

УДК 550.384

## ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ СУБВУЛКАНИЧЕСКИХ ТРАППОВ СЕВЕРА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ – НЕКОТОРЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

© 2012 г. Р. В. Веселовский<sup>1,2</sup>, К. М. Константинов<sup>3</sup>, А. В. Латышев<sup>1,2</sup>, А. М. Фетисова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2</sup>Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Научно-исследовательское геологическое предприятие АК “АЛРОСА”, г. Мирный

Поступила в редакцию 05.09.2011 г.

В настоящей работе приведены новые палеомагнитные данные по дайкам, силлам и вулканическим потокам, расположенным на севере Сибирской платформы и не охваченным ранее систематическими палеомагнитными исследованиями. Анализ полученных и опубликованных ранее данных дает важные временные ограничения на продолжительность и характер развития пермо-триасовых магматических событий в рассматриваемых регионах. Наши результаты еще раз иллюстрируют, что для получения точной оценки положения палеомагнитного полюса при уровне вековых вариаций, сопоставимых с современными, на северных палеоширотах необходимо опробовать не менее 30–40 быстро остывающих магматических тел (даек, потоков, небольших силлов).

*Ключевые слова:* Сибирская платформа, траппы, пермь-триас, палеомагнетизм, вековые вариации.

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что палеомагнитные исследования пермо-триасовых траппов Сибирской платформы имеют уже более чем полувекую историю, изучены они крайне неравномерно. В первую очередь палеомагнитными исследованиями охватывались (что неудивительно) мощные толщи эффузивных траппов двух наиболее представительных трапповых провинций – Норильской и Маймеча-Котуйской. При этом изучение проявлений траппового магматизма в других районах носило скорее отрывочный и несистематический характер, часто осуществлялся попутно, в качестве дополнения к другим исследованиям. Между тем, палеомагнитная информация по эффузивным и интрузивным трапповым образованиям из разных регионов Сибирской платформы необходима для решения широкого круга задач, таких как: уточнение положения пермо-триасового палеомагнитного полюса Сибирской платформы, изучение геометрии геомагнитного поля на рубеже палеозойской и мезозойской эр, оценка возможности пространственной миграции магматических центров, получение временных ограничений на длительность пермо-триасового магматизма в регионах и на платформе в целом, ряд задач геологического картирования и др.

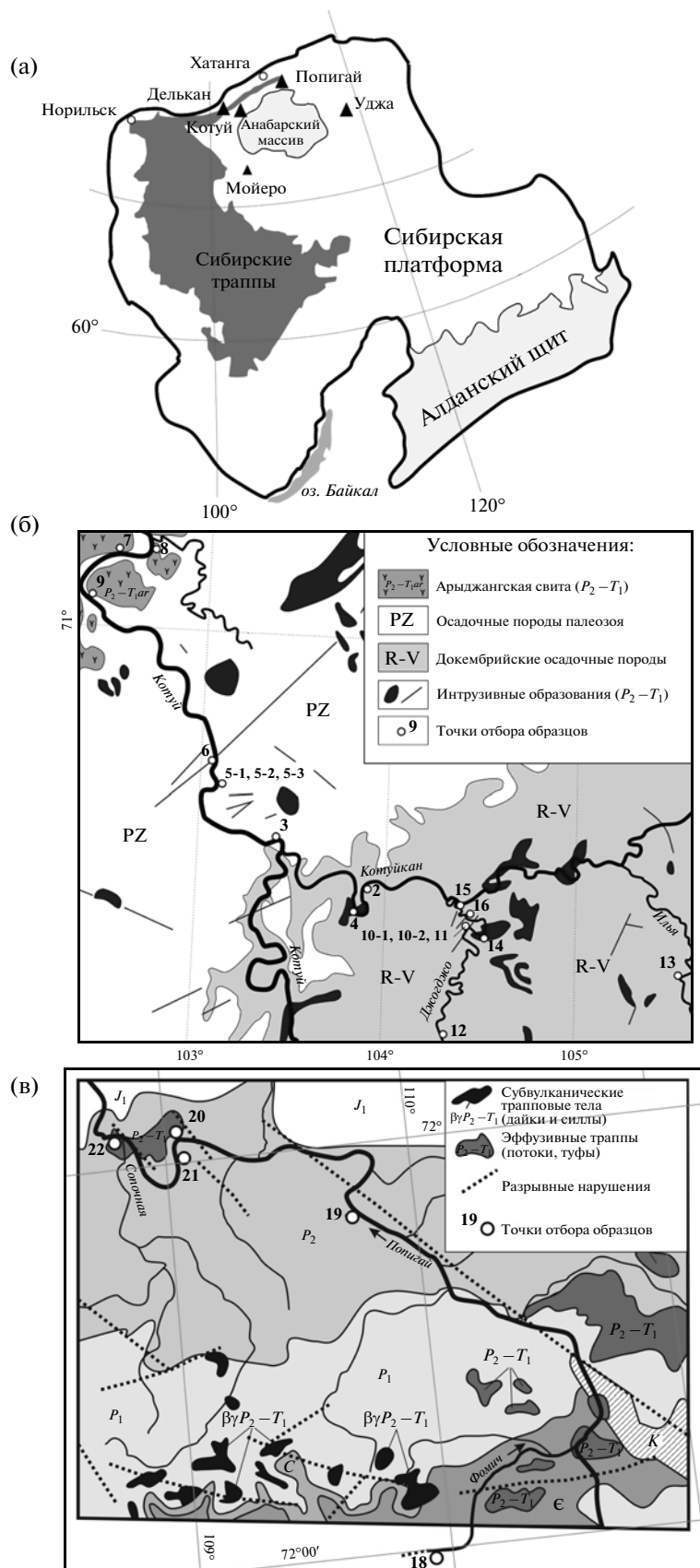
В настоящей работе приводятся палеомагнитные данные по дайкам, силлам и, в значительно меньшей степени, эффузивным трапповым образованиям пермо-триасового возраста, располо-

женным на севере Сибирской платформы и не охваченным ранее систематическими палеомагнитными исследованиями.

### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Бассейн р. Котуй.** Палеомагнитные исследования проводились на интрузивных телах (дайки и силлы) пермо-триасового возраста [Объяснительная записка... , 1978], расположенных в долинах рек Котуй и Котуйкан, а также левых притоков р. Котуйкан – рек Джогджо и Илья (рис. 1а, 1б). Состав и форма даек существенно различаются: долеритовые дайки преимущественно субвертикальны и имеют значительную мощность (5–30 м); дайки щелочных пород обычно маломощны (не более первых метров) и имеют причудливую конфигурацию с обилием коленообразных пережимов. Исследованные дайки и силлы внедрены в субгоризонтально залегающую толщу осадочного чехла, начиная с рифейских и заканчивая верхнепермскими осадочными породами. Геохронологические определения изотопного возраста изученных тел отсутствуют. Всего отобрано 233 образца.

**В нижнем течении р. Маймеча,** в устье р. Делькан (рис. 1а), были опробованы щелочные лампрофиры, слагающие структуру типа “дайка в дайке”. Согласно [Объяснительная записка... , 1996] структура состоит из более чем 40 маломощных полудаек, имеющих зоны закалки (1–5 см) и



**Рис. 1.** Объекты исследований: (а) – географическое расположение районов исследований (Котуй, Делькан, Попига́й, Улджа) и района р. Мойеро [Pavlov et al., 2007]; (б) – размещение исследованных интрузивных тел на геологической схеме бассейна р. Котуй; (в) – исследованные интрузивные тела в долине рек Попига́й и Фомич.

характеризующихся постоянством состава. С одной стороны, наличие контактовых зон означает, что более древняя дайка успевала застыть перед внедрением последующей дайки, т.е. между инъекциями новых порций магмы проходило некоторое время. С другой стороны, одинаковый состав даек свидетельствует об отсутствии эволюционирования магмы, что, скорее всего, говорит о непродолжительности образования всей структуры.

Из 20 последовательно залегающих полудаек, мощность каждой из которых не превышает 70 см, было отобрано в общей сложности 100 ориентированных образцов. Контакты даек наклонены: азимут падения составляет  $60^\circ$  СВ при среднем угле падения  $75^\circ$ , что согласуется с элементами залегания прорванных этими дайками лав маймечинской свиты и залегающей ниже дельканской свиты. Предполагая первично вертикальное залегание даек, мы использовали эти величины для пересчета полученных палеомагнитных направлений в древнюю (стратиграфическую) систему координат.

Исследованные дайки относятся к образованиям усть-дельканского комплекса [Объяснительная записка..., 1996] и могут рассматриваться как наиболее молодые магматические образования Маймеча-Котуйской провинции, поскольку они прорывают карбонатиты последней фазы внедрения Гулинского плутона [Объяснительная записка..., 1996], возраст которых, согласно изотопно-геохронологическим данным, составляет  $250.2 \pm 0.3$  млн. лет [Kamo et al., 2003].

**Бассейн р. Попигай.** Для проведения палеомагнитных исследований в нижнем течении р. Попигай и его левого притока р. Фомич (рис. 1а, 1в) нами были опробованы две дайки основных пород, мощностью 70 см и 5 м, прорывающие залегающие субгоризонтально кембрийские карбонатные породы. Кроме того, в трех обнажениях в районе с. Сопочное были опробованы базальтовые потоки (до 5 в каждом обнажении), мощность каждого из которых не превышала 8 м. Всего было отобрано 66 образцов.

**Бассейн р. Уджа** (рис. 1а). Нами отобраны образцы траппов на двух участках (рис. 2а). На участке 1 (восточный борт Анабарской антеклизы), в нижнем течении р. Уджа, от устья р. Чымара до р. Анабар (рис. 2б), изучены долериты Уджинского силла (обн. 26, 34, 58, 58', 72, 74 и 79) и щелочные базиты эбехаинского интрузивного комплекса [Томшин и др., 1997] – трахидолериты (обн. 28, 30, 56 и 76), трахиандезиты (обн. 71) и монцонитпорфиры (обн. 57). Полевыми наблюдениями установлено, что образцы из обн. 58' представляют контактовую зону пересечения силла долеритов дайкой трахидолеритов. Участок 2 (Билиро-Уджинское поднятие) располо-

жен в верхнем течении р. Уджа, в районе устья ее левого притока р. Томтор (рис. 2в). Здесь изучены долериты Верхнеуджинского интрузива – 4 дайки (обн. 4, 6, 8а и 8б) и силл (обн. 17), которые прорывают терригенно-карбонатные породы томторской свиты венда и перекрываются по размытой поверхности нижнеюрскими отложениями плинсбахского яруса, залегающими субгоризонтально. Возраст долеритов, выполненный Ag/Ag методом по монофракции плагноклаза, оценивается в 245–232 млн. лет [Константинов и др., 2009]. Всего было отобрано 172 образца.

## ПАЛЕОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ

### Методика палеомагнитных исследований

Отбор палеомагнитных коллекций производился вручную, при ориентировке штуфов в пространстве использовался горный компас. Каждый геологический объект (дайка, силл, лавовый поток) опробовался в одном сайте; в каждом сайте отбиралось от 10 до 25 ориентированных штуфов. Из каждого штуфа на камнерезном станке выпиливался один образец кубической формы с ребром 1 или 2 см.

Лабораторные палеомагнитные исследования выполнялись в Институте физики Земли РАН (г. Москва), Петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ и Специализированной партии петрофизических исследований Амакинской ГРЭ АК “АЛРОСА” (пгт. Айхал) в соответствии со стандартной методикой [Zijderveld, 1967; Храмов и др., 1982; Шипунов, 1999; McFadden, 1988; McFadden, McElhinny, 1990; Torsvik et al., 1990]. Все образцы были подвергнуты детальной температурной чистке, которая выполнялась до температур  $580\text{--}630^\circ\text{C}$ ; коллекции траппов бассейна р. Уджа также подвергались чистке переменным магнитным полем до 100 мТл. При температурной чистке образцы в печи располагались произвольно. Число шагов чистки составляло обычно не менее 12, в ряде случаев детальность чистки увеличивалась. Для размагничивания образцов использовались немагнитные печи (TD-80 (Magnetic Measurements Ltd., Великобритания), TD-48 (ASC, США)) и размагничивающие устройства переменного тока AF-Demagnetizer (Molspin LTD, Великобритания) с величиной нескомпенсированного поля не более 5–10 нТл. Измерения остаточной намагниченности производились на спин-магнитометрах производства AGICO (Чехия): JR-4, JR-5, JR-6.

Измерения намагниченности выполнялись в пространстве, экранированном от внешнего магнитного поля. Обработка измерений выполнялась при помощи пакета программ Энкина [Enkin, 1994], использующего при выделении компонент намагниченности метод PCA [Kirschvink,

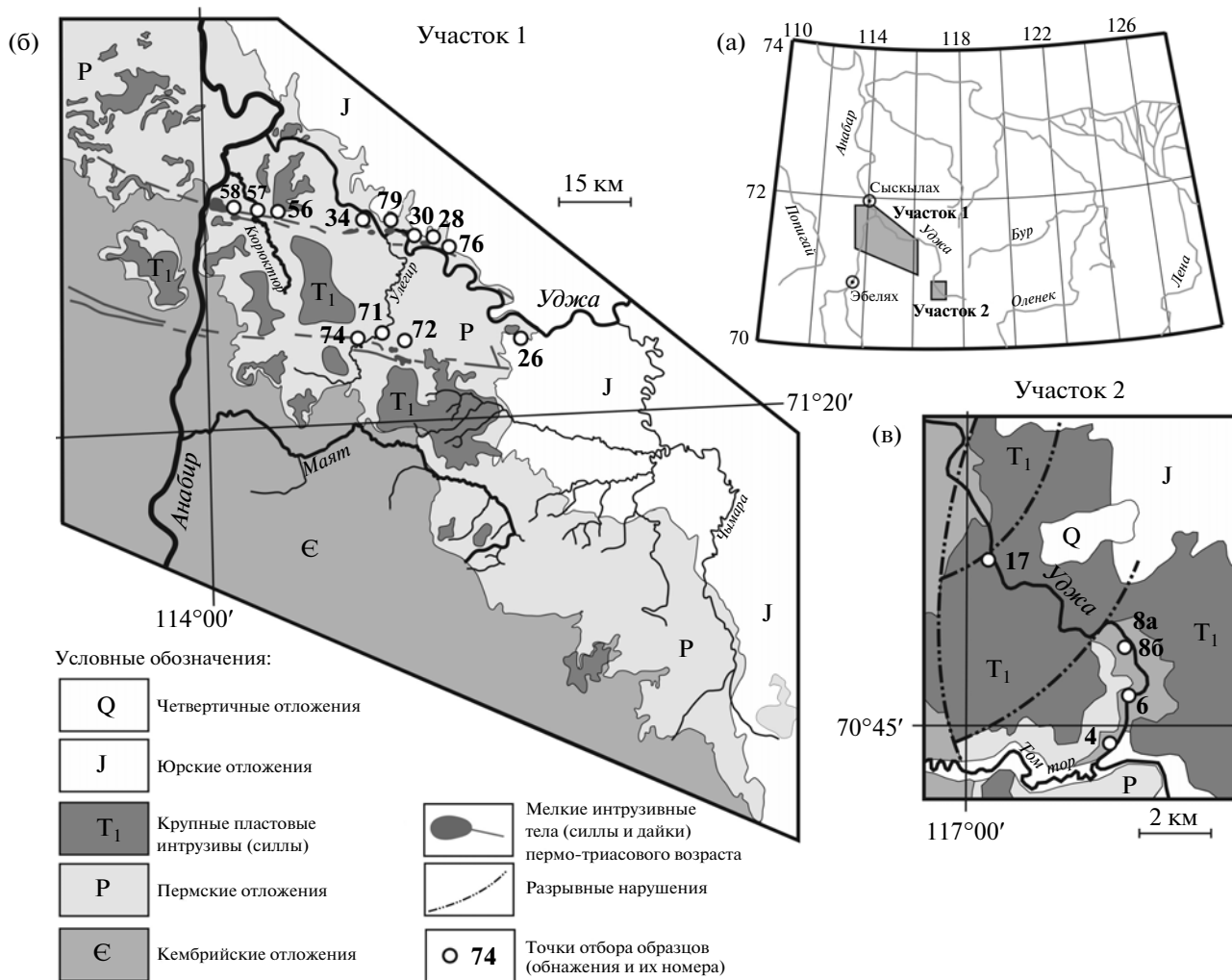


Рис. 2. Объекты исследований в бассейне р. Уджа: (а) – географическое расположение участков 1 и 2; (б), (в) – размещение исследованных магматических тел на геологической схеме участка 1 и участка 2 соответственно.

1980]. Расчет параметров вековых вариаций производился с использованием пакета программ Л. Токс [Таухе, 2010]. Здесь и далее под термином “вековые вариации геомагнитного поля” подразумевается исключительно изменение направления геомагнитного поля в результате вековых вариаций.

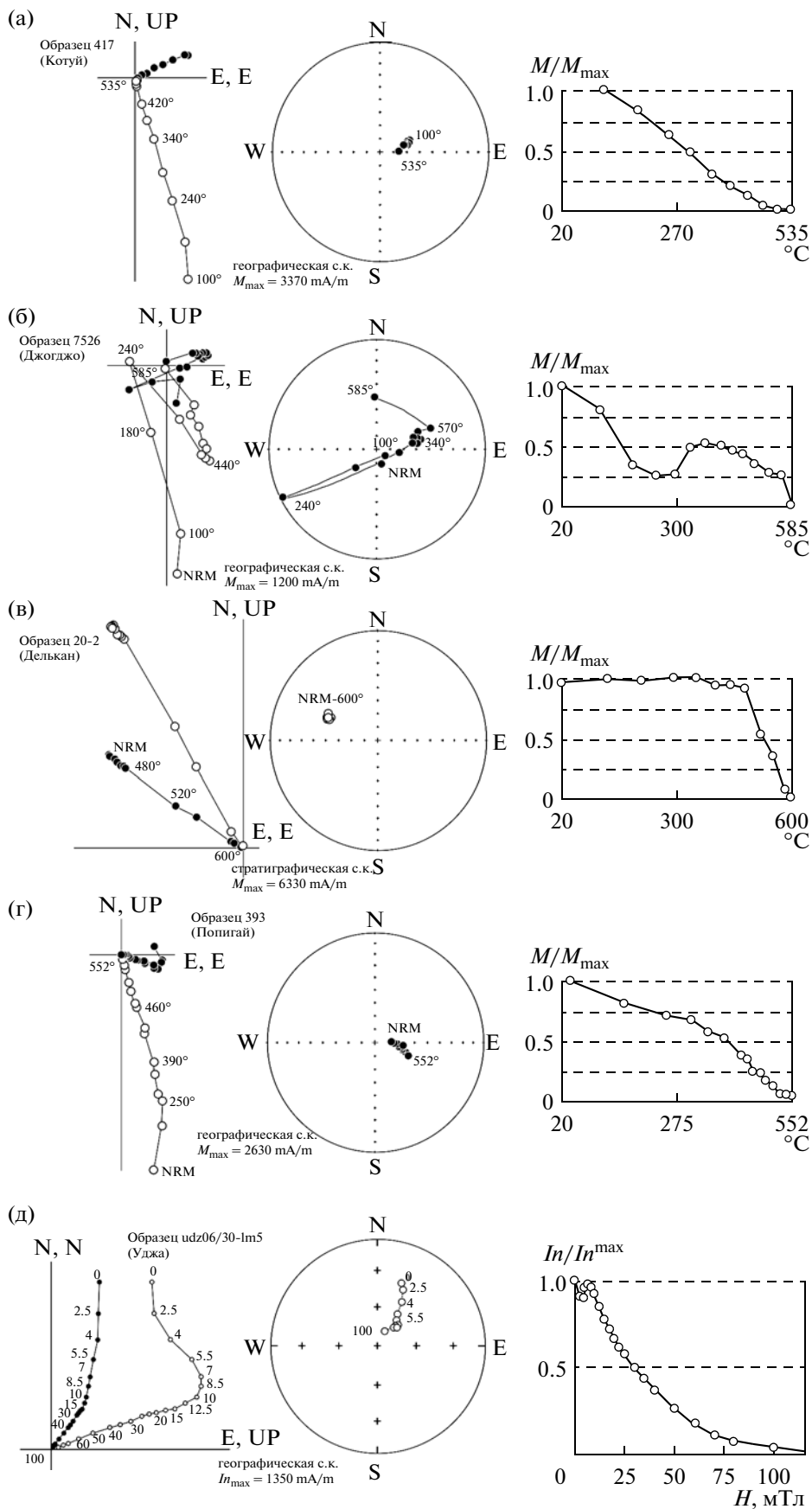
### Результаты палеомагнитных измерений

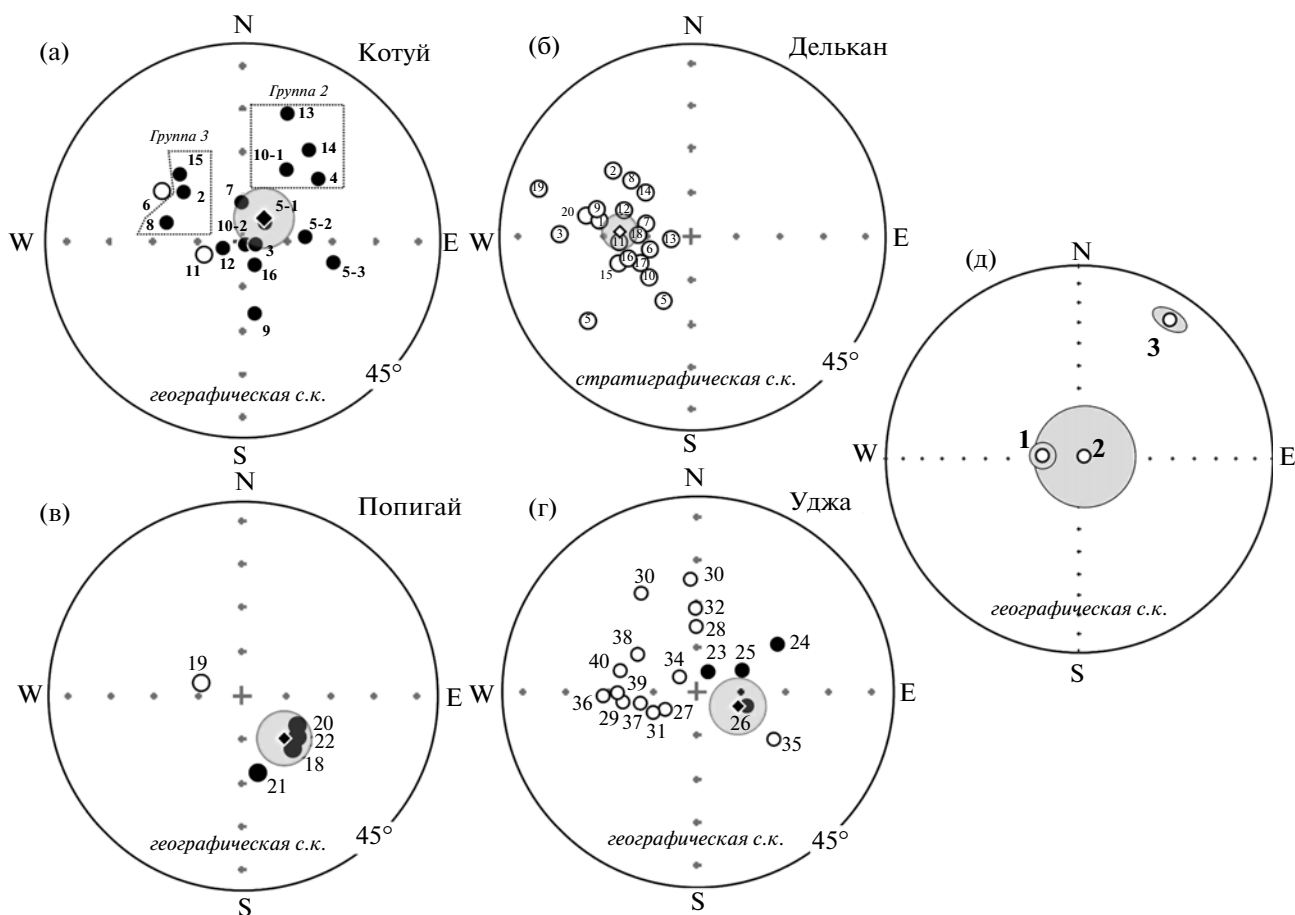
В связи с тем, что во всех местах отбора, за исключением устья р. Делькан, первичное залегание изученных объектов не нарушено, палеомагнитные данные для них приводятся в географической системе координат, совпадающей со стратиграфической.

*Бассейн реки Котуй.* Температурные магнитные чистки показали наличие в большинстве из исследованных образцов палеомагнитного сигнала хорошего качества. В составе естественной

остаточной намагниченности (ЕОН), помимо низкотемпературной современной компоненты намагниченности (20–180°C) вязкой природы, выделяется высокотемпературная (180–600°C), характеристическая компонента намагниченности прямой (рис. 3а) и обратной полярности. Высокотемпературная компонента обратной полярности присутствует в двух исследованных объектах (дайке 6 и силле 11), в остальных интрузивных телах выделяется компонента исключительно прямой полярности. Направления выделенных компонент намагниченности всех исследованных тел представлены на стереограмме (рис. 4а) и табл. 1.

Доводом в пользу первичности высокотемпературных компонент намагниченности служит положительный тест контакта. В обнажении на левом берегу р. Джогджо (рис. 1б), в составе вектора ЕОН двух близкорасположенных даек 10-1 и 10-2 помимо высокотемпературной компоненты





**Рис. 4.** Стереограммы, отражающие распределение средних направлений намагниченности изученных интрузивных тел долин рек Котуй (а), Делькан (б), Попигай (в) и Уджа (г). Обозначения см. рис. 3. Ромб — положение среднего палеомагнитного направления для данного района с кругом 95%-го доверия (серая область); (д) — стереограмма, иллюстрирующая положительный тест контакта (средние направления намагниченности Верхнеуджинского интрузива (1), эзоконтакта (2) и котуйско-оленекского осадочного комплекса (3); см. текст).

прямой полярности, характерной для большинства интрузивных тел данной территории, обнаруживается также и среднетемпературная (240–440°C) компонента обратной полярности (рис. 3б), направление которой ( $D = 283.2$ ,  $I = -82.5$ ,  $K = 91$ ,  $a_{95} = 5.8$ ,  $N = 8$ ) статистически не отличается ( $\gamma/\gamma_{cr} = 3.9/8.3$ ) от направления высокотемпературной компоненты намагниченности сила 11 (табл. 1), секущего эти дайки.

*Долина реки Маймечи, устье р. Делькан.* Магнитная запись образцов отличной сохранности. ЕОН представлена преимущественно одной наиболее стабильной, характеристической компонентой намагниченности обратной полярности, разрушающейся в интервале температур 20–590°C (рис. 3в); в незначительном количестве об-

разцов в низкотемпературном интервале (20–180°C) выделяется современная вязкая компонента намагниченности. Основными носителями намагниченности в исследованных образцах, судя по температурам разблокирования (450–600°C), являются титаномагнетит и магнетит.

Среднее направление характеристической компоненты намагниченности полудаек устья р. Делькан имеет обратную полярность и на стереограмме (в стратиграфической системе координат) располагается в области ожидаемых [Pavlov et al., 2007] трапповых направлений (табл. 1, рис. 4б). Статистически значимое отличие средних палеомагнитных направлений соседних даек указывает на отсутствие перемагничивания относительно более древних даек более молодыми, а

**Рис. 3.** Типичные диаграммы Зийдервельда, стереограммы и графики размагничивания образцов исследованных интрузивных тел. Залитые кружки на диаграммах Зийдервельда (стереограммах) обозначают проекции векторов на горизонтальную плоскость (нижнюю полусферу), белые кружки — на вертикальную плоскость (верхнюю полусферу).

Таблица 1. Палеомагнитные направления

№ точки, описание	координаты точки		N/n (S)	палеомагнитное направление			
	slat	slong		D	I	K	$\alpha_{95}$
<b>рр. Котуйкан, Котуй:</b>				географическая система**			
2 силл (гр. 3)	70.56	103.89	12/25	310.5	72.6	55.1	5.9
3 дайка (гр. 1)	70.64	103.37	9/15	102.5	88.5	79.7	5.8
4 силл (гр. 2)	70.53	103.87	6/14	49.6	67.9	110.5	6.4
5-1 дайка (гр. 1)	70.74	103.12	6/7	45.4	83.5	55.9	9.0
5-2 дайка (гр. 1)	70.74	103.12	6/6	84.4	76.2	55.7	9.1
5-3 дайка (гр. 1)	70.74	103.12	4/6	98.6	69.2	10.6	29.6
5* (среднее)	70.74	103.12	16/19	77.0	78.9	41.1	6.2
6 дайка (гр. 1)	70.77	103.08	15/15	303.7	-68.4	87.9	4.1
7 дайка (гр. 1)	71.12	102.51	9/13	358.2	81.1	25.0	10.5
8 дайка (гр. 3)	71.14	102.63	6/9	280.1	73.4	16.5	17.0
9 дайка (гр. 1)	71.05	102.36	6/6	171.1	73.9	46.7	9.9
<b>рр. Джогджо, Илья:</b>				географическая система**			
10-1 дайка (левая) (гр. 2)	70.50	104.44	7/14	30.1	71.1	34.8	10.4
10-2 дайка (правая) (гр. 1)	70.50	104.44	6/7	97.0	87.2	72.4	7.9
11 силл (секущий) (гр. 1)	70.50	104.44	13/13	257.0	-81.2	53.1	5.7
12 дайка (гр. 1)	70.31	104.31	9/15	254.8	85.2	14.7	13.9
13 дайка (гр. 2)	70.42	105.56	10/15	18.8	59.4	70.3	5.8
14 силл (гр. 2)	70.50	104.50	13/13	35.1	64.6	32.3	7.4
15 дайка (гр. 3)	70.54	104.39	7/8	317.3	69.2	57.9	8.0
16 дайка (гр. 1)	70.53	104.46	6/13	154.7	84.4	20.4	15.2
<b>среднее: группы 1 + 2 + 3</b>	<b>70.7</b>	<b>103.55</b>	<b>(16)</b>	<b>41.6</b>	<b>83.5</b>	<b>25.4</b>	<b>7.5</b>
<b>среднее: группы 1 + 2</b>	<b>70.7</b>	<b>103.55</b>	<b>(13)</b>	<b>58.6</b>	<b>81.5</b>	<b>30.5</b>	<b>7.6</b>
<b>среднее: группа 1</b>	<b>70.7</b>	<b>103.55</b>	<b>(9)</b>	<b>118.8</b>	<b>84.6</b>	<b>64.6</b>	<b>6.5</b>
<b>р. Маймеча, устье р. Делькан ("дайка в дайке"):</b>				стратиграфическая система			
17-1	70.9	100.6	6/6	281.8	-68.8	19.8	15.4
17-2	70.9	100.6	5/5	311.2	-66.3	15.6	20.0
17-3	70.9	100.6	3/5	271.9	-59.6	25.0	25.2
17-4	70.9	100.6	5/5	231.5	-70.4	201.0	5.4
17-5	70.9	100.6	5/5	204.3	-74.5	102.3	7.6
17-6	70.9	100.6	2/5	255.3	-80.3	7.2	115.2
17-7	70.9	100.6	3/5	286.7	-79.4	3.8	75.4
17-8	70.9	100.6	4/5	313.6	-71.0	58.1	12.2
17-9	70.9	100.6	5/5	286.9	-67.6	32.7	13.6
17-10	70.9	100.6	5/5	226.4	-77.0	45.5	11.5
17-11	70.9	100.6	5/5	266.9	-74.1	18.7	18.2
17-12	70.9	100.6	4/5	291.8	-73.5	15.3	24.2
17-13	70.9	100.6	6/6	267.4	-85.3	224.0	4.5
17-14	70.9	100.6	5/5	314.4	-75.3	28.2	14.7
17-15	70.9	100.6	5/5	251.1	-72.5	50.3	10.9
17-16	70.9	100.6	5/5	251.4	-74.7	23.4	16.1
17-17	70.9	100.6	5/5	245.1	-77.2	28.9	14.5
17-18	70.9	100.6	5/5	273.7	-78.2	46.0	11.4
17-19	70.9	100.6	5/5	288.0	-53.0	11.0	24.2
17-20	70.9	100.6	5/5	282.0	-65.5	55.1	10.4
<b>среднее:</b>	<b>70.9</b>	<b>100.6</b>	<b>(20)</b>	<b>272.7</b>	<b>-73.7</b>	<b>47.6</b>	<b>4.8</b>

Таблица 1. Окончание

№ точки, описание	координаты точки		$N/n (S)$	палеомагнитное направление			
	slat	slong		$D$	$I$	$K$	$\alpha 95$
<b>р. Попига́й:</b>				географическая система**			
18 дайка	71.99	109.80	6/12	133.8	74.1	27.0	13.1
19 дайка	72.47	109.75	10/10	288.3	-80.3	24.2	10.0
20 поток	72.57	109.08	10/12	121.3	76.0	84.6	5.3
21 поток	72.53	109.00	4/11	168.6	72.5	37.1	15.3
22 поток	72.56	108.83	17/21	128.2	74.6	50.3	5.1
<b>среднее:</b>	<b>72.42</b>	<b>109.29</b>	<b>(5)</b>	<b>134.8</b>	<b>76.4</b>	<b>166.2</b>	<b>6.0</b>
<b>р. У́джа:</b>				географическая система**			
Обн. 26	71.6	114.5	10	31	85	30.5	8.9
Обн. 58	71.6	114.5	3	59	69	29.8	23.0
Обн. 72	71.6	114.5	5	63	79	49.7	11.0
Обн. 74	71.6	114.5	8	105	79	30.8	10.2
Обн. 34	71.6	114.5	13	241	-82	34.3	7.2
Обн. 58'	71.6	114.5	4	359	-75	52.8	12.8
дайка 28	71.6	114.5	11	262	-73	27.8	7.0
дайка 30	71.6	114.5	16	356	-64	48.0	5.4
дайка 56	71.6	114.5	3	247	-79	38.5	33.5
Обн. 57	71.6	114.5	4	359	-71	69.3	12.9
Обн. 71	71.6	114.5	2	331	-64	29.1	48.1
дайка 76	71.6	114.5	20	311	-85	38.5	5.4
палеовулкан 79	71.6	114.5	17	121	-70	6.2	15.6
дайка 4	70.7	117.2	7	269	-69	19.3	14.1
дайка 6	70.7	117.2	7	259	-77	11.9	18.2
дайка 8а	70.7	117.2	7	303	-74	22.5	13.1
дайка 8б	70.7	117.2	12	270	-72	40.8	6.9
силл 17	70.7	117.2	23	286	-72	34.6	5.2
<b>среднее:</b>	<b>71.4</b>	<b>115.3</b>	<b>(18)</b>	<b>109.1</b>	<b>80.3</b>	<b>18.6</b>	<b>5.7</b>
<b>р. Мойеро [Pavlov et al., 2007]:</b>				географическая (синскладчатая) система			
дайки и силлы	67.6	104.1	(11)	83.7	78.5	141	3.9
перемагнитенные осадочные породы	67.6	104.1	(13)	109.3	83.0	793	1.5
				(117.5)	(83.0)	(1327)	(1.1)

Примечания: slat, slong – широта и долгота точки отбора образцов;  $N$  – количество образцов используемых при вычислениях,  $n$  – количество обработанных образцов;  $S$  – число сайтов;  $D$ ,  $I$  – палеомагнитное склонение и наклонение;  $K$ ,  $\alpha 95$  (°) – параметры фишеровского распределения на сфере (кучность и радиус круга 95%-го доверия соответственно). Гр. 1, 2, 3 – группа 1, 2, 3 соответственно. \* – среднее направление для даек 5-1, 5-2 и 5-3 (см. текст). \*\* – Географическая и стратиграфическая системы совпадают.

также на отсутствие позднейшего перемагничивания, т.е. служит доводом в пользу первичности высокотемпературной компоненты намагниченности.

*Река Попига́й.* Палеомагнитная запись исследованных магматических объектов двухкомпонентна: менее стабильная компонента намагниченности разрушается в диапазоне температур



20–210°C и близка по направлению современному магнитному полю, что указывает на ее недавнее образование, возможно, в результате магнитовязких процессов; наиболее стабильная – характеристическая компонента намагниченности разрушается в интервале 180–590°C (рис. 3г). В четырех из 5 изученных тел характеристическая компонента намагниченности имеет крутое положительное наклонение, в одной дайке – наклонение отрицательное. Выделенные направления намагниченности прямой и обратной полярности формируют кучный кластер на стереограмме (рис. 4в) (при обращении направления обратной полярности).

*Река Уджа.* Высокотемпературная и высококоэрцитивная (характеристическая) составляющая векторов ЕОН фиксируется практически во всех изученных образцах, начиная с температур 200–250°C или переменных магнитных полей более 15–20 мТл (рис. 3д). Для долеритов Верхнеуджинского силла и щелочных базитов эбехаинского интрузивного комплекса свойственна характеристическая компонента ЕОН обратной полярности (рис. 4г). В то же время в долеритах Уджинского интрузива установлены векторы характеристической ЕОН прямой (обн. 26, 58, 72 и 74) и обратной (обн. 79, 34 и 58') полярности. Первичность характеристической компоненты намагниченности долеритов Верхнеуджинского интрузива подтверждается положительным тестом контакта (рис. 4д) в экзоконтакте даек с известняками томпторской свиты венда (обн. 8). Средние палеомагнитные направления по обнажениям р. Уджа приведены в табл. 1.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### Анализ палеомагнитных направлений

*р. Котуй.* На рис. 4а показано распределение средних палеомагнитных направлений, полученных по изученным магматическим телам котуйского региона. При рассмотрении этого распределения в первую очередь бросается в глаза наличие трех объектов (интрузивы 2, 8, 15) с положительными наклонениями и западными склонениями (группа 3 на рис. 4а), заметно отличающихся от “нормальных” трапповых направлений, ожидаемых исходя из положения “траппового” полюса Сибирской платформы (NSP2 и NSP4 [Pavlov et al., 2007]). При изучении вулканической толщи арыджанской свиты, выходящей на поверхность в долине р. Котуй, нами ранее были получены очень близкие направления, отражающие, по-видимому, экскурс геомагнитного поля [Павлов и др., 2011]. Сходство направлений группы 3 с экскурсионными направлениями арыджанской свиты может рассматриваться как указание на то, что интрузивные тела 2, 8 и 15 форми-

ровались одновременно с потоками –3, –2 и –1 арыджанской свиты и, подобно последним, несут в себе запись геомагнитного экскурса.

Направления, остающиеся на стереограмме после исключения направлений группы 3, можно разделить на 2 кластера. Первый из них (группа 2) включает 4 направления с северо-восточными склонениями, полученными по интрузивным телам 4, 10-1, 13 и 14. Обращает на себя внимание, что эти тела расположены практически на одной прямой, сложены сходными по макроскопическому описанию долеритами, и, следовательно, могли быть образованы в результате одного магматического события.

Мы рассматриваем направления группы 2 также в качестве аномальных. Возможно, что они образовались во время геомагнитного экскурса, однако нельзя исключить, что их отклонение от ожидаемого направления является следствием вековых вариаций. Однако, поскольку эти направления записаны в 4 из 13 тел, оставшихся после удаления даек группы 3, при осреднении они приобретают слишком большой статистический вес, что ведет к существенному искажению конечного результата. В пользу того, что группы 3 и 2 представляют собой аномальные направления, говорит также тот факт, что при включении их в общую статистику расчетная амплитуда вековых вариаций  $S_f$  (табл. 2) становится значительно больше ожидаемой для этих широт для данного времени [Павлов и др., 2011].

С другой стороны, после исключения направлений групп 2 и 3, разброс оставшихся направлений (группа 1) согласуется с ожидаемой амплитудой вековых геомагнитных вариаций, а среднее направление становится существенно ближе к расчетному (табл. 2, рис. 5). Это является указанием на то, что, с одной стороны, дайки группы 1 образовывались в период устойчивого (неинверсионного и неэкскурсионного) состояния геомагнитного поля и, с другой стороны, их формирование было относительно долгим, достаточным, чтобы усреднить вековые вариации геомагнитного поля. В настоящее время принято считать, что для осреднения вековых вариаций необходимо, по крайней мере, не менее 10–100 тысяч лет. Следовательно, формирование интрузивных тел группы 1 (тела 3, 5-1, 5-2, 5-3, 6, 7, 9, 10-2, 11, 12, 16) происходило в течение не меньшего периода времени. Палеомагнитные определения, полученные по дайкам одного дайкового куста (5-1, 5-2, 5-3) были усреднены (определение 5 в табл. 1) и при расчетах использовалось только это среднее значение. Обращенные направления обратной полярности (тела 6 и 11) также были отнесены к группе 1.

Интересно отметить, что среднее палеомагнитное направление даек нормальной полярно-

Таблица 2. Палеомагнитные полюсы и амплитуда вековых вариаций

Регион/выборка	Полюс					Отклонение от NSP2*	Отклонение от NSP4*	Оценка амплитуды вековых вариаций			
	plat	plong	<i>N</i>	<i>K</i>	<i>A95</i>			<i>N</i>	<i>Sf</i>	<i>Sf</i> – <i>Sf</i> <sub>+</sub>	<i>A</i>
<b>Котуй:</b>											
группы 1 + 2 + 3	78.9	134.7	16	10	13.7	23.6 ± 10.4	21.8 ± 10.2	16	28.6	23.3 – 33.7	56.5
группы 1 + 2	72.3	152.9	13	13	13.6	16.6 ± 10.4	14.2 ± 10.1	13	25.7	20.1 – 31.0	51.2
группа 1	64.5	124.4	9	23	12.7	13.8 ± 9.7	14.0 ± 9.4	9	18.7	12.3 – 24.1	38.7
<b>Делькан:</b>	54.9	158.7	20	20	7.8	5.7 ± 6.9	4.5 ± 6.5	20	19.1	15.1 – 22.6	39.3
<b>Попигай:</b>	50.0	138.2	5	50	10.8	6.2 ± 7.9	9.7 ± 7.6	5	11.3	4.9 – 15.8	25.4
<b>Уджа:</b>	60.3	152.4	18	11	11.2	5.3 ± 8.9	3.2 ± 8.6	17	22.4	16.6 – 27.7	45.3
<b>Мойеро:</b>											
силлы и дайки (группы 1 + 2)	60.8	153.5	11	42	7.1	6.7 ± 9.1	3.8 ± 8.7	11	12.6	9.7 – 15.3	27.6
перемагнитенные осадочные породы:											
географическая с. к.	60.3	130.9	13	213	2.8			13	5.6	4.3 – 6.7	15.0
синскладчатая с. к.	58.9	128.2	13	358	2.1						

Примечания: plat, plong – широта и долгота палеомагнитного полюса (°), *N* – число полюсов в выборке, *K*, *A95* (°) – параметры фишеровского распределения на сфере (кучность и радиус круга 95%-го доверия соответственно). *Sf* – амплитуда вековых вариаций (°), *N* – число палеомагнитных полюсов, которые использовались для вычислений после отсечения методом Вандаммы, *A* – угол отсечения (°) [Vandamme, 1994], *Sf*<sub>–</sub>, *Sf*<sub>+</sub> – доверительный интервал (°).

\* – NSP2: 55.1°N, 147.0°E; *N* = 8, *K* = 123, *A95* = 5.0°; NSP4: 57.2°N, 151.1°E; *N* = 8, *K* = 192, *A95* = 4.0° [Pavlov et al., 2007].

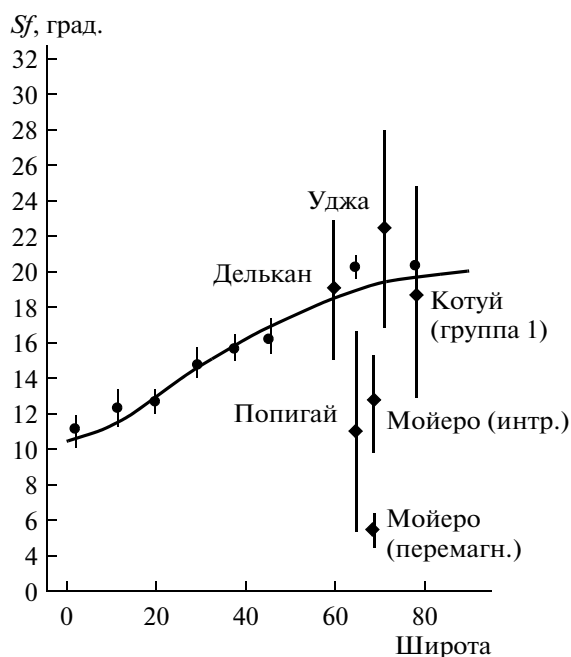
сти группы 1 статистически не отличается от среднего палеомагнитного направления нормально намагниченных потоков арыджанской и онкучакской свит [Павлов и др., 2011]: при расхождении соответствующих средних направлений ( $D = 127.2$ ;  $I = 87.3$ ;  $K = 83.3$ ;  $N = 7$  и  $D = 133.7$ ;  $I = 80.9$ ;  $K = 53.0$ ;  $N = 34$ ) на  $6.4^\circ$ , критический угол для них составляет  $7.9^\circ$  [McFadden, McElhinny, 1990]. Это указывает на то, что нормально намагниченные дайки группы 1 могли формироваться одновременно с потоками арыджанской и низов онкучакской свит и, более того, являться для них магмоподводящими каналами.

*р. Маймеча, устье р. Делькан.* При анализе распределения средних направлений изученных дельканских даек обращает на себя внимание то, что рассчитанные по ним полюс и амплитуда вековых вариаций очень близки к ожидаемым модельным данным (табл. 2, рис. 5). Это означает, что формирование дельканских даек продолжалось длительное время, измерявшееся десятками сотнями тысяч лет. С другой стороны, поскольку все изученные дайки намагничены обратно и имеются основания считать их намагниченность первичной, можно достаточно уверенно предположить, что они внедрялись на протяжении одной эпохи магнитной полярности. В этом случае, принимая во внимание величину средней длительности эпох магнитной полярности вблизи границы перми и триаса [Steiner, 2006], мы можем

сделать вывод о том, что формирование дельканских даек продолжалось не более 200 тыс. лет.

Отметим, что исключение из выборки наименее надежных определений не оказывает значимого влияния на конечные результаты.

*Реки Фомич и Попигай.* Несмотря на то, что амплитуда вековых вариаций, записанных в изученных трапповых объектах долин рек Фомич и Попигай, заметно меньше ожидаемого значения (табл. 2, рис. 5), рассчитанный полюс ложится относительно недалеко от ожидаемых трапповых полюсов NSP2 ( $6.2 \pm 7.9^\circ$ ) и NSP4 ( $9.7 \pm 7.6^\circ$ ) [Pavlov et al., 2007], значимо отличаясь, однако, от последнего (рис. 6). Мы интерпретируем полученное распределение как свидетельство того, что, с одной стороны, магматическая активность в районе продолжалась как минимум десятки тысяч лет (наличие направлений разной полярности), а с другой стороны, что изученные объекты сформировались в течение 2–3 магматических эпизодов (низкая амплитуда вариаций). Близость среднего полюса, рассчитанного по трапповым объектам рек Фомич и Попигай, к ожидаемым полюсам NSP2 и NSP4 мы можем объяснить только случайным “попаданием”. Отметим, что при фишеровском распределении полюсов [Merrill et al., 1996] и при данном уровне вековых вариаций [Павлов и др., 2011], для того, чтобы среднее направление с 95-процентной уверенностью попало на расстояние не большее  $6.2^\circ$  от истинного



**Рис. 5.** Сравнение разброса виртуальных геомагнитных полюсов (VGP) для изученных магматических трапповых объектов бассейнов рек Котуй, Делькан, Попигай, Уджа и Мойеро [Pavlov et al., 2007] (табл. 2) с данными по последним 5 млн. лет. Серые малые кружки с линиями, указывающими доверительный интервал, — компиляция из [McElhinny, McFadden, 1997]; серая линия на графике — модель вековых вариаций ТК03 [Taхе, Kent, 2004]. Величина амплитуды вековых вариаций ( $S_f$ ), рассчитанная в настоящей работе, и ее доверительные интервалы показаны черными ромбиками и жирными вертикальными линиями соответственно.

среднего на широте  $70^\circ$  (палеоширота района исследований), необходимо опробовать не менее 25 даек, представляющих разнесенные во времени магматические события.

*р. Уджа.* Данные по р. Уджа интересны, среди прочего, тем, что они представляют пример достаточно полного временного опробования исследуемого магматического события, о чем свидетельствует близость расчетных и ожидаемых значений величин палеовековых вариаций и координат палеомагнитных полюсов (табл. 2, рис. 5, рис. 6). И хотя число осредняемых направлений (средних по сайтам) все еще недостаточно, чтобы обеспечить желаемую точность определения положения полюса в  $5^\circ$ , наличие небольшого везения приводит к тому, что “уджинский” средний полюс оказывается на расстоянии всего  $2^\circ$ – $5^\circ$  от ожидаемого (рис. 6). Впрочем, обычно, когда истинное положение палеомагнитного полюса неизвестно, мы не должны полагаться на везение и можем лишь (при полученном распределении) ожидать, что расчетный полюс лежит не далее, чем на расстоянии  $10^\circ$  от истинного (табл. 2).

Полученное распределение палеомагнитных полюсов указывает на то, что магматическая активность в регионе длилась достаточно долго (наличие намагниченности разной полярности, ожидаемая величина вековых вариаций) и была, скорее всего, рассредоточена во времени.

В дополнение к объектам, изученным в настоящей работе, рассмотрим данные, полученные по району реки Мойеро (южное Прианабарье (рис. 1а), [Pavlov et al., 2007]).

*р. Мойеро.* В случае субвулканических интрузивных тел долины р. Мойеро [Pavlov et al., 2007] мы наблюдаем ту же картину (включая присутствие тел с намагниченностью разной полярности), что и с трапповыми телами в долине р. Попигай, с тем лишь отличием, что вековые вариации здесь усреднены несколько лучше. При этом амплитуда записанных вариаций остается значительно меньшей, чем ожидаемая величина [Павлов и др., 2011] (табл. 2, рис. 5), а расчетный палеомагнитный полюс располагается вблизи от “истинного” (табл. 2, рис. 6). Также, как и для траппов долины р. Попигай, мы интерпретируем полученные данные как указание на то, что магматическая активность в районе продолжалась, как минимум, десятки тысяч лет, но при этом изученные объекты формировались в течение нескольких магматических эпизодов.

При анализе данных р. Мойеро обращает на себя внимание крайне высокая кучность средних палеомагнитных направлений, рассчитанных для перемагнитненных траппами обнажений осадочных пород (табл. 2). Это тем более удивительно, что обнажения, по которым рассчитаны рассматриваемые средние направления, разнесены между собой порой на расстояние во многие десятки километров. Возможны два объяснения такой высокой кучности: либо она отражает существование в истории региона очень короткого, но крайне мощного перемагнитывающего события, либо является результатом длительного (с характерным временем порядка миллиона лет) осреднения геомагнитного поля в ходе медленного перемагнитывания осадочных пород. В последнем случае, однако, если предположить, что источником перемагнитывания являются пермо-триасовые траппы, мы должны наблюдать статистическое совпадение расчетного и ожидаемого пермо-триасовых полюсов. Однако полюс перемагнитненных пород лежит на значительном расстоянии от пермо-триасового полюса и значительно отличается от последнего. Следовательно, либо перемагнитывание произошло очень быстро, либо имеет возраст, существенно отличающийся от границы перми и триаса.

Гипотеза быстрого траппового перемагнитывания сталкивается с проблемой перемагнитывающего источника, поскольку среднее направление

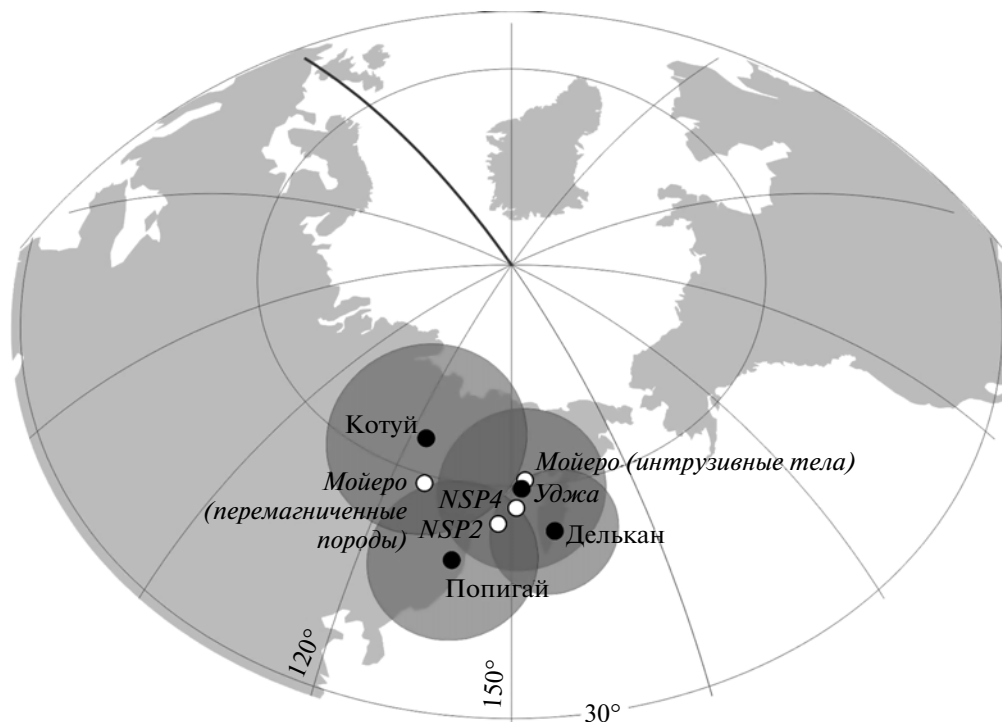


Рис. 6. Палеомагнитные полюсы и их овалы 95%-го доверия, полученные в настоящей работе (залитые кружки). Белые кружки – полюсы, использованные в работе (NSP2, NSP4, Мойеро [Pavlov et al., 2007]).

перемагничивания отличается (и формальный анализ это подтверждает) от палеомагнитных направлений изученных пермо-триасовых магматических тел региона, рассматриваемых как целиком, так и по отдельности. Следовательно, нам остается полагать, что либо в пермо-триасовое время на некотором удалении от рассматриваемого региона произошло мощное и короткое событие, приведшее к быстрому перемагничиванию осадочных пород р. Мойеро, либо эти породы были перемагничены в другое время.

Сравнение палеомагнитного полюса с кривой кажущейся миграции полюса Восточно-Европейской платформы [Torsvik et al., 2001] указывает на возможный поздне триасовый возраст перемагничивания. Поздне триасовая тектономагнитическая активность, согласно [Torsvik, Andersen, 2002], была широко проявлена на юге Таймыра и могла бы рассматриваться как потенциальный источник перемагничивания этого возраста. Однако, палеомагнитные исследования рифейских и палеозойских пород Западного Прианбарья, расположенных непосредственно между Таймыром и районом реки Мойеро [Веселовский и др., 2009], не несут никаких следов подобного перемагничивания. Таким образом, наиболее вероятной оказывается гипотеза быстрого перемагничивания за счет мощного пермо-триасового события на периферии рассматриваемого района. Мы предполагаем, что таким событием могло

быть внедрение огромных объемов траппов к югу от рассматриваемого региона на севере Тунгусской синеклизы в междуречье рек Мойеро и Кочечум.

Последний вопрос, который мы хотели бы обсудить в данной статье, касается числа быстроэстабилирующихся субвулканических тел (даек и мало-мощных силлов), которые необходимо опробовать для получения точной оценки положения палеомагнитного полюса. Принимая (согласно [Merrill et al., 1996]), что распределение виртуальных полюсов подчиняется закону Фишера и зная ожидаемый разброс вековых вариаций  $S_f$  для данной широты, мы легко можем рассчитать это число. Поскольку для границы перми-триаса амплитуда вековых вариаций заметно не отличалась от позднекайнозойских значений [Павлов и др., 2011], то для оценки величины  $S_f$  пермо-триасовых траппов мы можем взять кривую из работы [McElhinny, McFadden, 1997]. Для северных районов Сибири, палеоширота которых на границе перми-триаса составляла около  $70^\circ$ , эта кривая дает значение  $S_f \approx 18^\circ$ , что соответствует кучности  $K \approx 20$  ( $K = 6561/S_f^{1/2}$ ) [Храмов и др., 1982; Merrill et al., 1996]. Следовательно, для того, чтобы определить положение полюса с точностью не хуже  $5^\circ-6^\circ$ , нам следует отобрать не менее 35–40 даек или небольших силлов (исходя из выражения для нахождения радиуса круга 95%-го доверия:  $\alpha_{95} = 140/(NK)^{1/2}$ ).

Казалось бы, пример трапповых объектов, изученных в долинах рек Делькан и Уджа, а также, отчасти, рек Попигай и Мойеро, где получены относительно небольшие отклонения от ожидаемого траппового полюса (табл. 2, рис. 6), противоречат этому выводу. Однако пример интрузивных траппов долины р. Котуй вполне определенно показывает, что приведенные примеры не более чем удачные, но ничем не гарантированные “попадания” в искомый полюс.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Знание величины вековых геомагнитных вариаций на границе перми и триаса, а также положения ожидаемого (“истинного”) палеомагнитного пермо-триасового полюса Сибирской платформы, дает возможность получить некоторые дополнительные ограничения на продолжительность и характер развития магматических событий, связанных с образованием интрузивных тел траппов.

1). Формирование большинства из изученных даек бассейна р. Котуй (группа 3) происходило достаточно длительное время, составлявшее не менее 10–100 тысяч лет; при этом в регионе имели место также два относительно кратких события (сотни–первые тысячи лет), выразившиеся в формировании даек, относимых к группам 1 и 2. Структура “дайка в дайке”, 20 полудаек которой изучены в устье р. Делькан, также формировалась длительное время, однако не более 200–250 тысяч лет.

2). Магматическая пермо-триасовая активность в районах долин рек Попигай и Мойеро продолжалась десятки тысяч лет, при этом интрузивные тела сформировались в течение нескольких магматических эпизодов. Внедрение даек и силлов в долине р. Уджа продолжалось достаточно долго и было, скорее всего, рассредоточено во времени.

3). Анализ данных по перемагниченным породам долины р. Мойеро указывает на возможность мощного и очень быстрого (длительностью до первых тысяч лет) вулcano-магматического события, произошедшего на границе перми-триаса и вероятно связанного с внедрением мощных трапповых интрузий к югу от долины р. Мойеро, в междуречье рек Мойеро и Кочечума.

4). Наши результаты еще раз подтверждают, что для получения точной оценки положения палеомагнитного полюса при уровне вековых вариаций, сопоставимых с современными, на северных палеоширотах необходимо отбирать не менее 30–40 даек (небольших силлов).

За огромную помощь в подготовке работы авторы выражают благодарность А.Е. Васильевой, Д.П. Гладкочубу, М.Д. Томшину, П.Ю. Петрову, А.В. Шацилло, В.И. Паверману. Авторы также

искренне благодарны Д.М. Печерскому и Г.З. Гурарию за доброжелательные рецензии и ценные замечания. Исследования проведены при поддержке РФФИ (гранты № 05-09-01180-а, 10-05-00557-а и 12-05-00403-а) и проекта NSF “The Siberian flood basalts and the end-Permian Extinction” (EAR-0807585).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веселовский Р.В., Павлов В.Э., Петров П.Ю.* Новые палеомагнитные данные по Анабарскому поднятению и Учуро-Майскому району и их значение для палеогеографии и геологической корреляции рифея Сибирской платформы // *Физика Земли*. № 7. 2009. С. 3–24.
- Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 200000. Серия Маймечка-Котуйская. Лист R-47-XI, XII. Объяснительная записка. СПб.: 1996 г.
- Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200000. Серия Анабарская. Лист R-48-XXI, XXII. Объяснительная записка. М.: 1978 г.
- Константинов К.М., Томшин М.Д., Гладкочуб Д.П., Васильева А.Е.* Результаты петромагнитной корреляции пермотриасовых траппов р. Уджа (север Сибирской платформы). Вулканизм и геодинамика: материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск-Камчатский: изд-во КНЦ ДВО РАН. Т. 1. 2009. С. 129132.
- Павлов В.Э., Флутто Ф., Веселовский Р.В., Фетисова А.М., Латышев А.В.* Вековые вариации геомагнитного поля и вулканические пульсы в пермо-триасовых траппах Норильской и Маймечка-Котуйской провинций // *Физика Земли*. № 5. 2011. С. 35–50.
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др.* Палеомагнитология. Л.: Недра. 1982. 312 с.
- Шушунов С.В.* Критерии значимости в палеомагнетизме // *Физика Земли*. 1999. № 6. С. 89–92.
- Enkin R.J.* A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada. 1994. P. 16.
- Kamo S.L., Czamanske G.K., Amelin Yu., Fedorenko V.A., Davis D.W., Trofimov V.R.* Rapid eruption of Siberian flood volcanic rocks and evidence for coincidence with the Permian-Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma // *Earth and Planetary Science Letters*. 2003. V. 214. P. 75–91.
- Kirschvink J.L.* The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data // *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 1980. V. 62. P. 699–718.
- McElhinny M.W.* Geocentric Axial Dipole Hypothesis: A Least Squares Perspective American Geophysical Union // *Geophysical Monograph Series* 145. 2004. P. 1–12.
- McElhinny M.W., McFadden P.L.* Palaeosecular variation over the past 5 Myr based on a new generalized database // *Geophys. J. Int.* 1997. V. 131(2). P. 240–252.
- McFadden P.L., McElhinny M.W.* Classification of the reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* 1990. V. 103. P. 725–729.
- McFadden P.L.* The combined analyses of remagnetization circles and direct observations in paleomagnetism // *Earth and Planetary Science Letters*. 1988. V.87. P. 53–58.

- Merrill R., McFadden P., McElhinny M.* The Magnetic Field of the Earth: Paleomagnetism, the Core, and the Deep Mantle. Academic Press. San Diego. 1996. 531 p.
- Pavlov V., Courtillot V., Bazhenov M., Veselovsky R.* Paleomagnetism of the Siberian traps: new data and a new overall 250 Ma pole for Siberia // *Tectonophysics* V. 443. 2007. P. 72–92.
- Steiner M.B.* The magnetic polarity time scale across the Permian-Triassic boundary / Lucas S.G., Cassinis G., Schneider J.W. (eds.). Non-Marine Permian Biostratigraphy and Biochronology. Geological Society, London, Special Publications. 2006. V. 265. P. 15–38.
- Tauxe L.* Essentials of Paleomagnetism. California university Press. 2010. 512 p.
- Tauxe L., Kent D.V.* A simplified statistical model for the geomagnetic field and the detection of shallow bias in paleomagnetic inclinations: Was the ancient magnetic field dipolar? Timescales of the paleomagnetic field / ed. by Chanell J.E.T. et al. American Geophysical Union. 2004. V. 145. P. 101–116.
- Torsvik T.H., Andersen T.B.* The Taimyr fold belt, Arctic Siberia: timing of prefold remagnetisation and regional tectonics // *Tectonophysics*. 2002. V. 352. P. 335–348.
- Torsvik T.H., Smethurst M.A., Pesonen L.J.* GMAP – Geographic Mapping and Paleoreconstruction Packag. Norv. Geol. Serv. Rep. 1990. № 90019. P. 64.
- Torsvik T.H., Van der Voo R., Meert J.G., Mosar J., Walderhaug H.J.* Reconstructions of the continents around the North Atlantic at about the 60th parallel // *Earth and Planetary Science Letters*. 2001. V. 187. P. 55–69.
- Vandamme D.* A new method to determine paleosecular variation // *Phys. Earth Planet.* 1994. Int. 85. P. 131–142.
- Watson G.S.* A test for randomness of directions // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc. Geophys. Supp* 7. 1956. P. 160–161.
- Zijderveld J.D.A.* A.C. demagnetization of rocks: analysis of results. Methods in paleomagnetism / Collinson D.W., Creer K.M. Eds. Amsterdam. Elsevier. 1967. P. 254–286.