

УДК 550.384.5

## НОВЫЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПОЗДНЕМЕЛОВЫМ ВУЛКАНИТАМ ЧУКОТКИ: К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЧУКОТСКОГО БЛОКА ОТНОСИТЕЛЬНО СЕВЕРО-АМЕРИКАНСКОЙ И ЕВРОАЗИАТСКОЙ ПЛИТ ПОСЛЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЯСА

© 2021 г. И. Е. Лебедев<sup>1, 4, \*</sup>, П. Л. Тихомиров<sup>1</sup>, А. М. Пасенко<sup>1</sup>, Б. Эйд<sup>2</sup>,  
Ф. Люилье<sup>2</sup>, В. Э. Павлов<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Университет Ludwig Maximilian, г. Мюнхен, Германия

<sup>3</sup>Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

<sup>4</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

\*E-mail: lebedev232@ya.ru

Поступила в редакцию 17.04.2020 г.

После доработки 11.09.2020 г.

Принята к публикации 14.09.2020 г.

Выполнены палеомагнитные исследования ряда разрезов позднемиловых вулканитов Охотско-Чукотского вулканического пояса, расположенных на территории Билибинского района Чукотского автономного округа и вдоль трассы Певек–Егвекенот. Отобраны и изучены обширные коллекции, в результате лабораторной обработки которых выделена древняя характеристическая компонента намагниченности, отражающая направление геомагнитного поля времени формирования изученных пород (~85 млн лет назад). Первичность выделенной характеристической компоненты намагниченности поддерживается положительным результатом регионального теста складки, а также совпадением палеомагнитного полюса, рассчитанного по этой компоненте, с полюсом, полученным ранее [Stone et al., 2009] для Чукотки по породам близкого возраста. Палеомагнитный полюс, рассчитанный с использованием объединенной выборки, включающей как ранее полученные, так и наши новые данные ( $P_{lat} = 69.3^\circ$ ,  $P_{long} = 180.7^\circ$ ,  $N = 99$ ,  $A95 = 5.1^\circ$ ), указывает на то, что опробованные породы формировались в непосредственной близости от географического полюса. Рассмотрен вопрос надежности имеющихся позднемиловых палеомагнитных полюсов Евразии и Северной Америки, рассчитаны уточненные полюсы для этих плит для времени ~85 млн лет. С учетом рассчитанных палеомагнитных полюсов для этого времени предложена реконструкция положения Чукотско-Колымско-Омолонского блока относительно Евразии и Северной Америки. Эта реконструкция предполагает, что Чукотско-Колымско-Омолонский блок с момента формирования изученных пород и по современность испытал относительно небольшие (десятки–первые сотни километров) перемещения к югу относительно Северо-Американской плиты и заметное (несколько сот километров) смещение относительно Евроазиатской плиты. Наша реконструкция близка к таковой, предложенной в работе [Otofujii et al., 2015], однако в отличие от последней не требует коллизии Чукотско-Колымско-Омолонский блока с Евразией после 80 млн лет назад.

*Ключевые слова:* палеомагнетизм, Чукотка, вулканиты, поздний мел, палеорекострукции.

DOI: 10.31857/S0002333721020010

### ВВЕДЕНИЕ

Расшифровка тектонической истории Чукотского полуострова (далее Чукотки) необходима для понимания геологической эволюции северо-востока Евразии, восточной части Арктики и Северной Пацифики, важна для решения ряда прикладных вопросов, связанных с поиском ме-

сторождений полезных ископаемых на территории континентальной части региона и в пределах прилегающего к ней арктического шельфа. Важным элементом общей проблемы восстановления мезозойской и кайнозойской тектонической истории Чукотки является вопрос о ее соотношении с остальной частью Евразии, с Аляскинским мик-

роконтинентом, с Северо-Американской тектонической плитой.

Этот вопрос в значительной степени (но, конечно, не полностью) сводится к решению задачи о возможности взаимных перемещений тектонических блоков, к которым относятся эти территории, на протяжении различных интервалов геологической истории.

Палеомагнитный метод традиционно имеет большое значение при решении такого рода задач, позволяя, при наличии необходимых условий, получать важные ограничения на возраст и масштабы тектонических движений. Несмотря на это обстоятельство, за все годы геологического изучения на Чукотке было выполнено только одно законченное (доведенное до публикации в реферируемом научном журнале) палеомагнитное исследование [Stone et al., 2009]. В ходе этого исследования был изучен палеомагнетизм вулканитов Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП), выходящих на поверхность в районе оз. Эльгыгытгын. При всей важности уже полученных палеомагнитных данных их количество и точность, однако представляются явно недостаточными для уверенных тектонических интерпретаций. Для реализации последних необходимо создание обширной палеомагнитной базы данных, для чего, в свою очередь, требуется постановка новых палеомагнитных исследований.

В настоящей работе мы представляем данные палеомагнитных исследований поздне меловых вулканитов Чукотки, выполненных в 2019–2020 гг. Эти данные несут в себе новую важную информацию о возможности перемещений Чукотского блока относительно Северо-Американской и Евроазиатской плит со времени формирования в позднем мелу изученных нами объектов.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОТБОР ОБРАЗЦОВ

В течение полевого сезона лета 2019 г. на территории Билибинского, Чаунского, Иультинского и Анадырского районов Чукотского автономного округа нами были отобраны обширные коллекции ориентированных образцов из вулканических пород, участвующих в строении Охотско-Чукотского вулканического пояса. Географическое положение опробованных разрезов (Тимофеевка, Купол, Угаткын, VP-1, VP-3 и VP-4) показано на рис. 1.

Меловой Охотско-Чукотский вулканический пояс представляет собой одну из крупнейших на планете провинций окраинно-континентального магматизма [Белый, 1977; Tikhomirov, 2012; Ханчук и др., 2019], протянувшуюся более чем на 3000 км вдоль тихоокеанской окраины Азии от западного побережья Охотского моря до востока Чукотского полуострова при ширине 100–300 км. На тер-

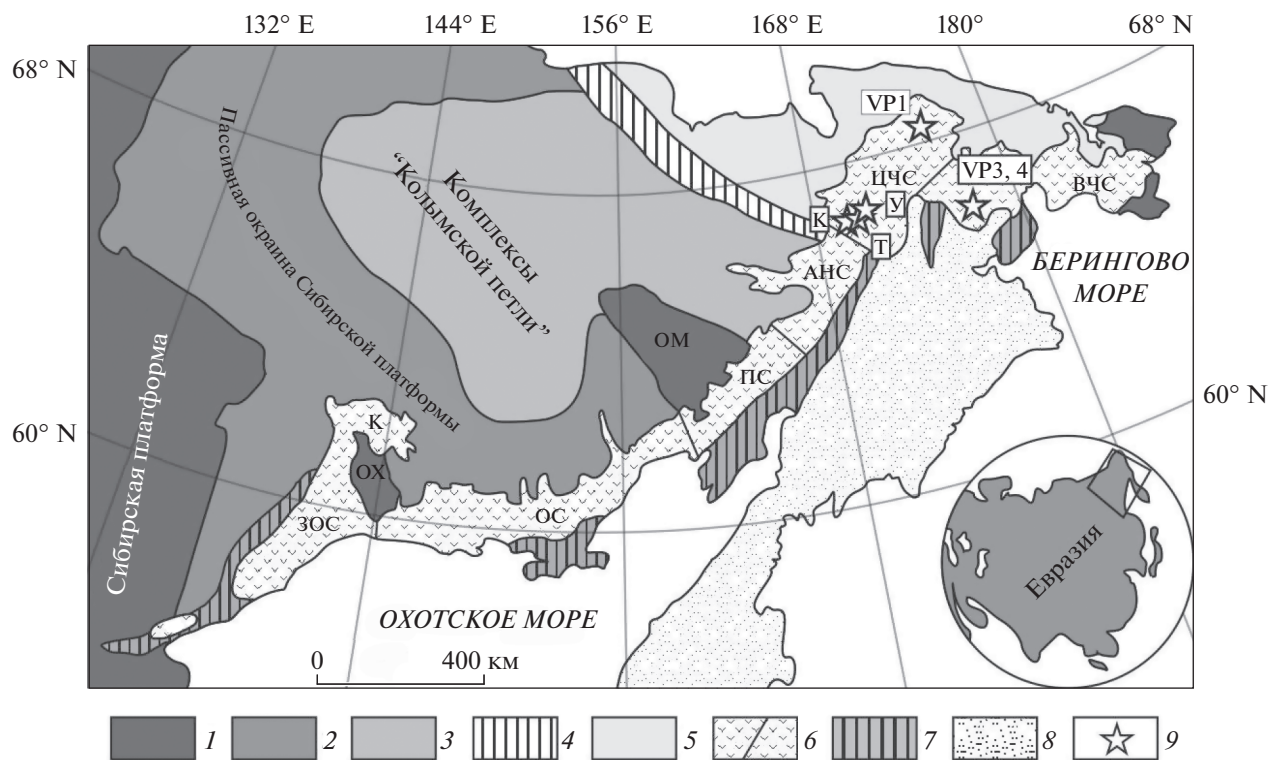
ритории Чукотки значительная часть ОЧВП наложена на структуры Чукотского блока (или Чукотско-Аляскинского микроконтинента – [Miller et al., 2017]), граница которого с остальной частью Евразии (за исключением Корякии и северной части Камчатки) проходит по Южно-Аньюской зоне (рис. 1). Последняя часто [Miller et al., 2018; Соколов и др., 2015; Kuzmichev, 2009] рассматривается как сутура, образовавшаяся при закрытии во второй половине мезозоя Южно-Аньюского океана, разделявшего Чукотский блок и Колымско-Омолонский супертеррейн.

Чукотский блок является блоком континентальной коры, в настоящее время слагающей большую часть Чукотского полуострова. В схеме тектонического районирования [Богданов и др., 1992] этот блок объединяет Аньюскую и Чаунскую складчатые зоны мезозой и Восточно-Чукотский кратонный блок. Согласно принятым палеотектоническим реконструкциям [Parfenov et al., 2009; Grantz et al., 2011; Shepherd et al., 2013], в раннем мезозое Чукотский (Чукотско-Аляскинский) блок был отделен от Северо-Американского и Сибирского континентов бассейнами с корой океанического типа. Граница между Чукотским блоком и поздне мезозойскими и кайнозойскими аккрецированными комплексами Корякии и северной части Камчатки проводится по контуру юго-восточных выходов структур Охотско-Чукотского пояса.

Под Колымо-Омолонским супертеррейном в настоящей статье, как, впрочем, и во множестве других работ, понимается коллаж разнородных террейнов, в юрское время объединенных в составе единого блока континентальной коры. С запада и с севера (в современных координатах) этот блок был ограничен реликтами Оймяконского и Южно-Аньюского океанических бассейнов, с востока – Палеоокеаном (напр., [Shepherd et al., 2013]). В поздней юре, с закрытием Оймяконского бассейна, Колымо-Омолонский блок аккрецирован к окраине Сибирского континента (см., напр., [Didenko et al., 2002; Лаверов и др., 2013]). Граница блока трассируется реликтами Уяндино-Ясачненского вулканического пояса и синхронного с ним Главного батолитового пояса [Акинин и др., 2009], однако положение соответствующей сутурной зоны остается дискуссионным.

В геологической литературе практически общепринято мнение о том [Otofujii et al., 2015; Parfenov et al., 2009; Соколов, 2010], что после закрытия Южно-Аньюского океана Чукотский блок соединился с Колымско-Омолонским супертеррейном. В результате образовалась тектоническая единица, которую ниже мы будем называть Чукотско-Колымско-Омолонским блоком.

Считается, что формирование ОЧВП начинается после завершения компрессионной активности



**Рис. 1.** Тектоническая схема северо-востока Азии (по работе [Тихомиров, 2018] с упрощениями): 1 – Сибирская платформа и кратонные блоки (ОХ – Охотский массив, ОМ – Омолонский массив); 2 – пассивная окраина Сибирской платформы; 3 – комплексы “Колымской петли” – тектонический коллаж разнородных террейнов, включающий блоки древней континентальной коры, комплексы различных переходных зон континент–океан и фрагменты офиолитовых разрезов; 4 – Южно-Аноийская сутурная зона (ЮАС); 5 – пассивная окраина Чукотско-Аляскинского микроконтинента; 6 – Охотско-Чукотский вулканический пояс с границами сегментов: ВЧС – Восточно-Чукотский, ЦЧС – Центрально-Чукотский, АНС – Анадырский, ПС – Пенжинский, ОС – Охотский, ЗОС – Западно-Охотский; 7 – Преджугдгурский прогиб, К – Куйдусунский прогиб; 8 – Корякско-Камчатская складчатая область; 9 – местоположение объектов исследования: К – Купол, Т – Тимофеевка, У – Угаткын, П – Паляваам, В – Валунистый, М – Матачингай, Э – Эгвекинот.

на территории региона, что, в частности, отразилось в том, что вулканы не несут, как правило, следов значимых деформаций [Соколов и др., 2010; Miller et al., 2018]. Залегание вулканических покровов контролируется обычно палеорельефом и элементами структур компенсационного погружения – кальдер и вулканотектонических депрессий [Тихомиров, 2018]. Согласно схеме районирования, предложенной в работе [Белый, 1977], изученные нами объекты относятся к Центрально-Чукотскому и Восточно-Чукотскому сегментам ОЧВП.

В настоящее время датирование опробованных разрезов опирается на данные, полученные по породам, которые: 1) более или менее уверенно коррелируются с породами, изученными нами; 2) принадлежат тем же стратонам и 3) выходят на поверхность в относительной близости от районов наших работ.

Доступные данные изотопного датирования (см. табл. 1) позволяют определить возраст изученных толщ с погрешностью не более  $\pm 5$  млн лет.

Тем не менее из-за значительной латеральной изменчивости разрезов ОЧВП возможности корреляции толщ по литологическому составу ограничены [Тихомиров, 2018]. Если проба для датирования отобрана вне изученного разреза, полученное значение возраста можно применить к данному разрезу лишь с долей условности

Мы отмечаем, что в рамках настоящего исследования нас вполне удовлетворяет точность определения возраста внутри интервала 5 млн лет, что связано как с малостью перемещения плит за такое время, так и с известным фактом длительного “стояния” позднемиоценовых палеомагнитных полюсов Северной Америки и Евразии [Besse et al., 2003; Kent et al., 2010; Torsvik et al., 2012].

Отбор образцов для палеомагнитных исследований осуществлялся сайтовым методом [Butler, 1998], большинство сайтов отвечает отдельным лавовым потокам, часть сайтов представляет обнажения туфов, игнимбитов, других вулканических пород. Принадлежность пород изученных сайтов к тем или иным свитам, а также количе-

Таблица 1. Палеомагнитные направления, определенные в изученных породах

Номера сайтов	Данные по свитам и составу пород по [Исаева и др., 2016]	Изотопный возраст	N	n	Dg	Ig	Ds	Is	K	alfa95	$Km, \times 10^{-3}$ ед. СИ
Купол 66°51' с.ш., 169°51' в.д.											
1	Эмунэретская свита, преимущественно туфы и илгнмбрииты кислого состава, местами прослойки лав основного и среднего состава	Проба в 3 км к западу от района работ ближе к верхам разреза: 86.8 ± 2.7 млн лет, Ag–Ar по плагиоклазу [Тихомиров, 2006]	14	11	47.1	83.5	47.1	83.5	544	2	5.29
2			13	10	26	78.3	26	78.3	302.2	2.8	5.37
3			13	9	9.3	79.9	9.3	79.9	153	4.2	3.17
4			13	7	34.2	64.5	34.2	64.5	274.7	3.6	15
5	Козьвуньская свита, преимущественно лавы основного и среднего состава, туфы того же состава	Проба в 4 км к западу от района работ, отвечает примерно середине разреза: 93.7 ± 1.2 млн лет, Ag–Ar по амфиболу; 91.8 ± 1.6 млн лет, Ag–Ar по плагиоклазу [Тихомиров, 2006]	16	14	327.2	84.8	327.2	84.8	97.9	4	23.2
6			14	13	85	85.2	85	85.2	77.6	4.7	19.6
7			12	13	356.1	72	356.1	72	73.3	4.9	23
8			14	9	316.2	67.8	316.2	67.8	167	4	22.3
Тимофеевка 66°56' с.ш., 170°15' в.д.											
1	Козьвуньская свита, преимущественно лавы основного и среднего состава, туфы того же состава	Породы принадлежат той же структуре, что и породы разрезов Угatkын и Купол и близки к ним по возрасту	15	12	252.2	80.9	162.7	78.1	90.4	4.6	4.44
2			8	4	289.2	74.1	219.4	85.7	65.7	11.4	3.62
3			5	4	265.3	70.3	217.2	77.5	129.3	8.1	0.56
4			13	11	332.1	70.2	8.2	75.1	225.5	3	16.3
5			15	14	328	70.8	5.4	76.4	98.8	4	28.6
6			13	13	316.9	67.9	339.7	77.9	82.6	4.6	18.1
7			13	13	317	73.2	0.7	80.5	242.2	2.7	23.5
8			13	13	294.4	76.1	342.3	86.8	385.5	2.1	23.4
9			13	10	10.3	80.7	63.8	75.2	44.4	7.3	20.1
10			13	13	321.6	62.7	314.8	79.6	195.6	3	24.3
11			14	12	333.4	76.1	117.1	86.3	102.4	4.3	19.4
12			15	15	340.8	57.8	355	73.7	160	3	13.1
13			14	14	273	74	206	81.5	100.7	4	20
14			10	6	251.5	82.4	172.5	73.4	173.5	5.1	17.8
15			12	8	283.4	77.2	195.3	78.6	144	4.6	18.1
17			14	12	258	79.4	183.6	73.8	87.2	4.7	34.2
18			13	13	341.2	76.7	106.1	84.6	127.4	3.7	17.6
19			16	11	5.1	78	101.1	79.3	173.8	3.5	19
Угatkын 67°14' с.ш., 170°59' в.д.											
1	Пыкарваамская свита, преимущественно лавы, илгнмбрииты, туфы кислого состава	Проба 13 км к востоку от района работ, отвечает примерно перекрывающим комплексам: 85.4 ± 1.2 млн лет, U–Pb по циркону [Тихомиров, 2012]	13	9	50.6	62.8	71.7	59.4	140.8	4.4	11.1
3			12	12	247.7	84.2	163.9	78.9	80.8	4.9	12.7
4			15	14	329.6	86.2	128.4	81.6	103.6	3.9	22.7
5			13	11	257.7	72	217.5	74.8	87.8	4.9	6.35
6			13	10	342.9	80	78.9	84.4	89.5	5.1	7.09
7			14	13	279.1	75.5	223.9	81.6	93.9	4.3	12.8
8			23	19	346.8	59.5	2.8	68.8	53.7	4.6	6.5



Таблица 1. Продолжение

Номера сайтов	Данные по свитам и составу пород по [Исаева и др., 2016]	Изотопный возраст	N	n	Dg	Ig	Ds	Is	K	alfa95	Km, × 10 <sup>-3</sup> ед. СИ
VP1 (Палаваям) 68°28' с.ш., 174°32' в.д.											
1	Алькак вуньская свита, преимущественно лавы, туфы, игнимбрилы кислого состава	Алькаквуньская свита, 20 км к северу от района работ, отвечает примерно основанию разреза: 88.6 ± 2.1 млн лет, U–Pb по циркону [Тихомиров, 2012]	15	12	260.1	61.1	260.1	61.1	95.1	4.5	0.29
2			15	13	227.7	72.1	227.7	72.1	41.4	6.5	3.58
3			15	12	251.4	77.7	251.4	77.7	89.6	4.6	2.77
4			15	12	302.4	75.6	302.4	75.6	66.3	5.4	4.97
5			15	14	231.5	77.5	231.5	77.5	05.4	3.9	7.93
6-1	Каленьмуваамская свита, преимущественно лавы, туфы, игнимбрилы среднего состава	Каленьмуваамская свита, преимущественно лавы, туфы, игнимбрилы среднего состава	8	7	101.7	76.9	101.7/121.8	76.9/65.6	1	7.3	10.7
6-2			15	12	81.9	80.9	81.9/118	80.9/70.9	1	6.2	5.79
8			15	8	40.9	79.4	40.9/96.4	79.4/82.1	186.1	4.1	3.94
9			16	11	46.1	76.9	46.1/77.8	76.9/78.3	130.1	4	6.8
10			16	6	43.2	82	43.2/157.4	82.0/85.1	244.4	4.3	6
11			14	12	29.9	77.3	29.9/77.2	77.3/87.2	80.8	4.9	5.45
VP4 (Валунистый) 66°26' с.ш., 177°37' в.д.											
1	Нундигранская свита, преимущественно лавы и туфы основного и среднего состава	Леурваамская свита, 12 км к северо-востоку от района работ, отвечает примерно подстилающим комплексам: 80.6 ± 1.3 млн лет, U–Pb по циркону [Сахно, 2010]	13	10	109.6	-35.7	109.6	-35.7	41.3	7.6	21.9
2			12	11	316.8	-9.5	316.8	-9.5	49.3	6.6	31.2
3			15	14	299.2	-30.9	299.2	-30.9	41.8	6.2	29.5
4			15	12	62.4	76.7	62.4	76.7	82.3	4.8	27.8
5			17	13	284.4	76	284.4	76	116.6	3.9	28.2
6			16	12	215.9	82.5	215.9	82.5	54.8	5.9	37.6
7			16	13	46.9	62.4	46.9	62.4	128.4	3.7	27.1
8			17	9	196.5	81.4	196.5	81.4	24.1	10.7	39.1
9			16	15	119.1	85.8	119.1	85.8	99.1	3.9	31.3
10			16	15	26.1	69.1	26.1	69.1	46.3	5.7	23.7
11			15	12	64.8	73.9	64.8	73.9	44	6.6	37.2
12			15	14	62.1	80	62.1	80	62	5.1	26
13			15	11	63.5	74.6	63.5	74.6	48.5	6.6	30.1
VP3 (Валунистый) 66°21' с.ш., 177°31' в.д.											
1	Экитыкинская свита, преимущественно лавы среднего или основного состава, туфы того же состава	Леурваамская свита, 20 км к северо-востоку от района работ, отвечает примерно комплексам, перекрывающим экитыкинскую свиту: 80.6 ± 1.3 млн лет, U–Pb по циркону [Сахно, 2010]. Поскольку изученные потоки из разрезов VP3 и VP4 входят в состав единой структуры и обладают сходным составом, предполагается, что они имеют близкий возраст	15	13	109.6	80.2	109.6	80.2	48.6	6	9.67
3			16	13	51.4	81.4	51.4	81.4	109.5	4	11.8
4			16	12	139.2	64.2	139.2	64.2	98.1	4.4	15.4
4-1			13	9	106.3	79.1	106.3	79.1	121.8	4.7	24.4
5			16	12	156.4	69.3	156.4	69.3	234.2	2.8	22.5
6 + 7			30	25	70.4	74.8	70.4	74.8	52.5	4	21.4

Примечание: N – число образцов, отобранных из сайта; n – число образцов, использованных для расчета палеомагнитных направлений; Dg (Ds), Ig (Is) – склонения и наклонения в географической (стратиграфической) системе координат; K – кучность, alpha95 – радиус круга доверия; Km – магнитная восприимчивость.

ство образцов, отобранных в каждом сайте, показано в табл. 1. Всего в ходе наших полевых исследований 2019 г. опробовано 6 удаленных друг от друга разрезов, при этом отобрано 963 ориентированных образца из 68 сайтов. В большинстве своем в изученных обнажениях отсутствуют признаки каких-либо значительных вторичных изменений, породы залегают либо горизонтально, либо моноклиналино с небольшим наклоном, не превышающим 12–16 градусов. Замеры ориентировки образцов производилась магнитным компасом, поправка за склонения была взята по модели IGRF 12-го поколения [Thébault et al., 2015]. При отборе каждого образца осуществлялась проверка влияния пород на показания магнитной стрелки.

### ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ

Лабораторные палеомагнитные исследования выполнялись по стандартной методике [Храмов и др., 1982; Butler, 1998; Tauxe, 2010] в палеомагнитных лабораториях ИФЗ РАН (Москва) и Университета Ludwig Maximilian (Мюнхен). Чистка переменным магнитным полем была выполнена в Палеомагнитной лаборатории ИФЗ РАН. Используемая в этой лаборатории аппаратура позволяет выполнять этот вид чистки в автоматическом режиме, что существенно повышает производительность лабораторных исследований и существенно уменьшает влияние возможных ошибок оператора.

Размагничивание образцов из разрезов Купол и Угаткин выполнялось в Палеомагнитной лаборатории Мюнхенского университета. Для изучения компонентного состава намагниченности этих образцов использовалась температурная магнитная чистка.

На первом этапе исследований по дублям, выпиленным из 2–3 образцов из каждого сайта, было выполнено сравнение результатов температурной магнитной чистки и чистки переменным магнитным полем. Это сравнение показало, что оба вида магнитной чистки дают статистически неразличимые результаты, на основании чего магнитная чистка образцов из разрезов Тимофеевка, VP1, VP2 и VP3 была выполнена переменным магнитным полем.

Значительная часть изученных образцов (сайтов) содержит палеомагнитную запись хорошего и удовлетворительного качества (рис. 2).

В таких образцах по результатам магнитной чистки обычно выделяются 2 компонента намагниченности: первая, малостабильная низкокоэрцитивная или низкотемпературная, с крайне нерегулярными направлениями, и вторая, стабильная высококоэрцитивная или высокотемпературная характеристическая компонента с положительными крутыми наклонами и склонениями,

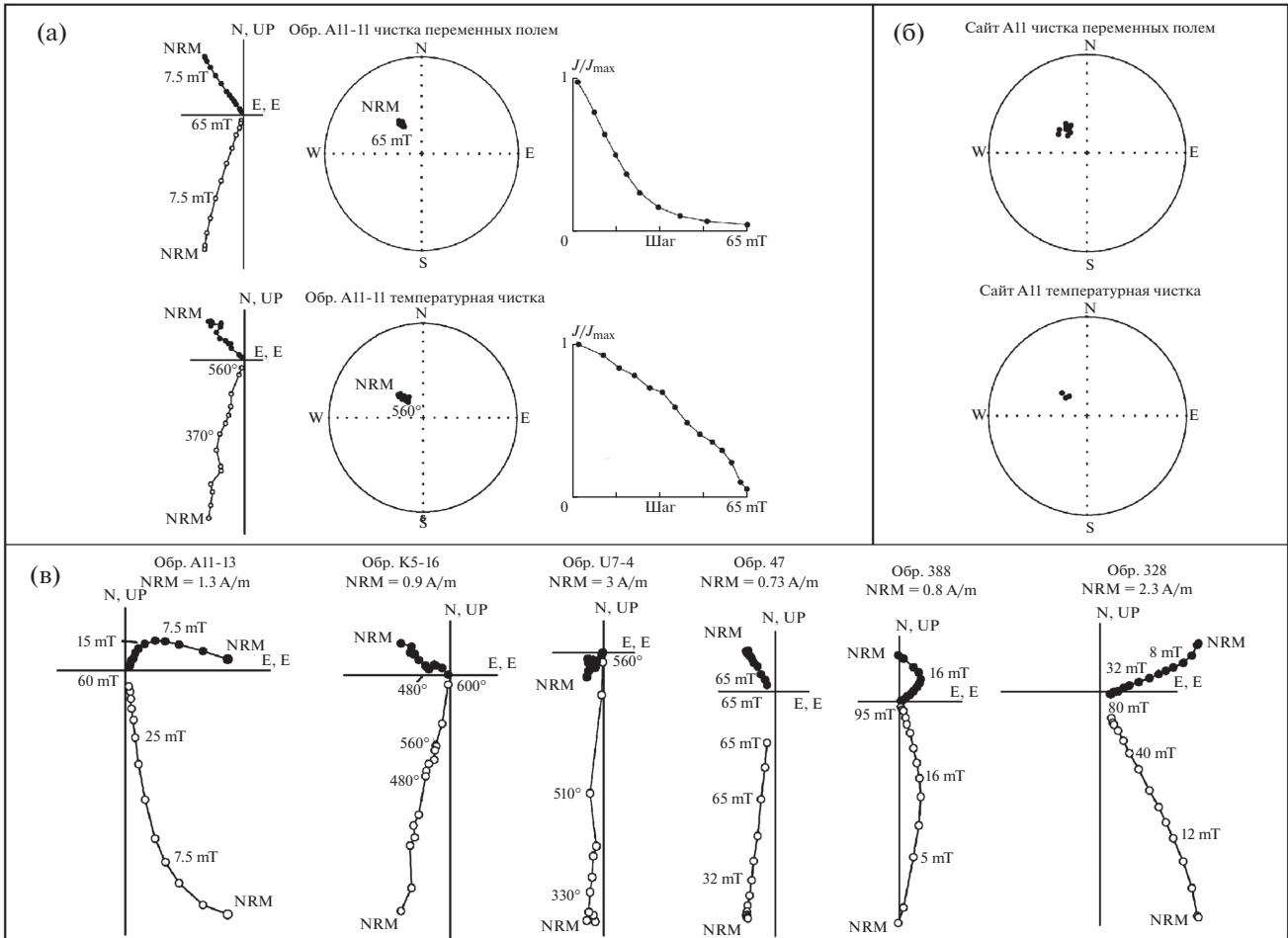
распределенными по всем четвертям стереограммы (рис. 2, рис. 3). Малостабильная низкокоэрцитивная компонента обусловлена, скорее всего, наложением в разных пропорциях в разных образцах современного вязкого перемагничивания *in situ*, вязкого лабораторного перемагничивания, а также перемагничивания, связанного с молниями. Характеристическая компонента, вероятно, отвечает направлению магнитного поля времени образования изученных пород. Некоторые доводы в пользу первичности этой компоненты будут рассмотрены ниже.

Распределение направлений характеристической компоненты по сайтам и соответствующие статистические характеристики приведены в табл. 1 и показаны на рис. 3. Внутри ряда сайтов наблюдались резкие “отскоки” отдельных направлений от общего распределения направлений. Такие “отскоки” не принимались в расчет и рассматривались как результат ошибки ориентировки образца либо при его отборе, либо при распиловке. Подавляющее большинство средних направлений по сайтам отвечает прямой полярности поля, однако в трех сайтах из нижней части разреза VP4 эти направления характеризуются низкими и умеренными отрицательными наклонами. Мы рассматриваем их как отражающие направление переходного поля (т.е. поля, находящегося в процессе геомагнитной инверсии) и поэтому исключаем из наших расчетов.

В разрезе VP1 верхние шесть потоков залегают с наклоном от 7 до 13 градусов, в то время как залегание нижних 5 потоков – горизонтальное (рис. 4). Полевые наблюдения свидетельствуют в пользу того, что наклон верхних 6 потоков – первичный, связанный с рельефом поверхности, на которую изливались потоки. Поэтому для этих шести верхних потоков мы использовали средние для сайтов направления характеристической намагниченности, рассчитанные в современной системе координат.

Средние (по сайтам) направления характеристической намагниченности, полученные по всем изученным разрезам, были пересчитаны в виртуальные геомагнитные полюсы. Координаты (широта и долгота) среднего полюса составляют  $Plat = 69.4^\circ$  с.ш.,  $Plong = 183.7^\circ$  в.д., при радиусе круга доверия  $A95 = 6.1^\circ$  и количестве использованных для расчета сайтов  $N = 60$ . Ниже мы будем обсуждать именно этот полюс. Если не брать в расчет данные по наклоненным потокам разреза VP1, координаты среднего полюса будут отличаться от вышеприведенного на  $1.7^\circ$  и составят  $Plat = 70.2^\circ$  с.ш.,  $Plong = 188.2^\circ$  в.д., при  $A95 = 6.7^\circ$  и  $N = 54$ .

На настоящий момент мы можем привести два, как представляется, сильных аргумента в



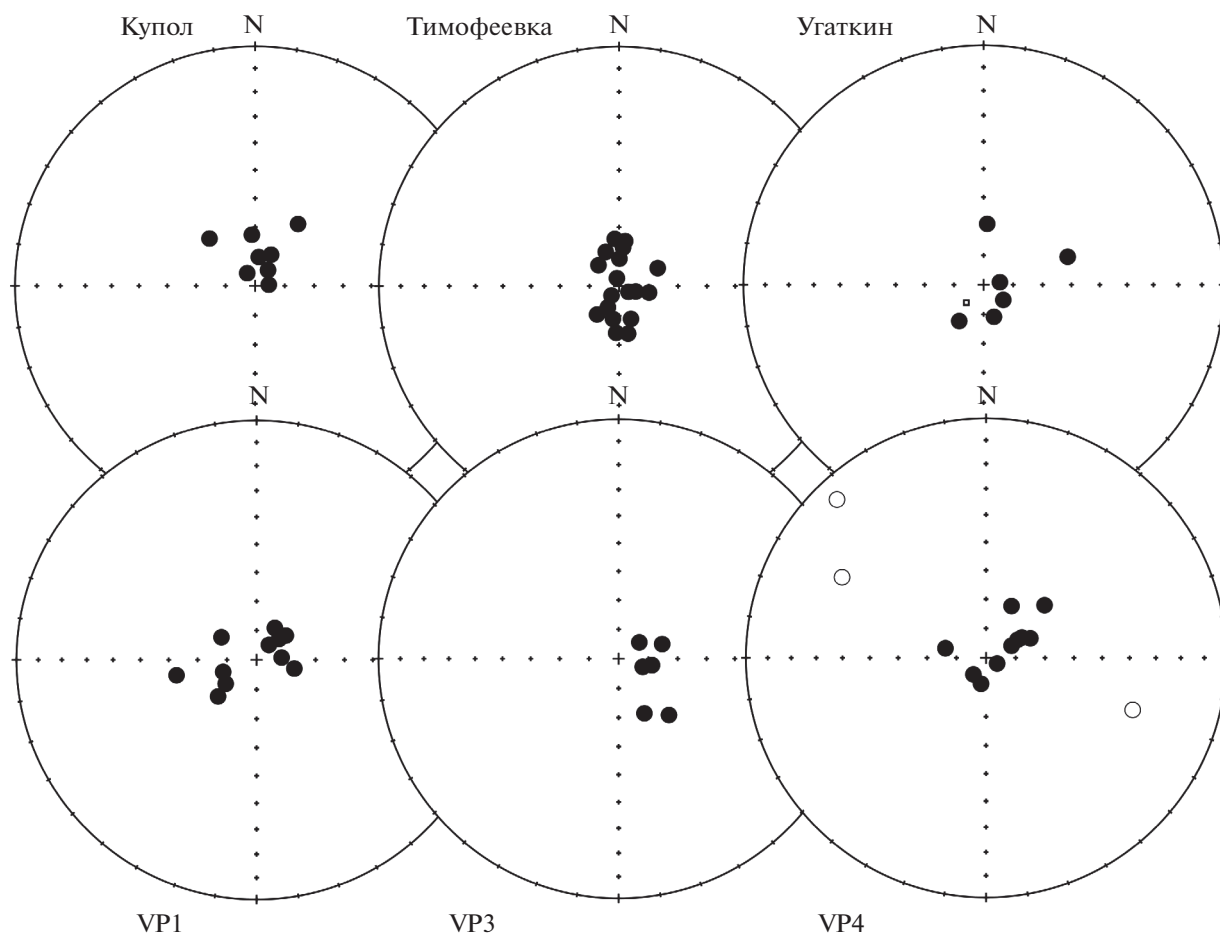
**Рис. 2.** (а) и (б) – Сравнение результатов магнитных чисток температурой и магнитным полем: (а) – примеры диаграмм Зийдвервелда, полученных для дублей из одного образца в результате магнитных чисток температурой и магнитным полем, (б) – примеры сравнения распределений направлений, выделенных внутри сайта, по результатам магнитных чисток температурой и магнитным полем; (в) – примеры диаграмм Зийдвервелда по результатам магнитных чисток пород из разрезов Тимофеевка (обр. А11-13), Купол (обр. К5-16), Угаткын (обр. U7-4), VP1 (обр. 47), VP3 (обр. 328), VP4 (обр. 388)). Залитые (незалитые) кружки обозначают проекции вектора естественной остаточной намагниченности на горизонтальную (вертикальную) плоскость.

пользу первичности выделенной характеристической компоненты намагниченности.

Первый аргумент вытекает из сравнения средних направлений характеристической компоненты намагниченности, рассчитанных для сайтов с ненарушенным залеганием пород (разрезы Купол, VP1, VP3, VP4) и для сайтов, где породы были наклонены после их формирования (разрезы Тимофеевка и Угаткын). Фактически, это сравнение составляет тест складки [Butler, 1998; Храмов и др., 1982]. Результат этого теста (выполненного с использованием процедуры, описанной в работе [McFadden et al., 1990]), как видно из рис. 5, — положительный: сравнимые направления статистически неразличимы в стратиграфической (древней) системе координат и, очевидно, расходятся в географической (современной) системе координат. Поскольку деформации первичного

залегания пород на изученных участках происходили, вероятно, в ходе компенсационных прогибаний непосредственно вслед за формированием вулканических разрезов, положительный результат теста определенно указывает на то, что выделенная характеристическая компонента намагниченности образовалась во время или вскоре после излияния потоков.

Вторым аргументом в пользу первичности выделенной характеристической компоненты намагниченности является статистическое совпадение положения среднего полюса, полученного в настоящей работе, с положением полюса, представленного ранее в работе [Stone et al., 2009] для относительно недалеко расположенных вулканических пород ОЧВП близкого возраста ( $Plat = 67.0^\circ$  с.ш.,  $Plong = 171.0^\circ$  в.д., при  $A95 = 9.8^\circ$  и  $N = 40$ ). Угловое расстояние между этими полю-



**Рис. 3.** Распределение направлений характеристических компонент в изученных разрезах: кружки — средние направления по сайтам; залитые кружки отмечают проекции на нижнюю полусферу; незалитые кружки — на верхнюю полусферу.

сами составляет  $5.6^\circ$  при погрешности его определения (вычисленной согласно [DeBiche et al., 1995]) равной  $8.4^\circ$

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчитанный нами средний полюс для Чукотского блока получен на основе данных по 60 сайтам. Эти сайты представляют, в основном, вулканические потоки, изученные в 5 разрезах, удаленных друг от друга на десятки и сотни километров. При этом, судя по имеющимся изотопным датировкам (см. табл. 1), возраст пород разрезов Тимофеевка, Купол, Угаткин и VP1 может быть на несколько миллионов лет больше, чем таковой для разрезов VP3 и VP4.

Это обстоятельство, так же как и довольно значительное количество изученных потоков, дает основание считать, что полученный нами полюс усредняет в себе геомагнитные вековые вариации и, таким образом, может рассматриваться как палеомагнитный. На основании имеющихся данных мы оцениваем возраст этого полюса как  $\sim 85$  млн лет.

Расчитанные координаты полюса (см. выше) указывают на то, что формирование изученных пород происходило на очень высоких широтах в непосредственной близости от географического полюса. Для условной средней точки района работ с координатами  $67^\circ$  с.ш. и  $173^\circ$  в.д. расчетная палеоширота на время  $\sim 85$  млн лет составляет  $83.6^\circ \pm 6.1^\circ$ .

Поскольку в работе [Stone et al., 2009] представлены палеомагнитные результаты по породам ОЧВП близкого возраста, мы можем объединить наши данные с данными Д. Стоуна с соавторами и рассчитать несколько более точный полюс. Расчет объединенного среднего полюса выполнен путем осреднения виртуальных геомагнитных полюсов, полученных по нашим сайтам, с таковыми, рассчитанными по вулканическим сайтам из работы [Stone et al., 2009]. Координаты такого объединенного полюса составляют:  $Plat = 69.3^\circ$ ,  $Plat = 180.7^\circ$ , при  $A95 = 5.1^\circ$  и  $N = 99$ . Используя этот полюс, мы можем точнее определить палеошироту условной средней точки, ее оценка будет составлять  $86.3^\circ \pm 5.1^\circ$ .

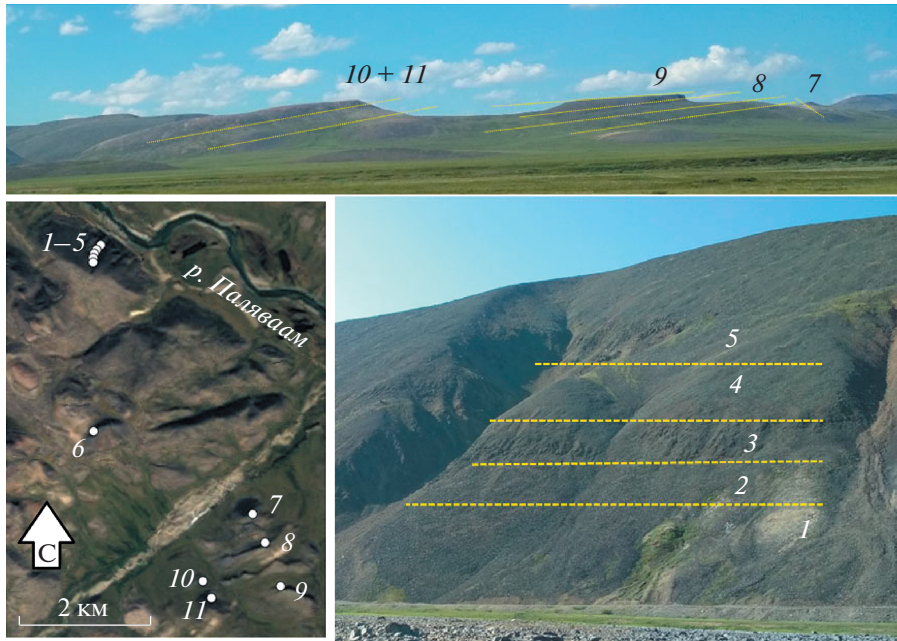


Рис. 4. Залегание потоков в районе отбора VP1. Сверху – верхняя часть разреза, справа внизу – нижняя часть разреза, слева внизу – схема расположения обнажений потоков на местности.

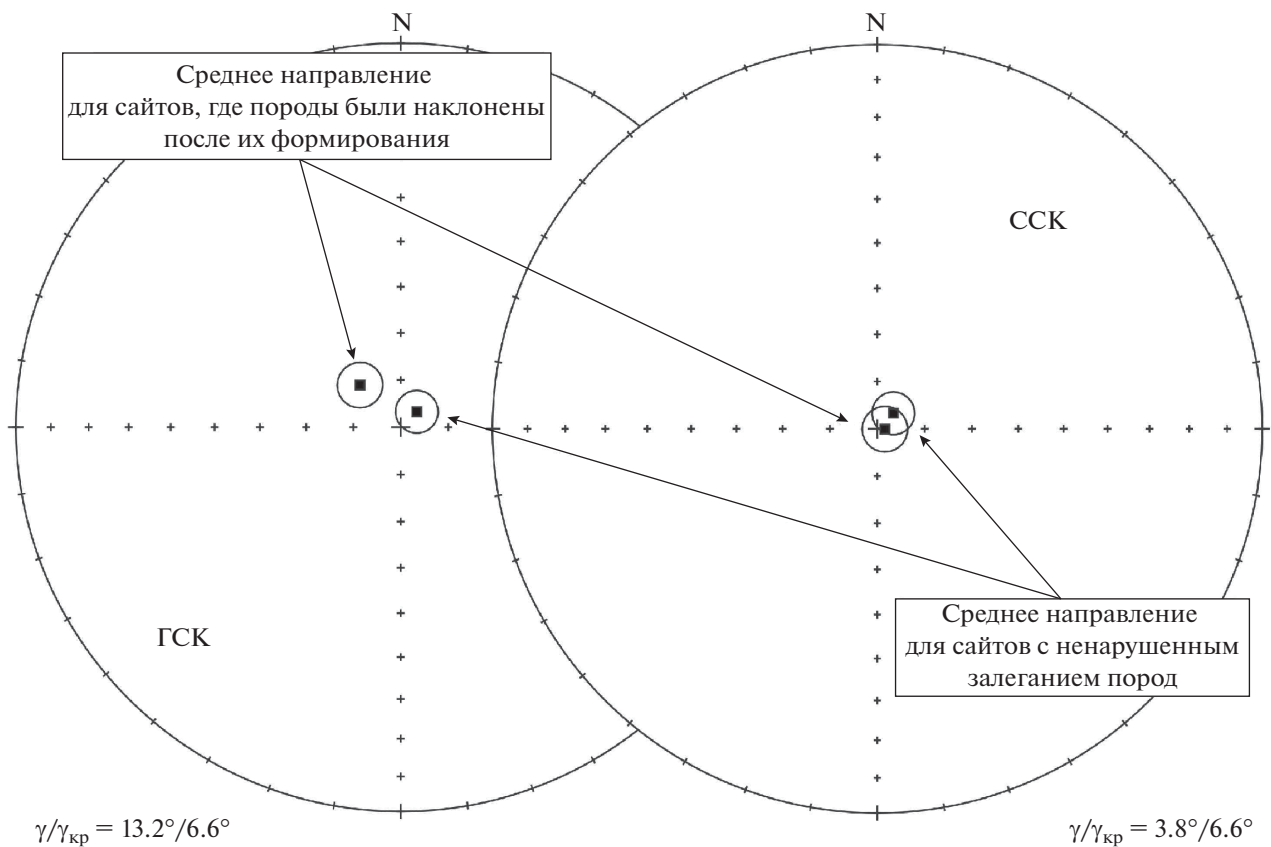


Рис. 5. Сравнение средних направлений, рассчитанных для сайтов с ненарушенным залеганием пород и для сайтов, где породы были наклонены после их формирования. Средние направления показаны залитыми квадратами. Стереограмма слева показывает направления в географической системе координат (ГСК), справа – в стратиграфической системе координат (ССК).  $\gamma/\gamma_{кр}$  – угловое расстояние между сравниваемыми направлениями и соответствующий критический угол [McFadden, McElhinny, 1990].

В течение долгого времени источником сведений о положении мезозойских палеомагнитных полюсов Северной Америки и Евразии служила работа [Besse et al., 2003]. Однако в последнее десятилетие появились две новые работы [Kent et al., 2010; Torsvik et al., 2012], которые предлагают несколько иные, обновленные полюсы для этих плит. Отметим, что если для Северной Америки “новые” полюсы лежат в непосредственной близости от ранее предлагавшихся, то “старые” и “новые” полюсы Евразии существенно различаются. Соответственно, от того, какие полюсы мы выберем в качестве референтных для Евразии, будет существенно зависеть оценка перемещения Чукотского блока относительно Евроазиатской плиты. Если так, то имеет смысл попытаться сравнить надежность оценок положения палеомагнитных полюсов, предлагаемых названными авторами для Евразии для временного уровня 80–90 млн лет.

Кривые (траектории) кажущейся миграции полюса (ТКМП), по которым определяются полюсы Бесса и Куртийо [Besse et al., 2003], получены по следующему алгоритму. Отобранные по результатам селекции конкретные палеомагнитные полюсы разных плит пересчитываются с использованием кинематических моделей на одну плиту (Южную Африку). Затем, с использованием скользящего окна длиной 20 млн лет, эти полюсы усредняются и строится синтетическая кривая (траектория) кажущейся миграции полюса, которая представляет собой последовательность средних полюсов, определенных для разных временных уровней. Затем, полученная ТКМП пересчитывается, опять же, с помощью выбранных кинематических моделей на конкретные плиты.

По такому же алгоритму получены полюсы Кента и Ирвинга [Kent et al., 2010], с той лишь разницей, что ими была использована несколько расширенная по сравнению с работой [Besse et al., 2003] выборка исходных полюсов, все полюсы пересчитывались на Северо-Американскую плиту, и ТКМП строилась только для Северо-Американской плиты.

В отличие от выше названных работ, авторы статьи [Torsvik et al., 2012] строили ТКМП для Северной Америки и Евразии, опираясь только на данные, полученные по этим плитам. Достоинство такого подхода состоит в том, что в конечный результат не закладываются погрешности, связанные с кинематическими моделями. Недостаток в том, что существенно уменьшается количество используемых полюсов, с соответствующей потерей точности. Из-за того, что для рассматриваемого интервала времени количество исходных полюсов для Северной Америки и Евразии особенно мало, этот недостаток может самым серьезным образом сказаться на “помехо-

защищенности” результирующих средних полюсов. Последнее, соответственно, порождает существенные сомнения в надежности Северо-Американских и Евроазиатских полюсов 80–90 млн лет из работы [Torsvik et al., 2012].

Северо-Американские полюсы из работы [Torsvik et al., 2012], однако, поддерживаются тем обстоятельством, что они близки к одновозрастным полюсам, полученным другим методом и по другим выборкам [Besse et al., 2003; Kent et al., 2010]. Что же касается Евроазиатских полюсов из работы [Torsvik et al., 2012], то сомнения в отношении их еще более усиливаются в силу уже отмеченного выше их заметного отличия от соответствующих полюсов, предлагавшихся в других работах (см. табл. 2).

Представляется, что на настоящий момент наиболее корректные средние полюсы для рассматриваемых плит могут быть рассчитаны через приложение метода, использованного Бессом и Куртийо, к выборке полюсов из работы [Torsvik et al., 2012]. Последняя значительно расширена по сравнению с выборкой из работы [Besse et al., 2003] и, соответственно, при прочих равных является более солидной основой для определения надежных средних полюсов. Полюсы, рассчитанные таким образом для Северо-Американской и Евроазиатской плит для времени ~85 млн лет, приведены в табл. 2. Интересно отметить, что полюс, рассчитанный нами для Евразии (табл. 2), статистически неотличим ( $\gamma/\gamma_{кр} = 2.4/5.1^\circ$ , [Debiche et al., 1995]) от хорошо обоснованного и независимо полученного Южносибирского позднемелового полюса ( $Plat = 82.8^\circ$ ,  $Plat = 188.5^\circ$ , при  $A95 = 6.1^\circ$ ), представленного в работе [Метелкин и др., 2007]. Этот факт мы рассматриваем как дополнительный аргумент в пользу надежности рассчитанного нами Евроазиатского полюса.

Теперь мы можем обратиться к вопросу об относительных перемещениях рассматриваемых тектонических блоков. Отметим, что какой бы из полюсов Северо-Американской плиты мы не сравнивали с нашим Чукотским полюсом (см. табл. 2), результат оказывается одинаков: палеомагнитные данные определенно указывают на то, что с 80–90 млн лет назад по настоящее время Чукотский блок испытал сравнительно небольшие, но, тем не менее, вполне фиксируемые перемещения относительно Северо-Американской плиты. Таким образом, наши данные указывают на то, что, по крайней мере, часть времени из последних 80–90 млн лет Чукотка не являлась *sensu stricto* составной частью Северо-Американской плиты.

Представляется, что наиболее корректно масштаб и характер перемещений Чукотки относительно Северо-Американской плиты может быть оценен путем сравнения Чукотского и Северо-

**Таблица 2.** Угловые расстояния между палеомагнитными полюсами Чукотского блока, Евразии и Северной Америки

Возраст полюсов	Координаты полюсов	Угловое расстояние до ~85 млн лет палеомагнитного полюса Чукотского (палео)микроконтинента (Plat = 69.3°, Plong = 180.7°, при A95 = 5.1° и N = 99 – настоящая работа)	Палеошироты, рассчитанные на условную среднюю точку района работ с координатами 67° с.ш. и 173° в.д.
Палеомагнитные полюсы Евразии [Besse, Courtillot, 2003]			
80 млн лет	Plong = 206.1°; Plat = 81.4°; A95 = 5.9°; N = 14	13.1° ± 5.8°	73.6° ± 5.9°
90 млн лет	Plong = 202.1°; Plat = 82.2°; A95 = 5.1°; N = 13	13.4° ± 5.4°	73.4° ± 5.1°
Палеомагнитные полюсы Евразии [Torsvik et al., 2012]			
80 млн лет	Plong = 156.7°; Plat = 73.5°; A95 = 3.9°; N = 4	8.3° ± 4.5°	81.5° ± 3.9°
90 млн лет	Plong = 159.0°; Plat = 74.2°; A95 = 6.2°; N = 4	7.8° ± 5.4°	81.5° ± 6.2°
Палеомагнитный полюс Евразии (настоящая работа)			
85 млн лет	Plong = 176.4°; Plat = 80.4°; A95 = 2.7°; N = 27	10.9° ± 4.4°	76.6° ± 2.7°
Палеомагнитные полюсы Северной Америки [Besse, Courtillot, 2003]			
80 млн лет	Plong = 207.4°; Plat = 74.7°; A95 = 5.9°; N = 14	9.3° ± 5.8°	76.6° ± 5.9°
90 млн лет	Plong = 207.4°; Plat = 75.5°; A95 = 5.1°; N = 13	9.7° ± 5.4°	76.4° ± 5.1°
Палеомагнитные полюсы Северной Америки [Torsvik et al., 2012]			
80 млн лет	Plong = 202.8°; Plat = 75.9°; A95 = 7.9°; N = 4	8.6° ± 6.7°	77.3° ± 7.9°
90 млн лет	Plong = 197.2°; Plat = 75.7°; A95 = 6.3°; N = 4	7.6° ± 5.4°	78.5° ± 6.3°
Палеомагнитные полюсы Северной Америки [Kent, Irving, 2010]			
80 млн лет	Plong = 195.0°; Plat = 75.2°; A95 = 4.5°; N = 6	8.6° ± 6.7°	79.3° ± 4.5°
90 млн лет	Plong = 190.6°; Plat = 75.5°; A95 = 3.4°; N = 8	7.6° ± 5.4°	79.9° ± 3.4°
Палеомагнитный полюс Северной Америки (настоящая работа)			
85 млн лет	Plong = 185.0°; Plat = 76.1°; A95 = 2.7°; N = 27	6.5° ± 4.4°	80.2° ± 2.7°

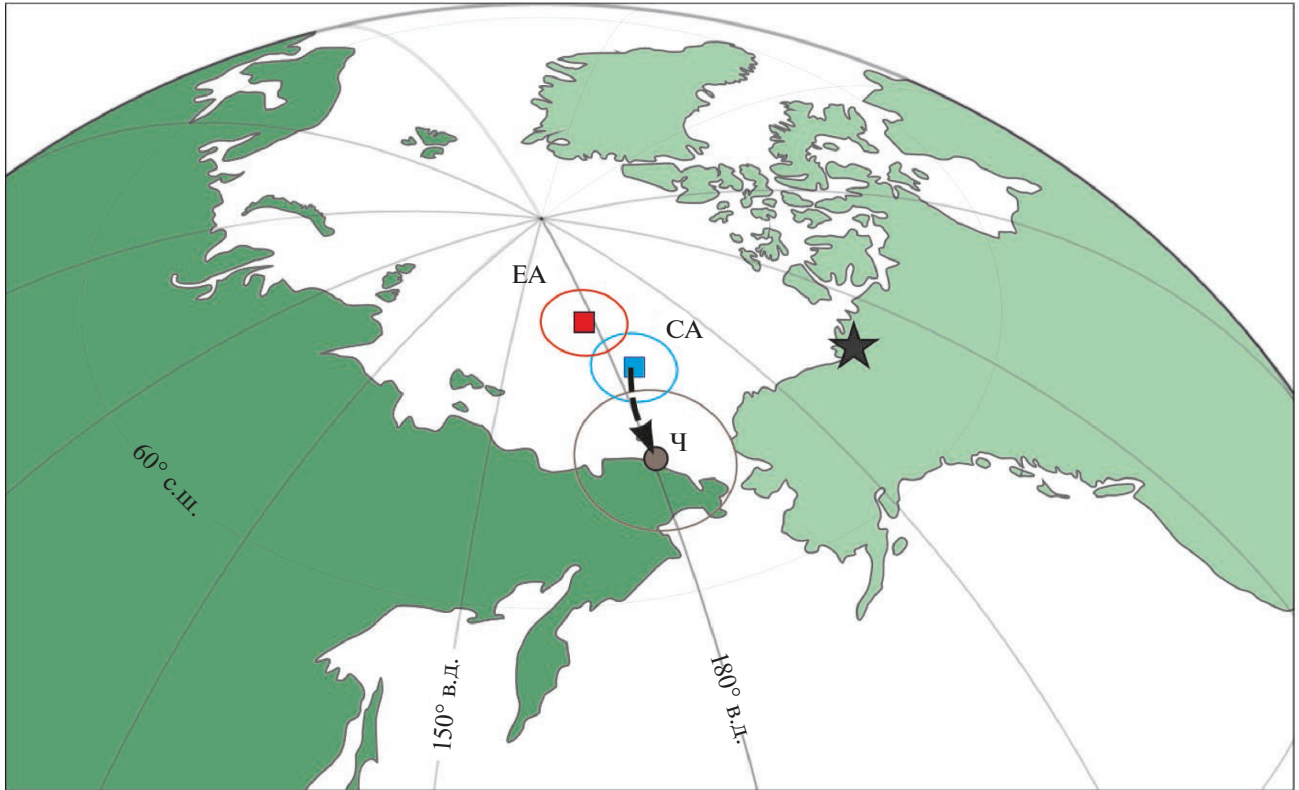
Примечание: Plat, Plong, A95 – широта, долгота и радиус круга доверия палеомагнитных полюсов. N – число индивидуальных полюсов, на основании которых рассчитаны координаты среднего полюса.

Американского полюсов, полученных в настоящей работе. Эти полюсы показаны на рис. 6.

Хотя их круги доверия перекрываются, строгий тест в работе [DeBiche et al., 1995] подтверждает статистически значимое различие этих полюсов (см. табл. 2). Отметим, что наблюдаемое расхождение Чукотского и Северо-Американского полюсов могло быть обеспечено вращением Чукотки относительно Северной Америки вокруг

эйлеровского полюса, находящегося в районе устья р. Маккензи (~69° с.ш. и 135° з.д.) на угол порядка 10°–15° по часовой стрелке (см. рис. 6). Подобное вращение Чукотки в составе Аляскинско-Чукотского микроконтинента предлагалось для объяснения возникновения Амеразийского бассейна в Восточной Арктике (ротационная гипотеза [Grantz et al., 2011]). При этом предполагалось, что такое вращение могло продолжаться ли-





**Рис. 6.** Сравнение полюса Чукотки с Северо-Американским и Евразийским полюсами для времени  $\sim 85$  млн лет. Серый круг (Ч) – Чукотский полюс; синий квадрат – Северо-Американский полюс, красный квадрат – Евразийский полюс. Полюсы показаны с соответствующими кругами доверия. Черная звезда – предполагаемое расположение полюса Эйлера в районе дельты р. Маккензи для возможного смещения (пунктирная стрелка) Чукотского полюса относительно Северо-Американского полюса.

бо до апт-альбского времени ( $\sim 110$  млн лет назад [Parfenov et al., 2009; Соколов, 2010]), либо вплоть до второй половины позднего мела ( $\sim 80$ – $70$  млн лет назад [Miller et al., 2018]). Наши данные, скорее, согласуются со второй точкой зрения.

Полученные данные позволяют оценить относительные широтные смещения Чукотки (здесь и далее – в составе Чукотско-Колымско-Омолонского блока) и Северо-Американской плиты за последние 80–90 млн лет (рис. 7). Если бы все это время Чукотка входила в состав Северо-Американской плиты, широта условной средней точки во время образования изученных пород составляла бы  $80.2^\circ \pm 2.7^\circ$  (см. табл. 2). Наш результат указывает на то, что в это время Чукотка находилась на еще более высоких широтах (см. выше). Разница наблюдаемых и ожидаемых палеоширот составляет  $6.1^\circ \pm 5.8^\circ$ , что (с учетом величины радиусов кругов доверия A95 сравниваемых полюсов) дает следующий 95%-ный доверительный интервал для оценки относительных широтных смещений: 1300–30 км.

Если относительные перемещения Чукотки и Северной Америки нам удастся зафиксировать только на пределе достигнутой точности, то срав-

нение Чукотского полюса с одновозрастным полюсом Евразии вполне уверенно указывает на существенные смещения Чукотки относительно Евразии за последние 80–90 млн лет. Из таблицы можно видеть, что соответствующие палеомагнитные полюсы различаются на угол  $10.9^\circ \pm 4.4^\circ$ , а палеоширотное смещение условной средней точки относительно Евразии составляет  $9.4^\circ \pm 5.8^\circ$ . В линейном выражении эти цифры отвечают 95%-му доверительному интервалу 1700–400 км.

На рис. 8 показано взаимное положение Северной Америки, Гренландии и Евразии для временного уровня  $\sim 85$  млн лет назад. Эта реконструкция построена на основе кинематической модели [Torsvik et al., 2012] и приведена к географическому полюсу с использованием палеомагнитного полюса Северной Америки, рассчитанного в настоящей работе для рассматриваемого временного уровня.

На эту реконструкцию нанесен Чукотско-Колымско-Омолонский блок в соответствии с его палеоширотным положением, определенным в настоящей работе. Хотя, как известно, палеомагнитный метод и не позволяет определять палеодолготы, известное положение Северной Амери-

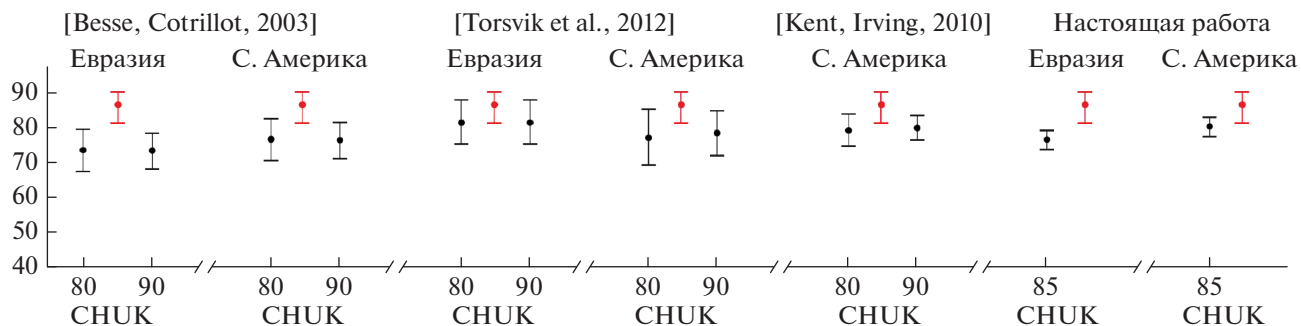


Рис. 7. Сравнение расчетных и экспериментально определенных палеоширот для Чукотки (условной средней точки с координатами 67° с.ш. и 173° в.д.) ~80–90 млн лет назад.

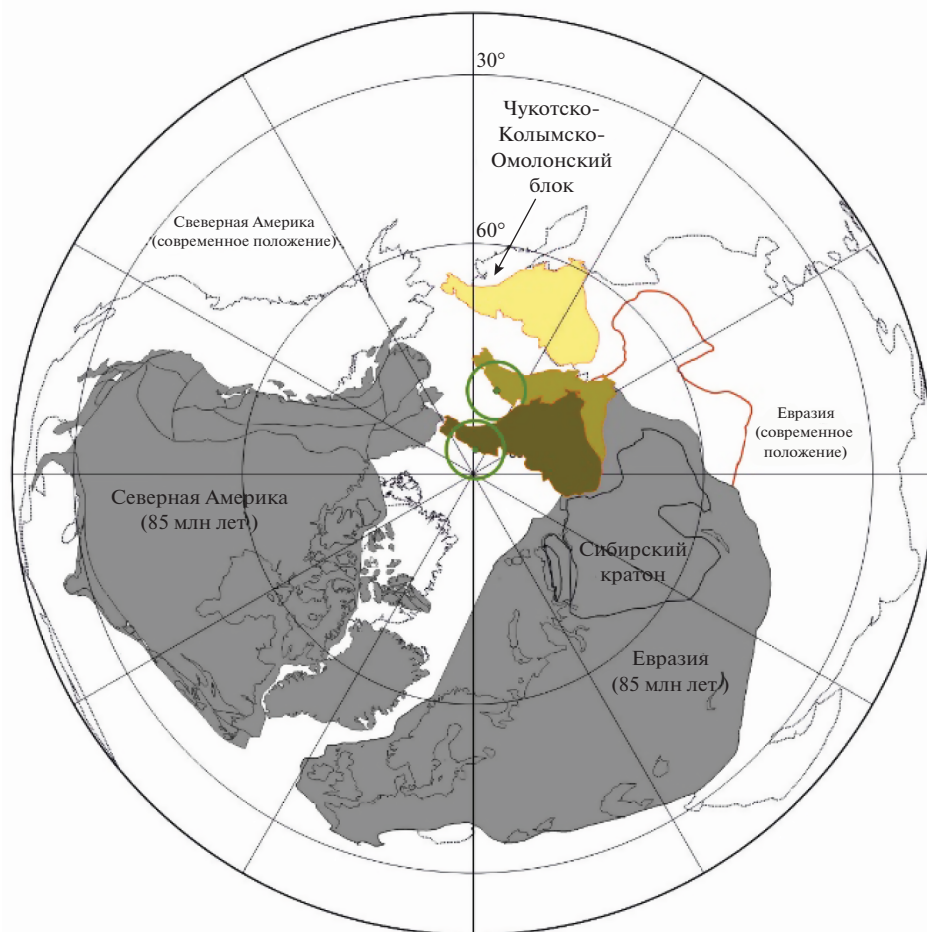


Рис. 8. Реконструкция положения Чукотско-Колымско-Омолонский блока, Северо-Американской и Евразийской плит ~85 млн лет назад. Положение Чукотско-Колымско-Омолонский блока в это время показывает темный серо-зеленый контур блока, его положение в это же время, в случае отсутствия его перемещений относительно Евразийской плиты отмечает светлый серо-зеленый контур блока; желтый контур блока отмечает современное положение блока в составе Евразийского континента. Залитый кружок и окружность вокруг него отмечают палеомагнитный полюс Чукотского блока для времени ~85 млн лет назад и круг 95% доверия для этого полюса.

ки, Евразии и прилегающих к ним арктических кратонных областей 85 млн лет назад не оставляет, фактически, места для иных вариантов положения Чукотско-Колымско-Омолонского блока, кроме того, что показан на рисунке.

Предлагаемая реконструкция положения Чукотско-Колымско-Омолонского блока предполагает, что этот блок испытал относительно небольшие (десятки—первые сотни километров), но статистически значимые перемещения к югу от

носителем Северо-Американской плиты и заметные (несколько сот километров) смещения относительно Евразийской плиты.

Предлагаемая реконструкция близка к таковой, предложенной в работе [Otofujii et al., 2015]. Однако, в отличие от последней, наша реконструкция построена на значительно более широкой статистической базе и не требует коллизии Чукотско-Колымско-Омолонского блока с Евразией после 80 млн лет назад.

Надежность предлагаемой реконструкции существенным образом зависит от надежности палеомагнитных полюсов Северной Америки и Евразии для временного уровня ~85 млн лет назад. Каждый из этих полюсов безупречен и требует дальнейшего уточнения. Подчеркнем, однако, что эти полюсы отвечают современному уровню изученности палеомагнетизма позднего мела этих и других плит и опираются на данные довольно большого количества независимых исследований (см., напр., [Torsvik et al., 2012]).

В рамках нашей работы мы не рассматриваем геологические аргументы в пользу или против предлагаемой реконструкции, поскольку считаем, что такая работа должна быть предметом самостоятельного геологического исследования.

Отметим только, что на существование позднемеловых, палеогеновых, также кайнозойских и современных тектонических движений (в том числе сдвигов) в области сочленения Чукотско-Колымско-Омолонского блока и Евразийской плиты указывалось, в частности, в трудах [Parfenov, 1991; Parfenov et al., 1995; Тимофеев и др., 2012; Gaina et al., 2002; Имаева и др., 2017]. Позднемеловая тектоническая активность в пределах Верхоянского складчато-надвигового комплекса, которая продолжалась “как минимум до ~70 млн лет назад” [Малышев и др., 2018], также может быть отражением этих движений. Существование тектонических движений в области границы Колымо-Омолонского (Чукотско-Колымо-Омолонского) блока и остальной части Евразии нисколько не противоречит общепринятому на сегодня мнению о мезозойской (~конец юры–начало мела) аккреции Колымо-Омолонского блока к Евразии.

Завершая статью, авторы хотели бы подчеркнуть, что они рассматривают предлагаемую реконструкцию как гипотезу, хотя и базирующуюся на серьезном основании, но, безусловно, нуждающуюся в детальном геологическом тестировании. Нам представляется, что такое тестирование должно стать предметом специального будущего исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнены палеомагнитные исследования обширных коллекций позднемеловых вулкани-

тов Чукотки, опробованных в Билибинском районе Чукотского автономного округа и вдоль трассы Певек–Эгвекинот. Большинство изученных пород содержит палеомагнитную запись хорошего качества.

2. Положительный результат теста складки и совпадение палеомагнитных полюсов, полученных в ходе данного исследования и исследования [Stone et al., 2009], выполненного в регионе по породам близкого возраста, свидетельствует в пользу первичности выделенной характеристической компоненты.

3. Объединение результатов, полученных в настоящей работе, с данными работы [Stone et al., 2009] позволяет с относительно высокой точностью рассчитать координаты палеомагнитного полюса для региона для возрастного уровня ~85 млн лет:  $Plat = 69.3^\circ$ ,  $Plat = 180.7^\circ$ , при  $A95 = 5.1^\circ$  и  $N = 99$ . Расчетная широта при этом для условной средней точки Чукотки ( $67^\circ$  с.ш. и  $173^\circ$  в.д.) составляет  $86.3^\circ \pm 5.1^\circ$ .

4. На основе выборки полюсов из работы [Torsvik et al., 2012] методом, использованным в работе [Besse et al., 2003], для Евразии рассчитан новый, как представляется, более корректный палеомагнитный полюс для ~85 млн лет назад.

5. Полученные данные указывают на существование за последние ~85 млн лет смещений Чукотки (Чукотско-Колымско-Омолонского блока) относительно Северо-Американской и Евразийской плит. Палеоширотное смещение условной средней точки Чукотки относительно Евразии за это время составляет  $9.4^\circ \pm 5.8^\circ$ , относительно Северной Америки –  $6.1^\circ \pm 5.8^\circ$ . В линейном выражении эти цифры отвечают 95%-м доверительным интервалам 1700–400 и 1300–30 км соответственно.

6. На основе полученных данных предложена реконструкция положения Чукотско-Колымско-Омолонского блока относительно Евразии и Северной Америки на ~85 млн лет назад. Эта реконструкция предполагает, что Чукотско-Колымско-Омолонский блок с этого времени и по современность испытал относительно небольшие (десятки–первые сотни километров) перемещения к югу относительно Северо-Американской плиты и заметное (несколько сот километров) смещение относительно Евразийской плиты.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда грант № 19-47-04110 (полевые работы, магнитные чистки, интерпретация данных) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 14.Y26.31.0029 по поставлению Правительства РФ № 220 (петромагнитные исследования).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Х., Миллер Э.Л., Вуден Дж., Горячев Н.А., Альшевский А.В., Бахарев А.Г., Трунилина В.А. U–Pb–SHRIMP возраст гранитоидов Главного батолитового пояса (Северо–Восток Азии) // Докл. РАН. 2009. Т. 426. № 2. С. 216–221.
- Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско–Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. 2011. Т. 19. № 2. С. 1–42.
- Белый В.Ф. Стратиграфия и структуры Охотско–Чукотского вулканогенного пояса М.: Наука. 1977. 190 с.
- Богданов Н.А., Тильман С.М. Тектоника и геодинамика северо–востока Азии (объяснительная записка к тектонической карте северо–востока Азии масштаба 1 : 5000000). М.: ИЛ РАН. 1992. 56 с.
- Буслов М.М. Тектоника и геодинамика Центрально–Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 1. С. 66–90.
- Имаева Л.П., Гусев Г.С., Имаев В.С., Ашурков С.В., Мельникова В.И., Середкина А.И. Геодинамическая активность новейших структур и поля тектонических напряжений северо–востока Азии // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 4. С. 737–768.
- Исаева Е.П., Звизда Т.В., Ушакова Д.Д. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист Q-60 – Анадырь. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2016. 341 с.
- Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Д., Шипилов Э.В. Геодинамическая модель развития арктического бассейна и примыкающих территорий для мезозоя и кайнозоя и внешняя граница континентального шельфа России // Геотектоника. 2013. № 1. С. 3–35.
- Мальшев С.В., Худoley А.К., Глазмахер У.А., Казакова Г.Г., Калинин М.А. Определение этапов формирования юго–западной части Верхоянского складчатого–надвигового пояса по данным трекового датирования апатита и циркона // Геотектоника. 2018. № 6. С. 55–68.
- Метелкин Д.В., Казанский А.Ю., Брагин В.Ю., Цельмович В.А., Лавренчук А.В., Кунгурцев Л.В. Палеомагнетизм позднемеловых интрузий минусинского прогиба (Южная Сибирь) // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 2. С. 238–253.
- Метелкин Д.В. Эволюция структур Центральной Азии и роль сдвиговой тектоники по палеомагнитным данным. Новосибирск: ИНГГ СО РАН. 2012. 460 с.
- Сахно В.Г., Полин В.Ф., Акинин В.В., Аленичева А.А., Тихомиров П.Л., Молл–Столкан Э.Дж. Разновременность формирования Амгуэмо–Канчаланского и Энмываамского вулканических полей ОЧВП по данным изотопного датирования // Докл. РАН. Сер. геол. 2010а. Т. 434. № 3. С. 365–371.
- Соколов С.Д. Очерки тектоники Северо–Востока Азии // Геотектоника. 2010. № 6. С. 60–78.
- Соколов С.Д., Тучкова М.И., Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лейер П. Тектоника Южно–Ануйской сутуры (Северо–Восток Азии) // Геотектоника. 2015. № 1. С. 5–30.
- Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Соловьев В.М., Шибаев С.В., Петров А.Ф., Горнов П.Ю., Шестаков Н.В., Бойко Е.В., Тимофеев А.В. Межплитные границы дальневосточного региона России по результатам GPS измерений, сейсморазведочных и сейсмологических данных // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 4. С. 489–507.
- Тихомиров П.Л., Акинин В.В., Исполатов В.О., Александр П., Черепанова И.Ю., Загоскин В.В. Возраст северной части Охотско–Чукотского вулканогенного пояса: новые данные Ag–Ag и U–Pb геохронологии // Стратиграфия. Геол. Корреляция. 2006. Т. 14. № 5. С. 67–81.
- Тихомиров П.Л. Меловой окраинно–континентальный магматизм северо–востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого вулканизма. Дис.... д. г.–м. н. М.: МГУ. 2018. 574 с.
- Ханчук А.И., Гребенников А.В., Иванов Альб–сеноманские окраинно–континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. 2019. № 3. С. 4–29.
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра. 1982. 312 с.
- Шаццло А.В. Взаимодействие Сибири и Балтики на финальном этапе амальгамации Евразийской части Пангеи // Физика Земли. 2015. № 2. С. 150–164.
- Besse J., Courtillot V. Correction to Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr // J. Geophys. Res. 2003. V. 108.
- Butler R.F. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geological Terranes. Blackwell Science Inc. 1992. 336 p.
- Debiche M.G., Watson G.S. Confidence limits and bias correction for estimating angles between directions with applications to paleomagnetism // J. Geophys. Res. 1995. V. 100. B12. P. 24405–24430.
- Didenko A.N., Bondarenko G.Y., Sokolov S.D., Kravchenko–Berezhnoy I.R. Jurassic–Cretaceous history of the Omolon massif, northeastern Russia: Geologic and paleomagnetic evidence. Tectonic evolution of the Bering Shelf – Shukchi Sea – Arctic Margin and adjacent landmasses / Ed. E.L. Miller, A. Grantz, S.L. Klemperer. Geological Society of America. Boulder. 2002. P. 225–241.
- Gaina C., Roest W.R., Muller R.D. Late Cretaceous Cenozoic deformation of northeast Asia // Earth Planet. Sci. Lett. 2002. V. 197. P. 273–286.
- Grantz A., Hart P.E., Childers V.A. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada basins, Arctic Ocean // Arctic Petroleum Geology: Geological Society of London Memoir. 2011. V. 35. P. 700–771.
- Kent D.V., Irving E. Influence of inclination error in sedimentary rocks on the Triassic and Jurassic apparent pole wander path for North America and implications for Cordilleran tectonics // J. Geophys. Res. 2010. V. 115.
- Kuzmichev A.B. Where does the South Anyui suture go in the New Siberian islands and Laptev Sea?: Implications for the Amerasia basin origin // Tectonophysics. 2009. V. 463. P. 86–108.
- Kuzmichev A.V., Sklyarov E.V. The Precambrian of Transgaria, Yenisey Ridge (Siberia): Neoproterozoic microcontinent, Grenville age orogeny, or reworked margin of the Siberian platform? // Asian J. Earth Sci. 2016. V. 115. P. 419–441.
- McFadden P.L., McElhinny M. Classification of reversal test in paleomagnetism // Geophys. J. Int. 1990. V. 103. P. 725–729.
- Miller E., Meisling K., Akinin V., Brumley K., Coakley B., Gottlieb E., Hoiland C., O'Brien T., Soboleva A., Toro J. Circum–Arctic Lithosphere Evolution (CALE) Transect C: displacement of the Arctic Alaska–Chukotka microplate towards the Pacific during opening of the Amerasia Basin of the Arctic // Geol. Soc. London. 2018. V. 460.

- Otofuji Y., Zaman H., Shogaki G., Seki H., Polin V., Miura D., Ahn H., Ivanov Y., Minyuk P., Petr Z. Paleomagnetism of the Late Cretaceous ignimbrite from the Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt, Kolyma-Omolon Composite Terrane: Tectonic implications // *J. of Geodynamics*. 2015.
- Parfenov L.M. Tectonics of the Verkhoyansk-Kolyma Mesozoides in the context of plate tectonics // *Tectonophysics*. 1991. V. 199. P. 319–342.
- Parfenov L.M., Prokopiev A.V., Gaiduk V.V. Cretaceous frontal thrusts of the Verkhoyansk fold belt, eastern Siberia // *Tectonics*. 1995. V. 14. P. 342–358.
- Parfenov L.M., Badarch G., Berzin N.A., Khanchuk A., Kuzmin, M.I., Nokleberg W., Prokopiev A., Ogasawara M., Yan H. Summary of Northeast Asia geodynamics and tectonics. Stephan Mueller Special Publication Series. 2009. V. 4.
- Sengör A.M.C., Natal'in B.A., Burtman V.S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia // *Nature*. 1993. V. 364. P. 299–307.
- Shepherd G.E., Müller R.D., Seton M. The tectonic evolution of the Arctic since Pangea breakup: Integrating constraints from surface geology and geophysics with mantle structure // *Earth-Sci. Rev.* 2013. V. 124. P. 148–183.
- Stone D.B., Layer P.W., Raikevich M.I. Age and paleomagnetism of the Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt (OCVB) near Lake El'gygytgyn, Chukotka, Russia // *Stephan Mueller Spec. Publ. Ser.* 4. 2009. P. 243–260.
- Tauxe L. *Essentials of Paleomagnetism*. Univ. of California Press. 2010. 489 p.
- Thébault E., Finlay C.C., Beggan C.D. et al. International Geomagnetic Reference Field: the 12th generation // *Earth Planet.* 2015. V. 67 P. 79–97.
- Tikhomirov P.L., Kalinina E.A., Moriguti T., Makishima A., Kobayashi K., Cherepanova I.Yu. Nakamura E. The Cretaceous Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt (NE Russia): geology, geochronology, magma output rates, and implications on the genesis of silicic LIPs // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2012. V. 221–222. P. 14–32
- Torsvik T., Van der Voo R., Preeden U., Macniocail C., Steinberger B., Doubrovine P., Hinsbergen D., Domeier M., Gaina C., Tohver E., Meert J., Mccausland P., Robin L., Cocks M. Phanerozoic Polar Wander, Palaeogeography and Dynamics // *Earth-Sci. Rev.* 2012. V. 114. P. 325–368.

## New Paleomagnetic Data on Late Cretaceous Chukotka Volcanics: the Chukotka Block Probably Underwent Movements Relative to the North American and Eurasian Plates after the Formation of the Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt?

I. E. Lebedev<sup>a, d, \*</sup>, P. L. Tikhomirov<sup>a</sup>, A. M. Pasenko<sup>a</sup>, B. Eid<sup>b</sup>, F. Lhuillier<sup>b</sup>, and V. E. Pavlov<sup>a, c</sup>

<sup>a</sup>*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia*

<sup>b</sup>*Department of Earth and Environmental Sciences, Ludwig Maximilian University, Munich, 80539 Germany*

<sup>c</sup>*Kazan (Volga) Federal University, Kazan, 420008 Russia*

<sup>d</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

\**e-mail: lebedev232@ya.ru*

Several Late Cretaceous volcanic sections of the Okhotsk–Chukotka volcanic belt have been paleomagnetically studied in the Bilibino region of the Chukotka Autonomous Okrug and along the Pevek–Egvekenot road. Extensive collections have been acquired and analyzed. The laboratory experiments isolated the ancient characteristic magnetization component reflecting the direction of the geomagnetic field at the time of formation of the studied rocks (~85 Ma ago). The primary character of the revealed characteristic magnetization component is supported by the positive regional fold test and by the coincidence of the paleomagnetic pole calculated from this component with the pole previously obtained for Chukotka from the rocks of the similar age (Stone et al., 2009). The paleomagnetic pole calculated from the combination of the previous and our newly obtained data (Plat = 69.3°, Plong = 180.7°,  $N = 99$ ,  $A95 = 5.1^\circ$ ) indicates that the sampled rocks were formed in the immediate vicinity of the geographic pole. The reliability of the existing Late Cretaceous paleomagnetic poles for Eurasia and North America is analyzed and the refined poles for these plates are calculated for the time of ~85 Ma. With the allowance for the paleomagnetic poles calculated for that time, a reconstruction of the position of the Chukotka–Kolyma–Omolon block relative to Eurasia and North America is proposed. This reconstruction implies that from the time of formation of the studied rocks up to the present, the Chukotka–Kolyma–Omolon block has undergone relatively small (tens to first hundreds km) southward movements relative to the North American plate and has been noticeably shifted (by a few hundred km) relative to the Eurasian plate. Our reconstruction is close to that proposed in (Otofuji et al., 2015) but, in contrast to the latter, it does not require a collision between the Chukotka–Kolyma–Omolon block and Eurasia after the time moment of 80 Ma ago.

*Keywords:* paleomagnetism, Chukotka, volcanics, Late Cretaceous, paleoreconstructions