrionale* (Dien.), *Meekoceras subcrisatum* Kipar.) [4, 8, 28] и конодонтами (*Furnishius triserratus* Clark) [3].



**Рис. 1.** Схема расположения районов изучения триасовых пород в Южном Приморье (А) и схематическая геологическая карта о-ва Русский (составлена по материалам Ю.Д. Захарова) (Б).

А – бухта Аякс, Ч – бухта Чернышева, К – Три Камня, СМ – карьер Сמיד, МН – Многоудобное; объекты, изученные ранее [1], данные по которым использованы в статье: П – Подъяпольское, Ж – район побережья возле д/о "Жемчужина", ТА – Тавричанка, РА – Раздольное. 1 – плочатые слюдястые сланцы путятинской свиты предположительно докембрийского возраста, 2 – песчаники и алевролиты поспеловской свиты (болорский и кубергандинский ярусы нижней и средней перми), 3 – туфогенные отложения нижней подсвиты владивостокской свиты (мургабский ярус средней перми), 4 – песчаники лазуринской свиты (индский ярус нижнего триаса), 5 – песчаники, известняки и алевролиты тобизинской, шмидтовской и житковской свит (оленекский ярус нижнего триаса), 6 – песчаные алевролиты каразинской свиты (анизийский ярус среднего триаса), 7 – грубозернистые песчаники свиты реки Богатая (верхняя часть ладинского яруса среднего триаса), 8 – террасовые отложения четвертичного возраста, 9 – гранитоиды предположительно раннепалеозойского возраста, 10 – гранит-порфиры позднепермского возраста, 11 – андезиты позднепермского возраста, 12 – фельзит-порфиры мелового возраста, 13 – предполагаемые разрывные нарушения, 14 – места отбора палеомагнитных проб.

Породы западной части бухты Чернышева представлены алевроаргиллитами и мелкозернистыми полимиктовыми песчаниками, известковистыми песчаниками-ракушечниками, охарактеризованными двустворками (*Gervillia exprorecta* Leps.) и аммоноидеями (*Neocolumbites insignis* Zakh., *Columbites ussuriensis* Burij et Zharn., *Khvalinites unicum* (Kipar.)) позднеоленекского возраста [28].

В восточной части бухты Чернышева развиты преимущественно песчаные алевролиты с остатками раннеанизийских *Balatonites* sp. indet. [6].

Песчано-глинистые отложения в северной части карьера СМИД у г. Артема охарактеризованы многочисленными двустворками (*Posidonia* sp.) и аммоноидеями (*Anasibirites nevolini* Burij et Zharn., *Arctoceras*

sp.), в южной его части – редкими аммоноидеями (*Leiophyllites* sp.) раннеанизийского возраста среднего триаса. Подстилающие породы здесь не вскрыты, в окрестностях известны пермские известняки чанда-лазского горизонта (мидийский ярус). Залегание пород нижнего и среднего триаса моноклиналиное ЮЮЗ 30–48 градусов.

В районе мыса Три Камня базальные слои индского яруса нижнего триаса с размывом залегают на кислых эфузивах владивостокской свиты средней перми. Здесь опробованы известковистые песчаники-ракушечники с аммоноидеями *Hedenstroemia bosphorensis* Zakh, *Arctoceras septentrionale* (Dien), *Meekoceras subcrisatum* Kipar., которые образуют периклинали с СВ и ЮВ падением.

Изученные возле с. Многоудобное породы представлены поздне триасовыми известковистыми алевролитами.

Отбор ориентированных штуфов для палеомагнитных исследований осуществлялся вручную с ориентировкой маркируемых плоскостей с помощью горного компаса. Из каждого штуфа выпиливались по 2–4 кубика размером 2×2×2 см. Не менее 2-х из них впоследствии были подвергнуты ступенчатому терморазмагничиванию в лабораториях Института тектоники и геофизики (ИТиГ) ДВО РАН и Института тектоники Калифорнийского университета (США). Для исключения воздействия внешних магнитных полей на образцы во время их нагрева и последующих измерений в ИТиГ ДВО РАН использовалась специальная печь с трехслойным пермаллоевым экраном, а измерительный прибор (рок-генератор JR-4) помещался в кольца Гельмгольца. В лаборатории Калифорнийского университета измерения проводились на криогенном магнитометре в экранированном немагнитном помещении.

Количество ступеней терморазмагничивания было различным – от 6 до 12 в интервале от 150 до 690°C. Для некоторых сильно вязких образцов чистка завершалась уже при 350–400°C, когда величина измеряемой намагниченности оказывалась сопоставимой с пределом чувствительности аппаратуры и уровнем помех. После каждого цикла нагрева измерялась естественная остаточная намагниченность  $I_n$  и (для части образцов) их магнитная восприимчивость  $K$  (на каппаметре **KLY-2**) – с целью контроля минералогических изменений в образцах в ходе термочистки. Кроме того, до нагревов (либо на образцах-дублях) определялись тензорные и скалярные характеристики анизотропии магнитной восприимчивости (таб. 1).

Носители намагниченности диагностировались с помощью термомагнитного анализа намагниченности насыщения  $I_s(T)$ . Диагностика минералов – потенциальных носителей  $I_n$  – осуществлялась по их блокирующим температурам ( $T_0$ ), либо характерным

перегибам, фиксирующим фазовые превращения (не всегда, однако, явно выраженным) для пород, содержащих маггемит или сульфиды. К сожалению, вследствие чрезвычайно малой концентрации ферромагнетиков в породах, не удалось снять достоверных кривых  $I_n(T)$ .

Обработка результатов термочистки осуществлялась с использованием пакетов графо-аналитических прикладных компьютерных программ Р. Энкина и С. В. Шипунова. Для выделения характеристических компонент  $I_n$  широко применялся компонентный анализ [23] с последующим использованием различных модификаций тестов складки [13–17, 25, 27], а также тест на синскладчатость выделенных компонент намагниченности [15]. При компонентном анализе (обычно использовалось 4–6, но не менее 3-х точек) оценивалось направление  $I_n$  в диапазоне нагрева выше 300–350°C (преимущественно 400–600°C) с целью выхода за пределы температурного интервала возможного влияния выделенных низкотемпературных компонент, обусловленных такими носителями, как маггемит и пирротин, а также вязкой составляющей  $I_n$ . Исключение составляли отдельные образцы с незначительной долей намагниченности выше 450 градусов. В этих случаях в интервал анализа включались направления (компоненты), выделенные в диапазоне 300–450°C. Когда не удавалось успешно довести размагничивание до высоких температур и уверенно применить компонентный анализ, широко использовался метод пересечения кругов перемагничивания – метод Холлса [21]. В качестве меры относительной представительности выделяемых высокотемпературных компонент по соотношению  $I_n/I_{n20}$  определялась доля вязкой (маггемитовой) составляющей в составе последней.

Для иллюстрации полученных результатов использованы стандартные формы отображения палеомагнитных данных – диаграммы Зийдервельда [32], стереограммы распределения  $I_n$  на сфере и графики терморазмагничивания  $I_n(T)$  [11].

**Таблица 1. Петромагнитные характеристики триасовых пород Южного Приморья.**

№ п/п	Район	N	З		k	$I_n$	Em	Am	Bm	$k_1$		$k_2$		$k_3$		Q
			D	I						D	I	D	I			
1	о-в Русский	11	52	10	207	2,21	1,016	1,002	1,014	335	6	246	-9	208	9	0,137
2	СМИД	8	189	32	163	0,93	1,012	1,005	1,006	328	-21	242	12	0	65	0,559
3	Многоудобное	10	149	52	180	1,20	1,010	1,004	1,005	57	-5	146	14	347	75	0,603
4	Три Камня	7	125	40	195	1,70	1,017	1,011	1,005	46	1	135	-24	138	65	1,030

*Примечание.* N – количество определений; З – элементы залегания пластов: средние значения азимута и угла падения (в град.); k, ( $I_n$ ) – средние значения магнитной восприимчивости (в  $10^{-6}$  ед. СИ), естественной остаточной намагниченности (в мА/м);  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – главные оси тензорного эллипсоида магнитной восприимчивости; D, I – средние склонение и наклонение осей эллипсоида в современных координатах; Em =  $k_1/k_3$ ; Am =  $k_1/k_2$ ; Bm =  $k_2/k_3$ ; Q =  $(k_1 - k_2) / [(k_1 + k_2) / 2 - k_3]$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРО- И ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным термомагнитного анализа единственным носителем  $I_n$  в изученных породах являются одно- и псевдооднородные зерна магнетита (присутствует во всех разрезах). Следует указать на неблагоприятные условия диагностики ферромагнитной фазы тонкодисперсных осадочных пород, ввиду чрезвычайно низкой ее концентрации, обуславливающей и низкую их намагниченность. Значения  $I_n$ , как правило, не превышают десятые, реже первые единицы мА/м, которые в процессе нагревов (часто уже после 300–350°C) составляют величину порядка сотых. Парамагнитные частицы существенно затушевывают вклад в намагниченность насыщения структурированных магнетитовых зерен, поскольку на кривых  $I_s(T)$ , имеющих (особенно в начальном интервале нагрева) часто вогнутый гиперболический облик, лишь на конечных интервалах кривой наблюдается прямолинейный градиентный спад, характеризующий блокирующую температуру зерен магнетита, незначительная концентрация которых в породе, вероятно, и обуславливает вклад в стабильную часть  $I_n$ .

Основные петромагнитные характеристики исследованных пород приведены в таблице 1.

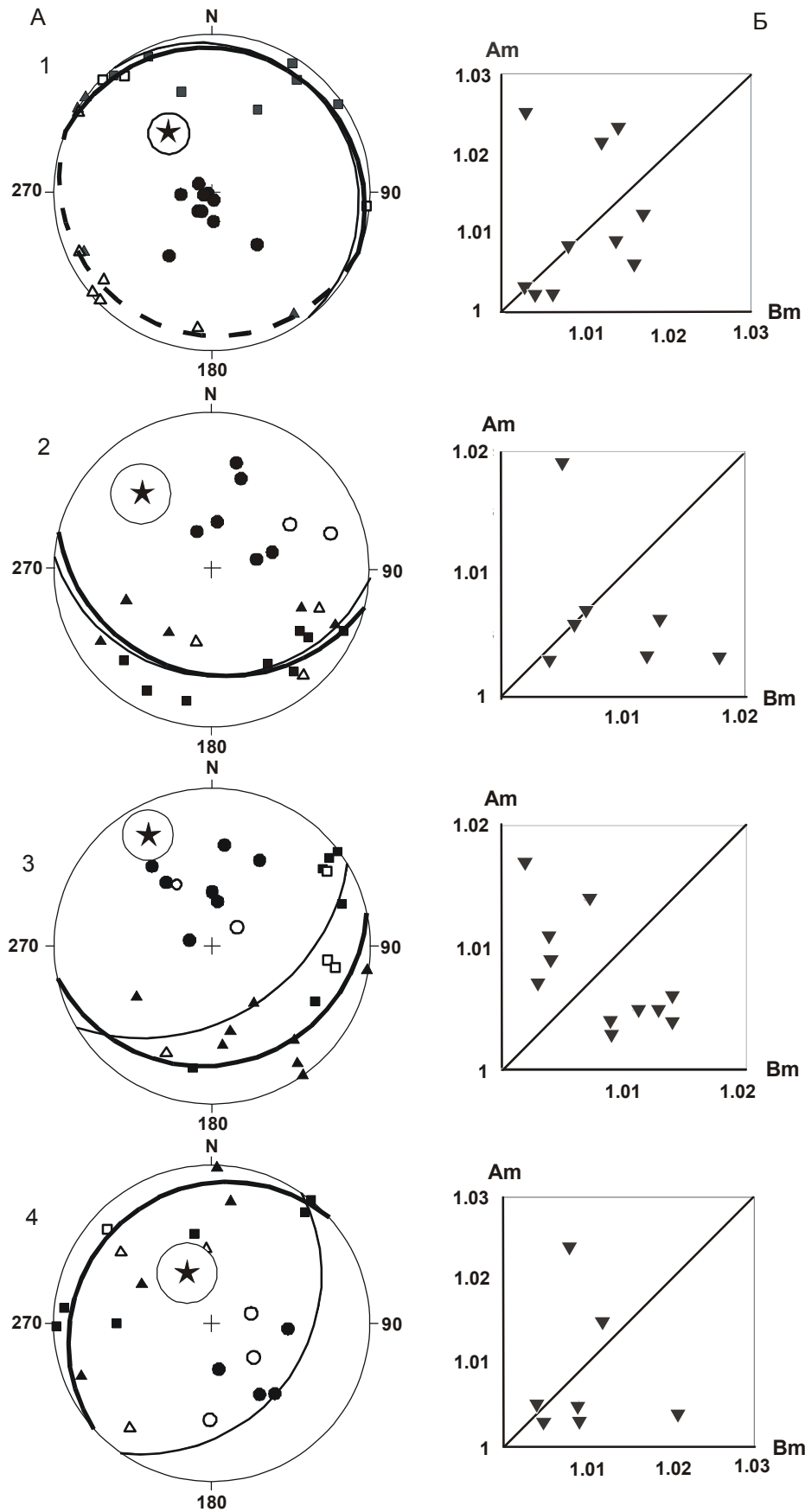
Величина намагниченности мала и варьирует незначительно, колеблясь в пределах первых единиц мА/м. Обращают на себя внимание достаточно низкие отношения величины  $I_n/I_{n20}$  для всех изученных объектов, что вообще характерно для осадочных пород региона. Стабильная высокотемпературная компонента  $I_n$  (400°C и выше), не связанная с вторичными минералами-носителями вроде маггемита, обычно составляет 0.2–0.5 доли ее исходной величины.

Значения магнитной восприимчивости не превышают первых сотен  $10^{-6}$  ед. СИ. Общая анизотропия магнитной восприимчивости (AMS), рассчитанная по скалярным характеристикам распределения осей тензорного трехосного эллипсоида AMS [22], характеризующая отношение большой и малой осей последнего, не превышает нескольких процентов. Несмотря на малую величину нами было проведено исследование скалярных и векторных характеристик анизотропии магнитной восприимчивости. На рис. 2 представлены стереограммы распределения на сфере проекций главных осей тензорного эллипсоида магнитной восприимчивости. Как видно на диаграммах Флинна, для осадочных пород изученных разрезов наиболее характерен слоистый тип анизотропии ( $B_m > A_m$ ), в меньшей степени – линейный ( $A_m > B_m$ ). Наряду с малой (как правило, менее

0.70) величиной анизотропного параметра  $Q$ , это может свидетельствовать об отсутствии существенных структурных трансформаций после завершения процесса седиментации и литификации осадков. В пользу этого говорит и сравнительно слабо проявленная складчатость в пределах изучавшихся объектов (преобладание относительно пологих наклонов пластов, отсутствие значительных зон смятия и будинажа).

Для всех пород, кроме песчаников объекта Три Камня, наблюдается достаточно явная приуроченность рассчитанных плоскостей анизотропии к наблюдаемым плоскостям слоистости. Наиболее четко это проявлено в песчаниках и алевролитах острова Русского, отчасти разрезов СМВД и Многоудобное. Как известно [22], направление оси  $Kc$  ( $min$ ) всегда располагается перпендикулярно к плоскости слоистости пород и параллельно оси максимального сжатия. Направление оси  $Ka$  ( $max$ ) AMS параллельно линейности в породах и лежит в плоскости слоистости, располагаясь перпендикулярно к направлению главного сжатия и, соответственно, параллельно направлению максимального растяжения. Эти эффекты всегда сопровождают пластические деформации, как при литификации (уплотнении, обезвоживании) осадков, так и в результате воздействия высоких температур и давлений при метаморфических процессах. Хотя AMS в породах обусловлена чаще всего характером распределения крупных магнетитовых зерен, а также частиц различных парамагнитных минералов, за стабильную  $I_n$  в тех же образцах ответственные фракции мелких (одно- и псевдооднородных) зерен магнетита. Их распределение может давать различную информацию относительно  $I_n$  и AMS для одних и тех же образцов. Практика наших исследований в смежных районах дальневосточного региона и Забайкалья полностью подтвердила эти положения.

Вследствие метаморфизма, под воздействием флюидов, давления и температуры магнитные свойства пород также изменяются. При определенных условиях, даже при относительно невысоких температурах (~400°C), новообразование зерен магнетита может происходить вследствие высокой растворимости железа в хлоридных растворах. Это приводит к росту (образованию) вторичных мелких зерен магнетита (в т. ч. из силикатов), которые приобретают химическую намагниченность. То же относится к наложенной пирротиновой минерализации. Все это может существенно осложнить (исказить) первичное распределение направлений как  $I_n$ , так и осей AMS. Таким образом, наблюдаемое их распределение часто отражает весьма сложную картину (результат) влияния на породу целого ряда как первичных (гене-

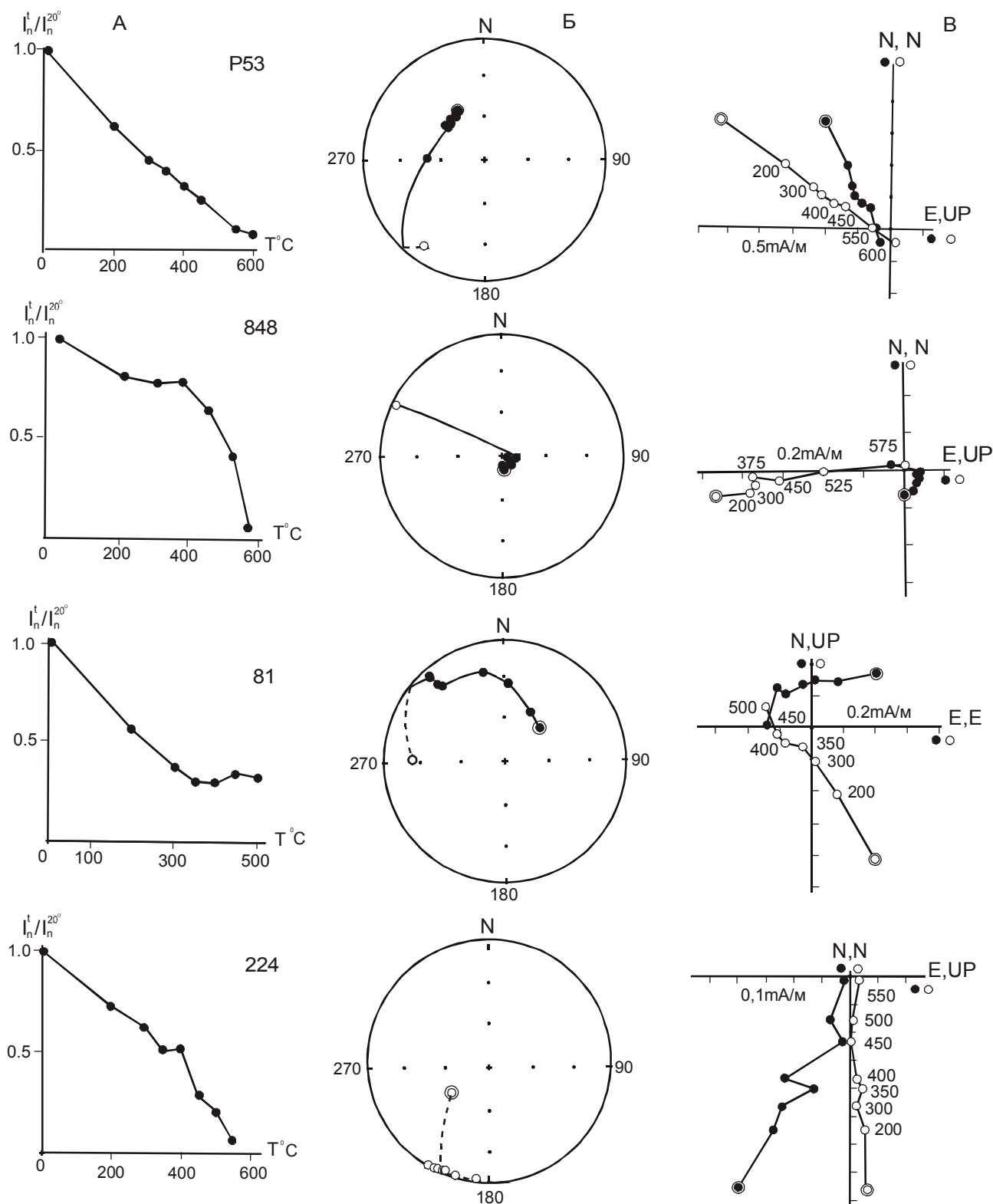


**Рис. 2.** Характеристика анизотропии магнитной восприимчивости триасовых пород .

**А** – Распределение проекций направлений главных осей эллипсоида AMS и среднего направления вектора намагниченности  $I_n$  на сфере. Квадраты, треугольники и кружки – залитые (полые) значки – проекции большой, средней и малой осей эллипсоида на нижнюю (верхнюю) полушару. Звездочка и кружок – направление вектора  $I_n$  и овал доверия ( $p=0.95$ ). Тонкие линии – проекции плоскостей падения пластов на нижнюю полушару. Утолщенные сплошные и штриховые линии – проекции плоскостей магнитной анизотропии (тензорное распределение большой и средней осей эллипсоида AMS ) на нижнюю и верхнюю полушару, соответственно.

**Б** – Диаграммы Флинна. Распределение скалярных значений параметров AMS.

1 – остров Русский, 2 – Смид, 3 – Многоудобное, 4 – Три Камня.



**Рис. 3.** Результаты ступенчатого терморазмагничивания горных пород.

**А** – Типовые графики  $I_n(T)$ ; **Б** – стереограммы распределения векторов  $I_n$  по результатам ступенчатого терморазмагничивания образцов; **В** – диаграммы Зейдervильда.

Залитые (полые) кружки на стереограммах – проекции векторов  $I_n$  на нижнюю (верхнюю) полусферу. Залитые (полые) значки на диаграммах Зейдervильда – проекции векторов  $I_n$  на горизонтальную (вертикальную) плоскость, соответственно. Двойные кружки – начальные положения векторов  $I_n$ . Стратиграфическая система координат. **224** – номер образца.

тических), так и вторичных, более поздних (наложенных) факторов. В нашем случае, в особенности для пород острова Русского, этого мы, к счастью, не наблюдаем: тензорное распределение осей достаточно закономерное и близко к "классическому" для недеформированных осадков. В пользу этого также свидетельствуют и достаточно выдержанные пологие наклоны на всех трех точках рекогносцировочного отбора.

Результаты ступенчатого терморазмагничивания образцов приведены на рис. 3. Обычно вязкая составляющая  $I_n$  незначительна, как правило, наблюдается одна компонента, которая наиболее четко выделяется в интервалах нагрева после 350–400°C. Во многих образцах выделенная выше этой температуры компонента не спадает к началу координат, что может свидетельствовать о наличии еще одной компоненты  $I_n$ . Однако слабость магнитного сигнала, лабораторное подмагничивание, связанное с минералогическими изменениями при высокой температуре, не позволяют идентифицировать ее. В связи с нестабильностью к нагревам, часть образцов была вообще забракована. В таблице 2 приведены основные палеомагнитные характеристики пород изученных разрезов, куда также дополнительно включены (для сравнения) данные по четырем смежным объектам из работы [1]. Сходимость результатов и кучность

распределения направлений в различных системах координат практически не отличаются, поскольку залегание пород почти везде моноклинальное. Однако в случае комбинированного использования метода ступенчатого распрямления складок [27] и метода малых кругов [15] кучность распределения увеличивается. Это достигается при 40–50 %-ном распрямлении для пород о-ва Русского и разреза Три Камня, а также при 34 % и 88 % степени деформации пород (объектов д/о Жемчужина и Подъяпольское) при использовании метода малых кругов. В целом, палеомагнитные результаты по разрезам о-ва Русского и Три Камня оказались близкими к ранее опубликованным данным по этим объектам [7, 29].

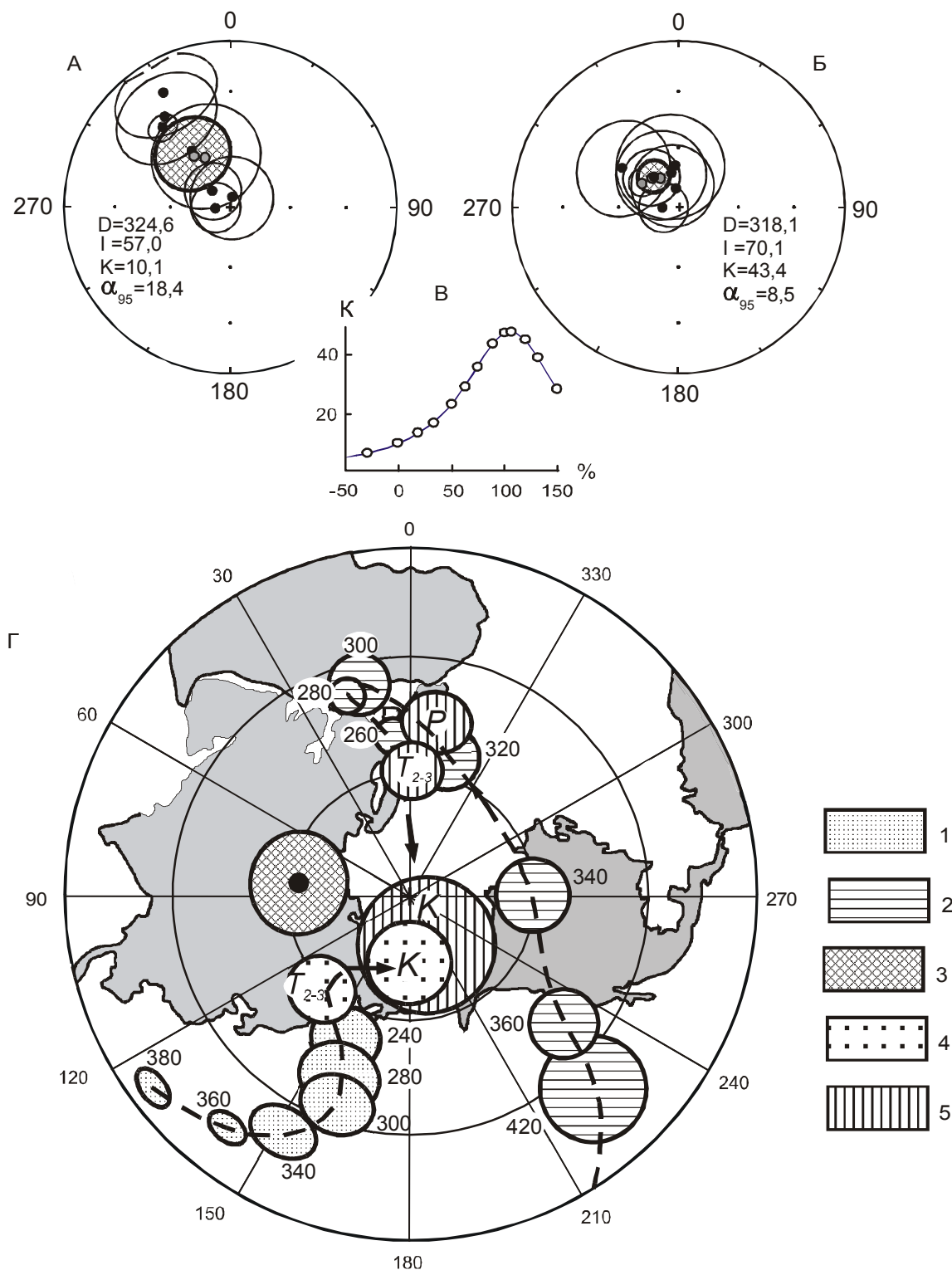
Группирование всех восьми триасовых разрезов (три обнажения в пределах о-ва Русского, ввиду малого количества образцов, объединены при расчете в один объект) дает значительно лучшую сходимость в древней и синскладчатой системах координат (рис. 4 – А, Б, В). Представленное здесь распределение средних направлений выделенных высокотемпературных (> 350–400°) компонент  $I_n$  свидетельствует о том, что в древней системе координат палеомагнитные направления объектов образуют более кучное распределение (величина  $Ks/Kg = 4.30$ ). По всем "формальным" статистическим параметрам различных модификаций тестов складки выделенная

**Таблица 2. Палеомагнитные характеристики триасовых пород Южного Приморья.**

№ п/п	Район	N	ССК				ДСК				МПР и ММК				%
			D	I	K	$\alpha_{95}$	D	I	K	$\alpha_{95}$	D	I	K	$\alpha_{95}$	
1	о-в Русский 43.0 131	14/13	325.6	55.5	10.6	13.4	324.8	58.0	10.9	13.1	325.8	57.3	12.8	12.0	50
2	Три Камня 43.2 132.1	12/10	333.9	60.8	4.1	27.2	37.4	73.8	3.9	28.2	348.9	68.9	4.3	26.7	40
3	СМИД 43.3 132.2	10/9	316.2	34.9	4.6	26.9	297.1	53.9	5.4	24.5	297.1	53.9	5.4	24.5	100
4	Многоудобное 43.5 132.5	13/13	329.9	20.2	4.3	22.8	331.7	71.5	4.4	22.4	331.7	71.5	4.4	22.4	100
5	Раздольное* 43.5 131.9	8/6	4.9	85.2	12	20.6	344.8	78.8	12	20.6	344.8	78.8	-	20.6	0
6	Тавричанка* 43.3 131.8	10/7	269.6	82.4	25	2.3	219.0	77.0	22	13.2	269.4	82.4	-	2.3	100
7	д/о Жемчужина* 43.2 132.2	10/9	319.5	36.1	71	6.2	299.2	71.7	54	7.1	304.8	68.1	-	6.9	34
8	Подъяпольское* 42.9 132.3	9/8	312.2	77.9	17	13.8	321.7	54.5	16	14.5	318.1	69.8	-	14.1	88
	Среднее 43.2 132.1	8	324.6	57.0	10.1	18.4	318.1	71.4	22.2	12.0	318.6	70.1	43.4	8.5	-

*Примечание.* N – число независимо ориентированных штучков изученных / использованных для расчета средних направлений; ССК (ДСК) – современная (древняя) системы координат; МПР (ММК) – методы пропорционального распрямления [27] (малых кругов [15]); D (I) – палеомагнитное склонение (наклонение); K – кучность,  $\alpha_{95}$  – радиус круга доверия (в градусах); % – величина пропорционального распрямления складок для объектов 1–4 (при которой достигается максимальная кучность) и степень деформации (в % от современного угла падения), при которой была приобретена намагниченность для пород объектов 5–8 (помечены звездочкой, данные взяты из работы [1]).





**Рис. 4.** Палеомагнитная характеристика триасовых пород Южного Приморья.

Распределение средних направлений  $I_n$  в изученных разрезах: А (Б) – современная (древняя) системы координат; кружки вокруг точек – овалы доверия, утолщенные овалы – среднее для восьми групп (заштриховано). В – график изменения кучности палеомагнитных направлений при ступенчатом пропорциональном распрямлении слоев; Г – позиции палеополюса и траектории кажущегося движения полюса для Сибирской (1) и Северо-Китайской (2) платформ (по [10], цифры возле овалов – млн лет); 3 – позиция палеополюса для группы разрезов Южного Приморья (с включением данных из [1]; 4, 5 – позиции палеополюса для перми (Р), среднего-верхнего триаса (Т<sub>2-3</sub>) и мела (К). 4 – Сибирская, 5 – Северо-Китайская платформы (по [11, 31]).

высокотемпературная характеристическая компонента является доскладчатой. Естественно, все выводы о направлении интерпретируемой компоненты здесь и далее даются в древней системе координат. Вместе с тем, учитывая характер поведения кривых при терморазмагничивании и различную разрешающую способность методов тестирования, нельзя совершенно исключить наличия в породах и постскладчатой компоненты. В пользу этого может говорить, в частности, дисперсия распределения направлений и перекрытие доверительных интервалов средних направлений  $I_n$  и направления современного (послемелового) перемещения.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Хотя указанное выше обстоятельство заставляет с осторожностью относиться к возможности на данном этапе палеомагнитной изученности района выделить достоверное направление палеомагнитного полюса для триаса, мы, тем не менее, сделали расчет возможной его палеопозиции для сравнения с опубликованными данными по Сибирской и Северо-Китайской платформам [10, 11, 30, 31]. Получены следующие координаты северного палеомагнитного полюса:  $\Lambda = 78,8^\circ$ ;  $\Phi = 61,1^\circ$ ;  $\varphi_m = 54,1^\circ$ ;  $dp = 12,6^\circ$ ;  $dm = 14,6^\circ$  (рис. 4-г). Как видно, рассчитанный полюс располагается в направлении пересечения линии трендов кажущихся траекторий миграции палеополюса для Северного Китая и Сибири, практически на равном удалении от позиций триасового и перекрывающихся юрского (не показан на рисунке) и мелового палеополюсов для этих плит. Очевидно, что, хотя полученный результат и находится в пределах "разумного", нельзя исключить влияния компоненты, отвечающей направлению современного геомагнитного поля, поскольку эта позиция близка к его направлению. Тем более следует отметить, что до настоящего времени в различных публикациях и даже в сводках мировых палеомагнитных данных наблюдаются существенные расхождения в приводимых результатах определения позиций палеомагнитных полюсов. То же относится к построенным различными авторами траекториям их кажущейся миграции для смежных регионов.

Сопоставление полученных нами палеомагнитных результатов с данными по Северному Китаю (как наиболее территориально и геоисторически близкому объекту) выполнено путем использования (интерполяции) траектории кажущегося движения палеополюса (ТКДП) для Северо-Китайской платформы (СКП) [10]. Исходя из предположения о возможной тектонической общности в триасе Южного

Приморья и СВ Китая, сравнивались полученные и ожидаемые (возможные) направления (D, I) высокотемпературных стабильных компонент  $I_n$  в древней системе координат, исходя из соответствующих позиций палеополюса для СКП. Пересчет с координат «китайского» средне-, верхнетриасового полюса, приведенного на рисунке ( $\Lambda = 357,0^\circ$ ;  $\Phi = 59,5^\circ$ ;  $\alpha_{95} = 3,1^\circ$ , среднее для 14 районов [31]) на координаты Южного Приморья ( $\varphi = 43,2^\circ$ ,  $\lambda = 132,1^\circ$ ) дает направление  $D = 337,7$ ;  $I = 34,8$ ;  $\varphi_m = 19,1$ . По [18, 19] определен возможный разворот и широтное смещение геоблока Южного Приморья относительно СКП. Вращение против часовой стрелки составляет  $19,1^\circ \pm 37,7^\circ$ , смещение к северу – на  $35,3^\circ \pm 12,9^\circ$ , что статистически представляет собой незначимое различие. Вследствие такой неопределенности возможные конкретные варианты эйлеровых вращений геоблоков здесь рассматривать преждевременно и нецелесообразно. Вместе с тем, не придавая тектонической интерпретации определяющего значения (вследствие указанных выше причин – вероятного присутствия постскладчатой компоненты и, в целом, рекогносцировочного характера проведенных исследований), отметим, что в ранее опубликованных работах также приводились основанные на палеомагнитных определениях подтверждения разворота южно-приморского блока против часовой стрелки (на величину от  $13,5^\circ \pm 15,7^\circ$  [2] до  $52,8^\circ \pm 10,6^\circ$  [1] относительно СКП). Учитывая, что эти данные относились как к палеозойским, так и к мезозойским структурно-формационным зонам, можно достаточно уверенно говорить о позднемезозойском этапе аккреционно-коллизийного складкообразования в регионе, определившем общее (вероятно позднемеловое) перемещение многих комплексов пород в процессе значительных тектонических перестроек.

С точки зрения использования полученных данных для целей магнитостратиграфии, приведенные палеомагнитные определения по своей представительности (в части детальности опробования объектов) значительно уступают достигнутому уровню палеонтологического расчленения триасовых толщ. Ввиду рекогносцировочного характера наших палеомагнитных исследований на о-ве Русском и разрезе Три Камня, а также других точках Южного Приморья, учитывая ранее опубликованные результаты по некоторым из этих объектов, где не удалось выделить и доказать первичную природу намагниченности триасовых пород [7], можно констатировать, что в настоящее время, к сожалению, невозможно провести сколько-нибудь обоснованную детальную магнитостратиграфическую корреляцию разрезов. Необходимо значительно расширить круг изучаемых

районов, существенно улучшив статистику, на базе которой возможно более точное сопоставление отдельных объектов. Соответственно, в случае триасовых (и не только триасовых) пород Южного Приморья, как и всего Дальневосточного региона, при дальнейших исследованиях предстоит более детально оценить степень сохранности доскладчатых компонент  $I_n$  в спектре естественной остаточной намагниченности, а также определить роль синскладчатой и вклад послескладчатой намагниченностей при формировании различных геотектонических структур во времени и пространстве. Только после этого возможно проведение комплексных исследований по созданию обоснованной региональной магнитостратиграфической шкалы для мезозоя.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных на о-ве Русском и других объектах Южного Приморья комплексных петро-, палеомагнитных и биостратиграфических исследований установлены основные параметры анизотропии магнитной восприимчивости и получены предварительные палеомагнитные характеристики терригенных комплексов, определенных по данным палеонтологических определений как нижне- и среднетриасовые.

Установлена незначительная по абсолютной величине (1–2 %) магнитная анизотропия для всех изученных осадочных пород, которые сохранили первоначальный (обусловленный седиментогенезом и формированием постседиментационной остаточной намагниченности) слоистый тип **AMS**. На ряде разрезов (о-в Русский, карьер СМВД) отмечается совпадение плоскостей слоистости и магнитной анизотропии. Влияние последней на распределение векторов  $I_n$  не обнаружено.

Результаты магнитной чистки на базе ступенчатого терморазмагничивания позволили выявить одну высокотемпературную характеристическую компоненту  $I_n$ , которая на основе различных модификаций теста складки определена как доскладчатая. При этом не исключается возможное присутствие в составе  $I_n$  постскладчатой компоненты, которую трудно выявить вследствие «плохой» геометрии складок (из-за пологих углов наклона слоев направления  $I_n$  в древней и современной системах координат близки). Рассчитан палеомагнитный полюс для триаса Южного Приморья, который занимает промежуточное положение между позициями соответствующего палеополюса для Сибирской и Северо-Китайской платформ, что, наряду с перемагничиванием, может быть также обусловлено тектоническим вращением южно-приморского геоблока.

Для магнитостратиграфической корреляции триасовых разрезов с использованием палеомагнитных и биостратиграфических данных необходимы дополнительные, более детальные исследования.

Авторы выражают благодарность Р. Энкину и С. В. Шипунову за предоставленную возможность использовать их программы анализа палеомагнитных данных, а также Д. М. Печерскому и Л. И. Попеко за ценные критические замечания при подготовке статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 01-05-64046, 01-05-64599).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов М.Л., Гурарий Г.З., Крежовских О.А., Фейн А.Г. Палеомагнитные исследования перми и мезозоя Южного Приморья // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М.: Наука, 1999. С. 181–195.
2. Бретштейн Ю.С., Гурарий Г.З., Печерский Д.М. Палеомагнетизм палеозойских пород террейнов юго-запада Приморья // Тихоокеан. геология. 1997. Т.16, № 4. С. 41–63.
3. Бурий Г. И. Нижнетриасовые конодонты Южного Приморья. М.: Наука, 1979. 143 с.
4. Динер К. Триасовые фауны цефалопод Приморской области // Труды Геол. Ком. 1895. Т.14, № 13. С. 1–59.
5. Завойский В.Н. Анализ анизотропии магнитной восприимчивости горных пород // Физика Земли. 1986. № 5. С. 107–115.
6. Захаров Ю. Д. Биостратиграфия и аммоноидеи нижнего триаса Южного Приморья. М.: Наука, 1968. 175 с.
7. Захаров Ю. Д., Сокарев А. Н. Биостратиграфия и палеомагнетизм перми и триаса Евразии. М.: Наука, 1991. 135 с.
8. Кипарисова Л. Д. Палеонтологическое обоснование стратиграфии триасовых отложений Приморского края. Ч.1. Головоногие моллюски // Труды ВСЕГЕИ, нов. сер. Т. 48. Л.:Госгеолтехиздат, 1961. 271 с.
9. Климова А. В., Бретштейн Ю. С., Завойский В. Н., Гончаров И. М. Анизотропия магнитной восприимчивости пород террейновых комплексов Южного Приморья // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. М.: ОИФЗ РАН, 1996. С. 50–52.
10. Печерский Д. М., Диденко А. Н. Палеоазиатский океан. М.:ОИФЗ РАН, 1995. 298 с.
11. Храмов А.Н. Стандартные ряды палеомагнитных полюсов для плит Северной Евразии: связь с проблемами палеогеодинамики территории СССР // Палеомагнетизм и палеогеодинамика территории СССР. Л.: ВНИГРИ, 1991. С. 135–149.
12. Храмов А. Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
13. Шипунов С.В. Основы палеомагнитного анализа. Теория и практика. М.: Наука, 1993. 160 с.
14. Шипунов С.В. Новый тест складки в палеомагнетизме (реабилитация теста выравнивания) // Физика Земли. 1995. № 4. С. 67–74.
15. Шипунов С.В. Синскладчатая намагниченность: оценка направления и геологическое приложение // Физика Земли. 1995. № 11. С.40–47.

16. Шипунов С.В., Алексютин М.В., Левашова Н.М. Вопросы палеомагнитного анализа. М.: Наука, 1996. 61 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 504).
17. Шипунов С. В., Бретштейн Ю. С. Проблемы компонентного анализа в палеомагнетизме // Физика Земли. 1999. №3. С. 52–61.
18. Beck M. E. Paleomagnetic record of plate-margin tectonic processes along the western edge of North America // J. Geoph. Res. 1980. V. 85, N B12. P. 7115–7131.
19. Demarest H. H. Error analysis for the determination of tectonic rotation from paleomagnetic data // J. Geoph. Res. 1983. V. 88, N b5. P. 4321–4328.
20. Dobson J., Heller F. Remagnetization in southeast China and the collision and suturing of the Huanan and Yangtze Blocks // Earth and Planetary Science Letters. 1992. N 111. P.11–21.
21. Halls H. C. The use of converging remagnetization circles in paleomagnetism // Phys. Earth Planet. Inter. 1978. V. 16. P. 1–11.
22. Hrouda F. Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics // Geophys. Surv. 1982. N 5. P. 37–82.
23. Kirschvink J. L. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data // Geophys. J. R. Astr. Soc. V. 62. P. 699–718.
24. McElhinny M., Opdyke N. Remagnetization hypothesis discounted: a paleomagnetic study of the Trenton Limestone, New York State // Geol. Soc Am. Bul. 1973. V. 84, N 1. P. 3697–3708.
25. McFadden P. L. A new fold test for paleomagnetic studies // Geophys. J. Int. 1990. V. 103. P. 163–169.
26. Wang Z., Van der Voo R. Pervasive Remagnetization of Paleozoic Rocks Acquired at the time of Mesozoic Folding in the South China Block // J. Geoph. Res. 1993. V.98. N B2. P. 1729–1741.
27. Watson G.S., Enkin R.J. The fold test in paleomagnetism as parameter estimation problem // Geophys. Res. Lett. 1993. V. 20. P. 2135–2137.
28. Zakharov Y. D. Ammonoid evolution and the problem of the stage and substage division of the Lower Triassic // Mem. Geol. (Lausanne). 1997. N 30. P. 121–136.
29. Zakharov Y. D., Sokarev A.N. Permian-Triassic paleomagnetism of Eurasia // Saito Ho-on Kai Spec. Pub. 1991. N 3 (Proceedings of Shallow Tethys 3, Sendai, 1990). P. 313–323.
30. 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.
31. Zhenyu Yang, J. Besse. New Mesozoic apparent polar wander path for south China: Tectonic consequences // Journal of Geophysical Research 2001. V. 106, N. B5. P. 8493–8520.
32. Zijdeveld J.D.A. A.c. Demagnetization of rocks: analysis of results // Methods in Palaeomagnetism / Ed. D.W. Collinson, K. M. Kreer. Amsterdam, a.o., Elsevier Publ. Co. 1967. P. 254–286.

Поступила в редакцию 27 ноября 2001 г.

Рекомендована к печати Ю.Ф. Малышевым

***Yu.S. Bretshtein, Yu.D. Zakharov, A.V. Klimova***

### **Paleomagnetic study of Triassic deposits in Southern Primorye (preliminary results)**

Reconnaissance paleomagnetic investigations of Early Triassic terrigenous complexes in the four sections of Southern Primorye have been conducted. They are comparable with the previous results for other Triassic structures, and also with biostratigraphic data. Petromagnetic characteristics have been studied, specifically the parameters of magnetic anisotropy. They give evidence of the absence of substantial postsedimentary tectonic deformations, which influenced the character of distribution of magnetization. The available paleomagnetic data have been proved by high-temperature gradual thermal demagnetization with employment of component analysis and modern graphic and analytical test methods, which involve the distinguishing of In characteristic components and the defining of their nature. A spread of definitions for individual geological sections has been established, which is due to the possible presence of the In syn- and postfolding components. The calculated paleomagnetic pole for the Triassic in Southern Primorye is located at the crossing of trends of the apparent paleopole migration for the Siberian and North China platforms and is close to the position of the present-day geomagnetic pole.