

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКОГО ЭТАПА  
ДЕФОРМАЦИЙ В ЮЖНОМ ПРИМОРЬЕ

С.В. Шипунов<sup>1</sup>, Ю.С. Бретштейн<sup>2</sup>, А.В. Журавлев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск

<sup>3</sup>Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 31 мая 2007 г.

Проведен анализ имеющихся палеомагнитных данных по Южному Приморью. Показано, что намагниченность в изученных объектах возникла при региональном перемагничивании приблизительно во время позднемезозойской складчатости и может трактоваться как синскладчатая. На основе анализа параметра, характеризующего степень завершенности складчатости ко времени регионального перемагничивания, показана неравномерность разгрузки позднемезозойских горизонтальных напряжений. Полученные оценки степени завершенности складчатости не противоречат имеющимся геологическим данным и хорошо согласуются с моделью формирования тектонических деформаций В.Г. Талицкого.

**Ключевые слова:** палеомагнетизм, складчатость, синскладчатая намагниченность, Южное Приморье.

**ВВЕДЕНИЕ**

Существовавшие до недавнего времени способы интерпретации палеомагнитных данных в тектонике базировались на палеомагнитных определениях, основанных на векторах доскладчатой (в некоторых случаях удавалось обосновать и первичность) намагниченности (табл. 1). При этом послескладчатая намагниченность рассматривалась как “паразитная”, от которой следует избавляться в процессе лабораторных испытаний палеомагнитных коллекций. Сравнительно недавно в сферу интересов палеомагнитологии и ее геологических приложений стали привлекать как послескладчатую намагниченность, так и специфический вид намагниченности – синскладчатую, т.е. намагниченность, образовавшуюся на некоторой промежуточной стадии складкообразования [25, 28, 30]. Примеры успешного применения синскладчатой намагниченности имеются для складчатых областей как в России: на Урале [11, 17] и на Северо-Востоке [1], так и за рубежом [20, 22, 27, 31].

В последнее десятилетие появилось довольно много новых качественных палеомагнитных данных по складчатым областям Южного Приморья [2–4,

18], где отмечается длительность процесса складкообразования и промежуточный возраст намагниченности между различными фазами складчатости, т.е. синскладчатая намагниченность (см. ниже). В этой статье предпринята попытка обобщить эти данные с целью их использования для анализа процесса складкообразования в Южном Приморье.

**КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ  
ХАРАКТЕРИСТИКА**

В тектоническом отношении изученные объекты расположены в пределах Солонкерского и Бурей-Ханкайского орогенных поясов и приурочены к пермским, триасовым и юрским вулканогенно-осадочным комплексам пород, слагающим мезозойские (домеловые) структуры и перекрывающим различные по генезису допермские террейны. Триасово-юрские образования подвергались различным по интенсивности и времени проявления деформациям [5].

Лаоелин-Гродековский террейн (ЛГ) (рис. 1) Солонкерского орогенного пояса представляет собой фрагмент позднепалеозойской островной дуги. Здесь на докембрийском и раннепалеозойском интрузивном и вулканогенно-терригенном основании залега-

Таблица 1. Соотношение времени возникновения намагниченности и складкообразования.

	Время перемагничивания (тест складки)	Время складкообразования (тест времени складчатости)
1	До образования складки	После перемагничивания
2	После образования складки	До перемагничивания
3	Во время образования складки (на промежуточном этапе складкообразования)	Примерно в то же время

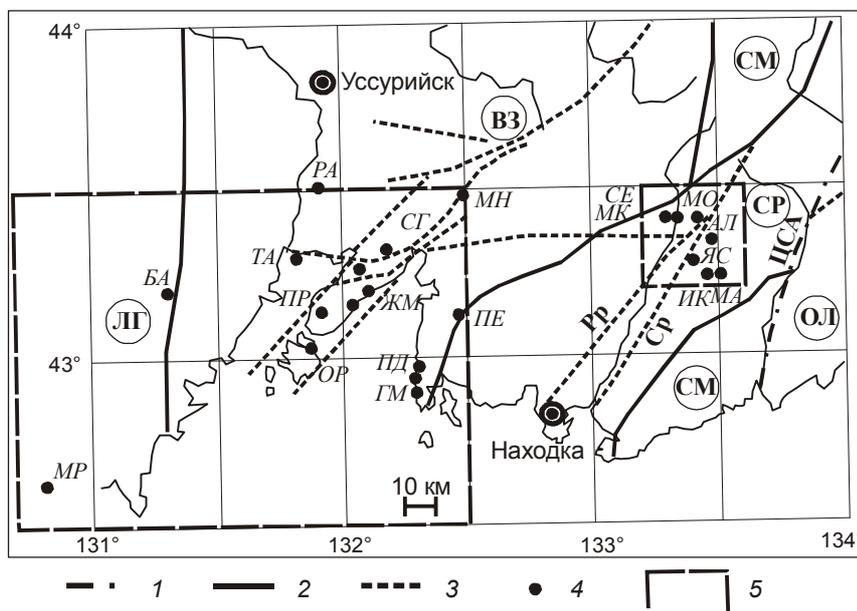


Рис. 1. Схема расположения объектов исследований в Южном Приморье (элементы тектоники по [9, 14, 23, 24] с изменениями).

1 – Центральный Сихотэ-Алинский разлом (ЦСА); 2 – границы террейнов; 3 – разломные зоны, в том числе являющиеся границами блоков внутри террейнов (Рр – Ратный, Ср – Сучанский); 4 – объекты палеомагнитных исследований (расшифровку буквенных обозначений курсивом – см. в табл. 2); 5 – участки, изображенные на рис. 4. Основные террейны (в кружках): ЛГ – Лаоэлин-Гродековский, ВЗ – Вознесенский, Ср – Сергеевский, СМ – Самаркинский, ОЛ – Ольгинский (Таухинский).

ют карбонатно-терригенные и вулканогенно-осадочные формации пермского возраста, прорванные позднепермскими и триасово-юрскими интрузиями основного и кислого состава. Предполагается аккреционная и островодужная природа осадочно-вулканогенных комплексов, а коллизионный этап датируется по гранитоидам как триасово-юрский [14].

Вознесенский террейн (ВЗ) – фрагмент раннепалеозойской пассивной окраины – причленен с востока к Лаоэлин-Гродековскому [14]. Здесь на докембрийско-раннепалеозойском кристаллическом основании (габброиды и гранитоиды) залегают раннепалеозойские карбонатно-терригенные, пермские и мезозойские вулканогенно-терригенные образования. Разрывные нарушения в южной части террейна имеют две преобладающих ориентировки – северо-восточную и субширотную.

Сергеевский террейн (Ср) расположен в юго-восточной части рассматриваемой территории и сформирован раннепалеозойскими кристаллическими и пермско-нижнемеловыми вулканогенно-осадочными породами, залегающими в виде тектонических покровов и клиньев выжимания на юрской аккреционной призмке. Образования последней слагают в Южном Приморье антиформы северо-восточного простирания [14]. То же простирание преобладает и у осей деформаций сжатия вдоль Сучанского (Ср) и

Ратного (Рр) разломов в восточной части террейна. Для Сучанского разлома предполагается кинематика левого сдвига. В западном блоке террейна характерны оси деформаций как северо-восточного, так и субширотного простирания [9].

С востока Сергеевский террейн граничит по Центральному Сихотэ-Алинскому разлому (ЦСА) с Ольгинским (Таухинским) террейном (ОЛ) Сихотэ-Алинского орогенного пояса и по надвигу – с фрагментом Самаркинского террейна (СМ) среднеюрско-раннемелового возраста. Предполагается, что образования Самаркинского террейна перекрыты на юге образованиями Сергеевского террейна и выходят на поверхность только в виде фрагмента [14].

Террейны, формирующие основной “каркас” Бурея-Ханкайского палеозойского орогенного пояса (супертеррейна [23]) или Ханкайской аккреционной системы [14], в мезозое представляли собой относительно консолидированный тектонический блок, разделенный активными разломными зонами. Пермско-мезозойские образования подверглись наиболее интенсивным деформациям вдоль ослабленных зон (границ террейнов и других крупных тектонических нарушений) внутри Ханкайской аккреционной системы [23, 24]. Большинство таких зон локализованной деформации (по [12]) имеет северо-восточное или близкое к нему простирание и кинематику взбросо-

надвигов и левых сдвигов [9], что отвечает общему режиму сжатия в направлении юго-юго-восток – северо-северо-запад. Возраст наиболее интенсивных позднепалеозойско-мезозойских деформаций оценивается как ранне-поздне меловой [5, 7].

Характер деформаций различных образований различается: более компетентные [12, 13] (т.е. жесткие, способные при определенных условиях противостоять давлению) породы – пермские карбонатные, эффузивные и, частично, терригенные породы – часто образуют клинья выжимания, а менее компетентные (т.е. более пластичные, способные к пластическим деформациям) терригенные породы пермского и мезозойского возраста смяты в складки.

Палеомагнитные данные, которые используются и анализируются в данной статье, взяты из опубликованных ранее работ [2–4, 18] и привязаны к конкретным геологическим разрезам Южного Приморья (табл. 2).

#### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ

В палеомагнетизме широко используются понятия до- и послескладчатой намагниченности. Такая интерпретация палеомагнитных данных основана на датировании времени образования изучаемых компонент намагниченности по отношению к времени образования складчатых структур с помощью так называемого теста складки [10, 21]. При этом предполагается, что повороты пластов происходили вокруг горизонтальной оси [19]. В практическом использовании это часто выражается, например, словами: “наибольшая кучность векторов достигается при стопроцентном распрямлении складки”, т.е. в древней (стратиграфической) системе координат. Исходя из этого, все компоненты намагниченности можно трактовать как компоненты, возникшие в то или иное время по отношению к складкообразованию. И в этом смысле понятия до-, син- и послескладчатости лишь характеризуют степень завершенности складчатых деформаций горных пород  $f$  (процентное отношение углов падения пластов в “момент” возникновения вторичной синскладчатой намагниченности к современным углам падения).

Таким образом, может быть использован единообразный подход к анализу палеомагнитных данных. Можно работать с намагниченностью неизвестного по отношению к складчатости возраста, анализ совокупности векторов которой в результате покажет, в какой момент складкообразования возникла та или иная компонента: до, во время или после складкообразования.

Такой подход к анализу палеомагнитных данных, предложенный [25, 30] и развитый в [16, 28],

состоит в следующем. При пересчете векторов намагниченности из древней системы координат в современную вектор намагниченности смещается по дуге малого круга, длина которой равна углу падения пласта. Если компонента намагниченности возникла на некоторой стадии складкообразования, ее истинное направление, соответствующее реальному направлению геомагнитного поля в момент образования намагниченности, должно лежать где-то на дуге этого малого круга. Тогда, если одна и та же (по направлению и времени образования) компонента синскладчатой намагниченности присутствует в породах с различными залеганиями, область пересечения малых кругов определит направление этой компоненты [8, 16, 28]. При этом не важно, на какой стадии складкообразования в каждом из разрезов она возникла – до, во время или после. В результате такой процедуры могут быть оценены и углы падения пластов в момент образования синскладчатой намагниченности.

При проведении стандартных процедур палеомагнитного анализа по результатам лабораторных испытаний палеомагнитных коллекций и применения компонентного анализа получают ряд компонент естественной остаточной намагниченности, к которым применяют тест складки для оценки времени образования этих компонент намагниченности. Одним из вариантов вывода при применении теста складки является возможность интерпретировать исходные данные как наличие либо суммы до- и послескладчатой компонент намагниченности, либо как возможное присутствие синскладчатой намагниченности (см. также третью строку табл. 1).

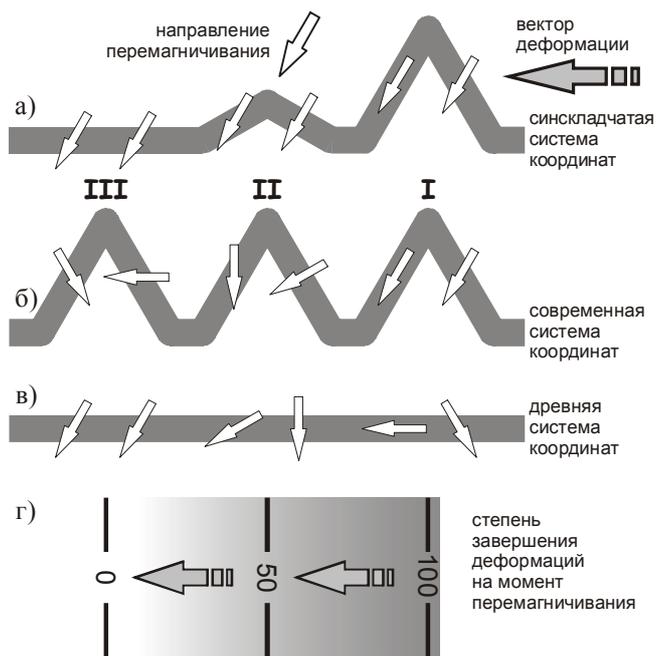
Зачастую образование вторичной намагниченности и образование складок вызваны одной и той же причиной, например, коллизией двух блоков земной коры (как это показано для позднего палеозоя Южного Урала [17]). Поэтому время этих двух процессов приблизительно совпадает. При этом интервал возникновения вторичной намагниченности может быть значительно уже интервала, соответствующего временному интервалу процесса образования и миграции деформаций (складчатости). В этом случае одна и та же компонента вторичной намагниченности записана в разных районах одной и той же складчатой области в разное, по отношению к складкообразованию, время: до, во время или после складкообразования (рис. 2).

В рамках такой модели возникновения складчатости и вторичных компонент намагниченности возможно датировать процесс складкообразования по отношению к времени возникновения вторичной намагниченности (табл. 1) и уточнить время складча-

Таблица 2. Объекты и результаты палеомагнитного анализа.

Объект	Координаты объектов		Элементы залегания пластов		Ссыл-ка	M	NR	Dg	Ig	kg	Ds	Is	ks	FT	Dsyn	Isyn	ksyn	f, %
	Долгота	Широта	Азимут падения	Угол падения														
<b>Пермь</b>																		
БА1 п. Барабаш	131.30	43.20	126	44	[2]	8	R	15.7	49.9	21	67.5	44.9	21	Post	15.1	50.1		100
БА2 п. Барабаш			154	70	[2]	3	R	355.2	57.7	12	136.8	49.2	12	Post	355.2	57.7		100
ГМ1 Голый мыс (п-в Дунай)	132.29	42.91	356	46	[2]	3	R	329.4	79.9	10	350.7	34.4	10		347.5	58.5		52
ИК р. Икрянка	133.45	43.23	55	17	[2]	5	N	293.7	85.9	9	41.8	74.7	9		24.2	83.2		53
МА руч. Малявка (р. Икрянка)	133.52	43.23	325	43	[2]	4	N	103.1	65.5	38	0.1	61.2	38		0.1	61.2		0
МН1 п. Многоудобное	132.48	43.48	150	59	[2]	3	N	321.8	35.7	60	205.2	81.8	61		317.9	56.3		64
МР кар. Мрамор	130.80	42.60	86	42	[17]	71	NR	7.9	54.4	1232	44.0	31.3	246	Post	7.9	54.4		100
ПД1 с. Подъяпольское (п-в Дунай)	132.31	42.98	336	54	[2]	5	R	148.7	67.0	23	341.5	58.7	23	Pre	341.5	58.7		0
ПД2 с. Подъяпольское (п-в Дунай)			12	45		2	R	245.4	55.3		318.8	55.2		Pre	318.8	55.2		0
ПР1 Первая Речка (г. Владивосток)	131.92	43.13	353	23	[2]	9	R	312.3	57.8	18	326.6	38.5	19	Post	317.8	52.9		73
ПР2 Первая Речка (г. Владивосток)			294	40		20	R	308.1	57.9	40	301.7	18.8	27	Post	308.1	57.9		100
ЯС с. Ястреборка (р. Икрянка)	133.40	43.27	152	88	[2]	5	N	306.5	49.9	24	172.4	37.4	24		304.2	53.6		96
<b>Среднее</b>						<b>12</b>		<b>330.2</b>	<b>71.4</b>	<b>8.2</b>	<b>0.1</b>	<b>70.4</b>	<b>3.8</b>		<b>338.4</b>	<b>60.7</b>	<b>26.6</b>	
<b>Триас</b>																		
ГМ2 Голый мыс (п-в Дунай)	132.29	42.91	299	24	[2]	5	N	30.9	72.4	10	337.1	61.0	12		337.1	61.0		0
ЖМ	132.11	43.19	152	38	[2]	9	N	319.5	36.1	71	299.2	71.7	54		314.2	55.6		47
МН п. Многоудобное	132.48	43.48	149	51	[4]	13	N	329.9	20.2	4	331.7	71.5	4	?	330.6	56.9		28
МН2 п. Многоудобное	132.48	43.48	136	24	[2]	3	N	4.8	57.3	17	47.5	66.0	18	?	4.8	57.3		100
ОР о-в Русский	131.90	43.05	157	3	[4]	13	N	325.6	55.5	11	324.8	58.0	11		325.4	56.3		66
ПД3 с. Подъяпольское (п-в Дунай)	132.31	42.98	327	24	[2]	8	N	312.2	77.9	17	321.7	54.5	16		321.4	56.9		10
РА с. Раздольное	131.90	43.50	331	7	[2]	6	N	4.9	85.2	12	344.8	78.8	12		344.8	78.8		0
СМ кар. СМВД	132.18	43.32	172	27	[4]	9	N	316.2	34.9	5	297.1	53.9	5		306.0	48.0		35
ТА1 п-в Тавричанка (м. Речной)	131.82	43.29	183	10	[2]	7	N	269.6	82.4	25	219.0	77.0	22	Sum	269.6	82.4		100
ТА2 п-в Тавричанка (м. Речной)			244	8		5	N	111.4	64.4	17	126.3	68.9	27	Sum	126.3	68.9		0
ТК м. Три камня	132.06	43.15	119	27	[4]	10	N	333.9	60.8	4	37.4	73.8	4		333.9	60.8		100
<b>Среднее</b>						<b>11</b>		<b>334.9</b>	<b>64.7</b>	<b>8.4</b>	<b>332.1</b>	<b>75.2</b>	<b>15.3</b>		<b>329.1</b>	<b>66.7</b>	<b>17.3</b>	
<b>Юра - Мел</b>																		
АЛ р. Алексеевка	133.48	43.34	344	15	[2]	3	N	348.6	57.7	42	347.3	42.7	17	Post	348.5	57.1		96
МК руч. Мытнин Ключ	133.30	43.40	305	24	[2]	17	N	13.0	82.1	7	320.2	61.8	7		320.2	61.8		0
МО с. Монакино	133.42	43.40	63	7	[2]	5	N	339.3	59.7	27	351.1	58.1	30		339.3	59.7		100
ПЕ1 р. Петровка			69	22		7	N	334.0	69.8	56	22.3	61.7	39	Post	334.0	69.8		100
ПЕ2 р. Петровка	132.47	43.13	3	15	[2]	6	N	347.0	79.6	49	356.3	65.3	34	Post	356.3	65.3		0
ПЕ3 р. Петровка			331	25		7	N	344.7	70.2	44	337.8	45.7	80	Post	339.5	56.6		44
СГ п. Сад-Город	132.07	43.26	305	20	[2]	12	N	334.5	82.0	9	313.4	62.8	8		313.4	62.8		0
СЕ1 дор. Сергеевка-Молчановка			9	77		7	N	326.4	66.3	68	353.4	-4.2	36	Post	338.2	58.0		87
СЕ2 дор. Сергеевка-Молчановка	133.34	43.40	271	39	[2]	3	N	16.0	61.5	65	316.0	49.6	3	Post	332.4	58.4		38
СЛ дор. Сергеевка-Лазо	133.34	43.40	205	80	[2]	4	N	352.6	62.0	46	223.0	33.2	17		350.6	63.5		98
<b>Среднее</b>						<b>10</b>		<b>347.4</b>	<b>69.7</b>	<b>56.1</b>	<b>333.5</b>	<b>55.9</b>	<b>6.0</b>		<b>337.3</b>	<b>61.8</b>	<b>119.2</b>	
<b>Общее среднее</b>						<b>33</b>		<b>337.3</b>	<b>68.8</b>	<b>11.6</b>	<b>340.8</b>	<b>68.3</b>	<b>5.9</b>		<b>335.4</b>	<b>63.1</b>	<b>28.7</b>	

Примечание. М – количество векторов, вошедших в статистику; N, R – полярность (N – прямая, R – обратная); D, I, k – склонение, наклонение и кучность векторов намагниченности (s, g, syn – древняя, современная и синскладчатая системы координат); FT – результат применения теста складки на локальном уровне (Pre, Post, Sum – до-, послескладчатая, сумма компонент или синскладчатая); f – процентное отношение углов наклона пластов в момент перемагничивания к современным углам падения (степень завершенности складчатости).



**Рис. 2.** Схема распространения складчатости (из [29] с изменениями и дополнениями).

а) промежуточная стадия складкообразования, перемагничивание пород; б) завершение складкообразования и соответствующие повороты векторов вторичной намагниченности; в) разворот в древнюю систему координат при проведении теста складки; г) схема (в плане) распространения складчатости (цифры – степень завершения складкообразования к моменту перемагничивания). Римскими цифрами на рисунке обозначены участки: I – складчатость завершена до перемагничивания (векторы намагниченности совпадают в современной системе координат); II – перемагничивание произошло на промежуточной стадии складкообразования (векторы намагниченности совпадают в промежуточной (синскладчатой) системе координат (а); после этого складкообразование завершилось; III – к моменту перемагничивания складчатость еще не началась.

тых деформаций в породах Южного Приморья и с помощью параметра  $f$ , характеризующего степень завершения складчатости к моменту перемагничивания пород, проследить ее миграцию по латерали.

Как показало численное моделирование для различных складчатых структур [8], параметр  $f$  определяется в среднем правильно, но разброс может достигать 30 процентов, поэтому это приближенная характеристика. Опыт использования анализа синскладчатости на Южном Урале показывает, что этот параметр довольно устойчив к изменениям в наборе данных. Например, если для нескольких объектов получены некоторые величины этого параметра, то при селекции (например, исключении

из рассмотрения не очень большого числа объектов) величина  $f$  для оставшихся объектов будет приблизительно такой же.

Если использовать только те палеомагнитные данные, для которых тест складки говорит, что намагниченность либо до-, либо послескладчатая, то на качественном уровне картина распространения складчатости не будет иметь существенных (значимых) отличий от той, что получена при полном наборе исходных данных (т.е. вместе с синскладчатыми). Примером может служить анализ палеомагнитных данных подобным способом по Аппалачам [8, 17].

### ИСХОДНЫЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ

При анализе складчатости Южного Приморья были использованы имеющиеся к настоящему времени палеомагнитные данные [2–4, 18], относящиеся к отложениям возрастного интервала от перми до мела (табл. 2).

В статье [3] отмечается, что представленные палеомагнитные данные могут свидетельствовать о длительности процесса складкообразования и промежуточном возрасте намагниченности между различными фазами складчатости, т.е. о синскладчатости намагниченности.

В результате анализа палеомагнитных данных в статье [2] авторами сделаны следующие выводы.

1. Отмечается полное перемагничивание горных пород всех изученных толщ, которое произошло приблизительно в одно и то же время. Перемагничивание связано с процессом деформации изученных пород, в некоторых случаях на промежуточной стадии складкообразования. Не выявлено никаких систематических различий в направлениях намагниченности между породами разного возраста (пермь–мел). Изложенная картина сохраняется при сравнении западной и восточной групп разрезов и при рассмотрении разрезов только с крутыми элементами залегания пород.

2. Перемагничивание пород произошло позже как накопления самых молодых изученных толщ, так и юрско-раннемеловых фаз деформаций и, хотя бы частично, должно было происходить в позднем меле.

3. Перемагничивание увязывается с интенсивным вулканизмом вдоль Тихоокеанского побережья, затронувшим Южное Приморье во второй половине мела. Оно происходило под влиянием прогрева и гидротермальной деятельности, связанных с вулканизмом, после чего деформирование перемагнитных толщ было продолжено.

В работе [18] проанализированы палеомагнитные данные по единственному разрезу МР (Мрамор),

для которого отмечен послескладчатый возраст намагниченности.

Наконец, в работе [4] также обсуждается присутствие синскладчатой компоненты намагниченности, т.е. возможность интерпретации времени возникновения намагниченности на промежуточной стадии складкообразования.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНОГО АНАЛИЗА

В табл. 2 и на рис. 3 представлены палеомагнитные данные, использованные для анализа. Из всех имеющихся данных были выбраны только те, которые соответствуют приблизительно моноклиальному залеганию пластов горных пород (исключены средние направления и направления для складчатых объектов). Однако оставлены объекты, для которых результатом применения теста складки являются либо доскладчатость, либо послескладчатость намагниченности. При подготовке данных для дальнейшего анализа для них были вычислены (или перепроверены) элементы залегания пластов пород (азимут и угол падения пластов) по программе Р. Энкина PMSALC, так что координаты палеомагнитных векторов в современной и древней системах координат и элементы залегания пластов находятся в строгом соответствии.

Для объектов с несколькими моноклиальными залеганиями был выполнен тест складки на локальном уровне в модификации [26] (табл. 2). Результаты его применения: для объектов БА, ПР, ПЕ, СЕ – намагниченность послескладчатая (т.е. складчатость уже завершилась ко времени перемагничивания –  $f = 100\%$ ), для объектов ПД – намагниченность доскладчатая (т.е. складчатость еще не начиналась ко времени перемагничивания –  $f = 0\%$ ). Для объекта ТА тестом складки обнаружена как до-, так и послескладчатая компоненты намагниченности; такой результат тестирования может интерпретироваться как наличие синскладчатой намагниченности [28].

Из дальнейшего рассмотрения исключены данные по объекту Грибное [3], направления намагниченности (склонение и наклонение) для которого  $D_s = 352.4$ ,  $I_s = -29.8$  в древней системе координат и  $D_g = 359.2$ ,  $I_g = 6.5$  в современной резко отличаются от векторов намагниченности для остальных рассматриваемых объектов (см. табл. 2). Вероятно, это действительно древнее направление пермского возраста, как это интерпретируется авторами статьи [3].

Для объекта МР в статье [18] отмечена послескладчатая намагниченность при моноклиальном залегании с небольшим разбросом нормалей к пластам (использованы различные модификации теста

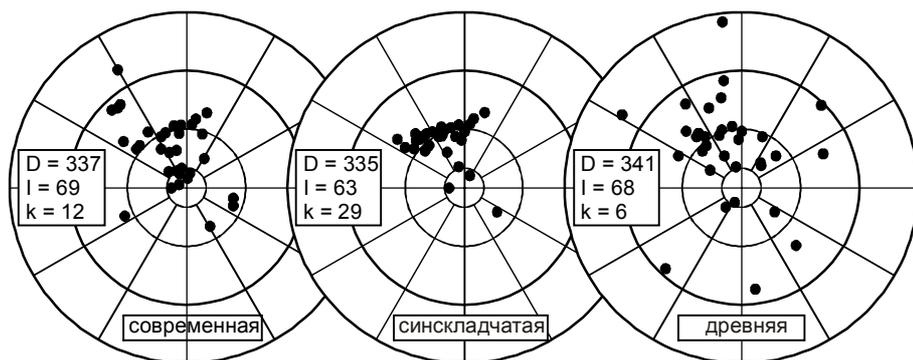
складки [15, 19, 26]). Для объекта АЛ отношение кучностей  $kg/ks = 2.5$ , и, по-видимому, это также может свидетельствовать о послескладчатости намагниченности ( $f = 100\%$ ). По этой причине объекты МР и АЛ оставлены в рассмотрении.

Следует все же отметить, что количество векторов для используемых в тесте складки объектов – мало (табл. 2), поэтому эти результаты можно рассматривать как предварительные перед дальнейшим анализом.

Результаты применения теста складки не исключают возможности интерпретации данных как синскладчатой намагниченности, возникшей на разных (в том числе, на некоторых промежуточных) этапах складчатости. Причем применение различных модификаций теста складки на локальном уровне показывает (табл. 2, колонка FT), что намагниченность могла возникнуть до, во время или после складкообразования.

Анализировались объекты, объединенные по геологическому возрасту (пермь–мел). Все имеющиеся по Южному Приморью палеомагнитные данные рассматривались как проявление синскладчатой намагниченности, возникшей в результате позднемолового регионального перемагничивания. Тогда частные случаи  $f = 100\%$  и  $f = 0\%$  являются, соответственно, полным завершением складкообразования и отсутствием такового на момент перемагничивания. Определялись координаты векторов намагниченности в “синскладчатой” системе координат [16, 28] (рис. 3) и параметр  $f$ , характеризующий степень завершенности складчатостных деформаций (табл. 2).

Проведенный “анализ синскладчатости” не противоречит результатам выполнения теста складки на локальном уровне. Отмечается как доскладчатость и послескладчатость намагниченности, так и промежуточный по отношению к фазам складчатости возраст перемагничивания, на основании чего можно сделать вывод о том, что перемагничивание и складчатость произошли приблизительно в одно время. Результатом применения корреляционного теста складки [19] на заключительной стадии анализа “синскладчатости”, как это предложено в [16, 28], является отсутствие корреляции между векторами намагниченности в синскладчатой системе координат и нормалью к пластам, что не противоречит выдвинутому предположению о времени возникновения намагниченности на промежуточных этапах складкообразования. Средние направления намагниченности, объединенные по возрастам, различаются между собой незначительно (выборочная статистика по [26] равна 0.69 при критическом значении 2.52).



**Рис. 3.** Стереогаммы средних векторов намагниченности по изученным 33 геологическим разрезам.

Координаты векторов намагниченности в различных системах координат – см. в табл. 2.

Следует отметить два важных обстоятельства (табл. 2, рис. 3):

1. Совокупность средних векторов намагниченности по объектам в синскладчатой системе координат образует распределение, вытянутое вдоль среднего северо-восточного простирания складчатых структур региона (рис. 3). Такая картина, напрямую связанная с определением направления синскладчатой намагниченности методом пересечения малых кругов, достаточно полно разбирается в работах, посвященных методическим аспектам анализа синскладчатой намагниченности (см., например, [8, 16, 28, 31] и другие).

2. Кучность векторов намагниченности в синскладчатой системе координат юрско-меловых пород значительно выше кучности для пермо-триасовых пород (табл. 2). Хорошо известно, что на снижение величины кучности в большой степени оказывают влияние один-два вектора, далеко отстоящие от основной совокупности векторов выборки. В данном случае больший разброс векторов связан с данными всего трех объектов (ТА и РА для перми и ИК для триаса). При исключении этих объектов, результирующие кучности незначительно различаются между собой (выборочная статистика по [19] равна 7.46 при критическом значении 9.46). Вполне возможно, что для этих объектов сказался один из многочисленных факторов, приводящих к разбросу (например, локальные повороты). Полученные по объектам ТА, РА и ИК величины параметра  $f$  в незначительной степени влияют на общую геологическую интерпретацию (см. ниже).

Оценка времени приобретения синскладчатой намагниченности согласуется с ранее предлагавшейся в [2], т.е. время регионального перемагничивания полагается позднемеловым, чему соответствует и приближительная оценка времени завершения складкообразования. Такой возраст намагниченности не противоречит полярности этого временного интервала в общей магнитостратиграфической шкале [6] и палеомагнитным данным для смежных регионов [2, 3].

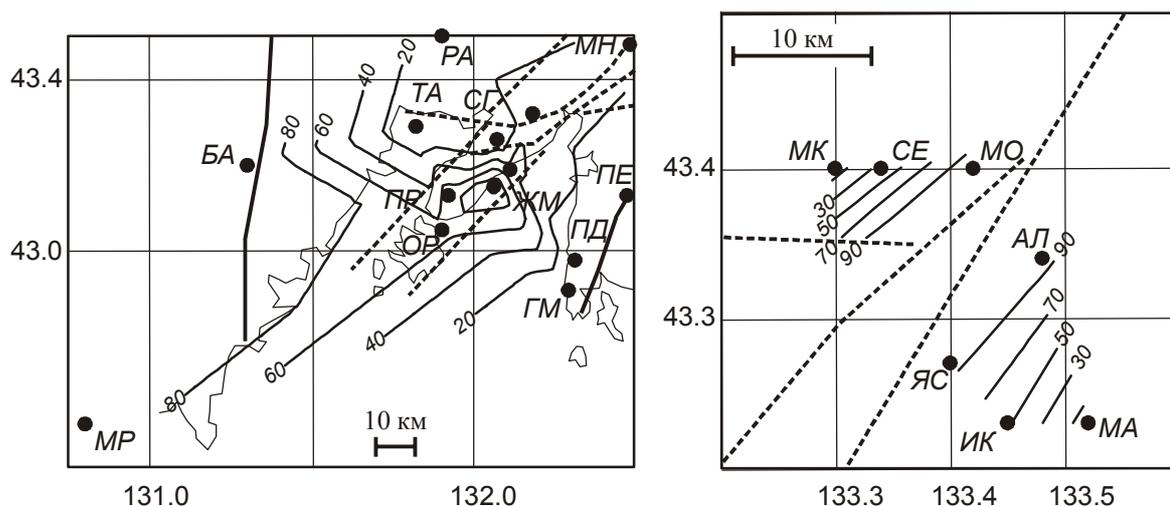
Во время регионального перемагничивания в позднем мелу и, соответственно, при складкообразовании изученные объекты располагались на 45 градуса с.ш., т.е. приблизительно на 1–2 градуса севернее настоящего положения Южного Приморья, что с учетом ошибки полученного палеомагнитного определения ( $4^\circ$ ) следует считать *незначимым* различием (в пределах точности).

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Геологическая интерпретация полученной оценки степени завершенности складчатости на момент образования позднемеловой намагниченности (значение параметра  $f$ ) на данном этапе изученности и методической разработанности проблемы возможна только на качественном уровне. Наиболее уверенной геологической интерпретации поддаются данные по степени завершенности складчатости тех объектов, для которых анализ “синскладчатости” показал либо до-, либо послескладчатый возраст намагниченности, и, соответственно, складчатость для этих объектов или еще не началась ко времени регионального перемагничивания, или уже полностью завершилась (рис. 2, 4).

Базовым положением, на котором основана предлагаемая интерпретация, служит представление о том, что разгрузка напряжений (деформация), при прочих равных условиях, в первую очередь происходит по ослабленным разрывными нарушениями или сложенным менее компетентными породами зонам [12]. В этих зонах можно ожидать более высокие значения параметра  $f$  (складчатость завершилась раньше). В более устойчивых зонах деформации происходят позже, уже после разгрузки напряжений в ослабленных зонах. Следовательно, здесь можно ожидать пониженные значения параметра  $f$  (складчатость завершилась позже).

Относительно редкая и неравномерная сеть точек с палеомагнитными наблюдениями, по которым возможно определение параметра  $f$ , затрудняет одно-



**Рис. 4.** Степень завершенности складчатых деформаций к “моменту” регионального перемагничивания (изолинии параметра  $f$ ).

Остальные обозначения как на рис. 1.

значную геологическую интерпретацию полученных данных. На имеющемся материале можно лишь отметить следующие закономерности.

Высокие значения параметра  $f$ , отвечающие завершенной к моменту образования позднемеловой намагниченности складчатости, отмечаются вдоль разломных зон, в том числе границ террейнов (объекты ТА, ПР, ПЕ, ГМ, ЯС, АЛ, МО, МН – см. рис. 1, 4) и блоков внутри террейнов. Кроме того, высокие значения  $f$  наблюдаются на геологических разрезах в западной части южного Приморья, тяготеющих к зоне Лаоелин-Гродековского террейна (объекты БА, МР), что, вероятно, может быть обусловлено триасово-юрской коллизией [14], сопровождавшейся значительными деформациями позднепалеозойско-раннемезозойских образований в допозднемеловое время, то есть до формирования намагниченности.

Пониженные значения параметра  $f$  приурочены к слабо нарушенным частям тектонических блоков (объекты РА, ПД) и к отложениям, занимающим специфическую тектоническую позицию, – залегающим в небольших грабенообразных структурах в раннепалеозойских интрузивно-метаморфических блоках (объекты МК, МА – см. рис. 1, 4). В таких структурах позднепалеозойско-раннемезозойские отложения, вероятно, были в большей степени “защищены” от воздействия горизонтальных напряжений жестким субстратом – интрузивными образованиями. Поэтому можно предположить, что деформации в подобных структурах происходили позже и были, может быть, значительно слабее, чем в более крупных телах позд-

непалеозойско-мезозойских осадочных и вулканогенно-осадочных образований, залегающих на разнородном, и соответственно, менее жестком субстрате.

Пространственное распределение значений параметра завершенности складчатости допускает более детальную интерпретацию последовательности разгрузки горизонтальных напряжений. Наиболее ранняя их разгрузка происходила вдоль разломных зон и, в первую очередь, вероятно, на периферии Лаоелин-Гродековского террейна, для которого установлен триасово-юрский возраст коллизионного этапа [14]. При этом, судя по кинематике и ориентировке разломных зон в Вознесенском и Сергеевском террейнах, основное направление сжатия было направлено по оси ЮЮВ-ССЗ. Степень завершенности более поздней складчатости в геологических разрезах на периферии Вознесенского террейна определяется ЮЗ-СВ трендом распространения деформаций сжатия: в ЮЗ части террейна степень завершенности деформаций выше, а в СВ направлении – постепенно снижается до нуля (см. на рис. 4). Исходя из этого, можно предположить основное направление напряжений в складках позднепалеозойско-мезозойских образований Вознесенского террейна по оси СЗ-ЮВ при наличии относительно жестких в это время палеозойских структур Сергеевского и Лаоелин-Гродековского террейнов. Рассматриваемую часть складчатых структур коллажа указанных террейнов, в первую очередь Вознесенского, можно представить в виде сходящегося к югу клина, в котором более ранние деформации происходили на юге, а более поздние – на севере (рис. 1, 4).

### ВЫВОДЫ

Полученная на основе использованной методики оценка завершенности складчатости к моменту образования намагниченности может быть использована для тектонических построений. Результаты интерпретации, основанные на модели формирования тектонических деформаций [12], не противоречат имеющимся геологическим данным.

Для рассматриваемой части Южного Приморья позднемезозойские горизонтальные напряжения разгружались неравномерно (рис. 4): в первую очередь происходила разгрузка по разломным зонам СВ и субмеридионального простирания (граница Лаолин-Гродековского и Вознесенского террейнов, Сучанский и Ратный разломы), а зона более поздних деформаций в домеловых перекрывающих палеозойские террейны осадочно-вулканогенных комплексах последовательно смещалась во времени с юга на север в Вознесенском террейне и расходилась на СЗ и ЮВ от зоны Сучанского и Ратного разломов в пределах Сергеевского террейна.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований и Дальневосточного Отделения РАН (гранты 06-05-96011 "Р\_Восток\_А" и 06-III-A-08-345). Авторы благодарят Р. Энкина за возможность использования его пакета палеомагнитных программ, а также рецензентов М.Л. Баженова, В.В. Голозубова, А.Н. Диденко и Е.В. Колесова за сделанные замечания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексютин М.В., Шипунов С.В. Синскладчатая намагниченность пород куюльской системы покровов, Пенжинский район, Северо-Восток России // *Физика Земли*. 1997. № 4. С. 27–33.
2. 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. (Тр. ГИН РАН. Вып. 515)
3. 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.
4. Бретштейн Ю.С., Захаров Ю. Д., Климова А. В. Палеомагнитное изучение триасовых отложений Южного Приморья (предварительные результаты) // *Тихоокеан. геология*. 2003. Т. 22, № 1. С. 71–82.
5. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.
6. Дополнения к стратиграфическому кодексу России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 112 с.
7. Левашов Г.Б., Рыбалко В.И., Изосов Л.А. и др. Тектономагматические системы аккреционной коры (Сихотэ-Алинь). Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 340 с.
8. Левашова Н.М., Шипунов С.В., Баженов М.Л. Несмещенная оценка направления синскладчатой намагниченности: новый метод, численное моделирование и экспериментальные данные // *Теоретические и региональные проблемы геодинамики*. М.: Наука, 1999. С. 210–221. (Тр. ГИН РАН. Вып. 515)
9. Лопатин Д.В., Зимов А.А., Журавлев А.В. и др. Новейшая геодинамика южной части Сихотэ-Алинского орогена по данным цифровой обработки космических изображений земной поверхности, глубинного строения и сейсмичности // *Региональная геология и металлогения*. 2003. № 17. С. 78–86.
10. Палеомагнитология / Ред А.Н. Храмов. Л.: Недра, 1982. 312 с.
11. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.
12. Талицкий В.Г. Структурные парагенезы как результат процессов самоорганизации в деформируемой геологической среде // *Геотектоника*. 1999. № 2. С. 80–93.
13. Толковый словарь английских геологических терминов / Ред. М. Гери, З. Мак-Афи, К. Вульф. М.: Мир, 1977. Т. 1. 588 с. Т. 2. 589 с.
14. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 1996. 59 с.
15. Шипунов С.В. Новый тест складки в палеомагнетизме (реабилитация теста выравнивания) // *Физика Земли*. 1995. № 4. С. 67–74.
16. Шипунов С.В. Синскладчатая намагниченность: оценка направления и геологическое приложение // *Физика Земли*. 1995. № 11. С. 40–47.
17. Шипунов С.В. История складчатости Южного Урала по палеомагнитным данным // *Палеомагнетизм и магнетизм горных пород* / Ред. В.П. Щербаков. М.: ОИФЗ РАН. 1998. С. 69–71.
18. Шипунов С.В., Бретштейн Ю.С. Проблемы компонентного анализа в палеомагнетизме // *Физика Земли*. 1999. № 3. С. 52–61.
19. Bazhenov M.L., Shipunov S.V. Fold test in paleomagnetism: new approaches and reappraisal of data // *Earth and Planetary Science Letters*. 1991. V. 104. P. 16-24.
20. Elmore D.R., Foucher J.L.-E., Evans M. et al. Remagnetization of the Tonoloway Formation and the Helderberg Group in the Central Appalachians: testing the origin of syntilting Magnetizations // *Geophys. J. Int.* 2006. V. 166. P. 1062–1076.
21. Graham J.W. The stability and significance of magnetism in sedimentary rocks // *J. Geophys. Res.* 1949. V. 54. P. 131–167.
22. Henry B., Rouvier H, Le Goff M. Using syntectonic remagnetizations for fold geometry and vertical axis rotation: the example of the Cévennes border (France) // *Geophys. J. Int.* 2004. V. 157. P. 1061–1070.
23. Khanchuk A.I. Tectono-stratigraphic terranes of Primorye territory // *A field Guide to the Late Paleozoic and Early Mesozoic Circum-Pacific bio- and geological events*. In : Y.D.

- Zakharov, I.V. Panchenko, A.I. Khanchuk. (Eds). Vladivostok: Far East Geol. Inst., 1992. 88 p.
24. Kotlyar G.V., Belyansky G.C., Burago V.I. et al. South Primorye, Far East Russia – a key region for global Permian correlation // *J. of Asian Earth Sciences*. 2006. V. 26, N. 3–4. P. 280–293.
  25. McClelland-Brown E. Palaeomagnetic studies of fold development and propagation in the Pembrokeshire old red sandstone / *Tectonophysics*. 1983. V. 98. P. 131–149.
  26. McFadden P.L., Jones D.L. The fold test in paleomagnetism // *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 1981. V. 67. P. 53–58.
  27. Niitsuma S., Niitsuma N., Saito K. Evolution of the Komiji Syncline in the North Fossa Magna, central Japan: Paleomagnetic and K–Ar age insights // *The Island Arc*. 2003. V. 157. P. 1061–1070.
  28. Shipunov S.V. Synfolding magnetization: Detection, testing and geological applications // *Geophys. J. Int.* 1997. V. 130. P. 405–410.
  29. Stamatakos J., Hirt A.M. Lowrie W. The age and timing of folding in the central Appalachians from paleomagnetic results // *GSA Bull.* 1996. V. 108, N. 7. P. 815–829.
  30. Surmont J., Sandulescu M., Bordea, S. Mise en évidence d'une réaimantation fini crétacée des séries mésozoïques de l'unité de Bihor (Monts Apuseni, Roumanie) et de sa rotation horaire ultérieure // *C. R. Acad. Sci. Paris*. 1990. T. 310. Série II. P. 213–219.
  31. Waldhör M., Appel E. Intersections of remanence small circles: new tools to improve data processing and interpretation in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* 2006. V. 166. P. 33–45.

*Рекомендована к печати А.Н. Диденко*

*S.V. Shipunov, Yu.S. Bretshtein, A.V. Zhuravlev*

### **Paleomagnetism in the study of Late Mesozoic deformations in South Primorye**

An analysis was done of the available paleomagnetic data from South Primorye. It is shown that they can be interpreted as synfold: magnetization in the studied objects resulted from regional remagnetization approximately during Late Mesozoic folding. Based on the analysis of the parameter characterizing the degree of completeness of folding by the time of regional remagnetization, irregularity in the relief of Late Mesozoic horizontal stresses is shown. The obtained estimations of the degree of completeness of folding are in agreement with geologic evidence and agree fully with the model of formation of tectonic deformations after V. Talitskiy.

**Key words:** paleomagnetism, folding, synfold magnetization, South Primorye.