

УДК 550.384+551.7

## МАГНИТНАЯ СТРАТИГРАФИЯ ПЕРМО-ТРИАСОВЫХ ТРАППОВ ДОЛИНЫ РЕКИ КОТУЙ (СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА) В СВЕТЕ НОВЫХ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

© 2014 г. А. М. Фетисова\*, Р. В. Веселовский\*\*, А. В. Латышев\*\*,  
В. А. Радько\*\*\*, В. Э. Павлов\*\*\*\*

\*Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

\*\*Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва

\*\*\*ООО “Норильскгеология”, Норильск

\*\*\*\*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

e-mail: anna-fetis@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.10.2012 г., получена после доработки 05.12.2012 г.

Выполнены детальные палеомагнитные исследования эффузивных пермо-триасовых траппов долины р. Котуй (Сибирская платформа) и построен сводный магнитостратиграфический разрез изученных толщ. Доказано существование зоны обратной полярности, отвечающей хардахской свите, в основании разреза. Показано, что внутри коготокской серии граница между зонами прямой и обратной полярности проходит в нижней части онкучакской свиты и не совпадает с границей между свитами коготокской серии, как это принималось ранее. Полученные результаты не подтверждают наличие записи перехода между зонами прямой и обратной полярности в базальтах нижней части онкучакской свиты. Показано, что мощный переходный интервал, обнаруженный в Норильском разрезе между ивакинской свитой и верхами надеждинской свиты, не имеет аналога в Котуйском разрезе. Это означает, что в то время как в Норильском регионе происходили интенсивные извержения, приведшие к формированию большей части нижних свит трапповой толщи, в Маймеча-Котуйской провинции не было сколько-нибудь существенных проявлений вулканической активности. С учетом полученных данных выполнен анализ возможных вариантов корреляции траппов долины р. Котуй и Норильского района, сделан вывод о частичном перекрытии во времени Норильского и Маймеча-Котуйского разрезов.

*Ключевые слова:* магнитостратиграфия, Сибирские траппы, корреляция, пермо-триасовая граница.

DOI: 10.7868/S0869592X1404005X

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на многочисленные исследования, посвященные корреляции эффузивных толщ Норильского и Маймеча-Котуйского районов Сибирской трапповой провинции, этот вопрос остается открытым. Его решение имеет большое значение не только для региональной геологии, но и для оценки продолжительности формирования мощных трапповых разрезов этих районов, что необходимо для проверки гипотезы о связи крупнейшего в истории Земли массового вымирания в конце пермского периода с извержением пермо-триасовых траппов Сибирской платформы (см., например, Courtillot, Renne, 2003).

Существующая схема корреляции эффузивных траппов Норильского и Маймеча-Котуйского районов базируется на комплексе геохимических, геохронологических, палеонтологических и палеомагнитных (магнитостратиграфических) данных (Kato et al., 2003). Качество и надежность имеющихся палеомагнитных данных существенно различают-

ся. Так, по траппам Норильского района недавно были выполнены магнитостратиграфические исследования, результаты которых в полной мере отвечают современным требованиям надежности и качества (Heunemann et al., 2004; Gurevitch et al., 2004). В то же время основу магнитостратиграфической схемы эффузивных траппов Маймеча-Котуйского района составляют данные, полученные более четверти века назад (Гусев и др., 1967; Сидорас, 1984) и нуждающиеся в подтверждении.

В настоящей работе приводятся результаты детальных магнитостратиграфических исследований траппов долины р. Котуй, выполненных нами в 2007–2009 гг., рассматривается их значение для корреляции Маймеча-Котуйского и Норильского трапповых разрезов.

### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нижняя часть эффузивной трапповой толщи Маймеча-Котуйского района наиболее полно представлена в нижнем течении р. Котуй, где на-

блюдалась нами в серии береговых скальных обнажений на протяжении 40 км от устья р. Поток до устья р. Эричка (рис. 1). Изученная стратиграфическая последовательность представлена хардахской и арыджангской свитами, а также онкучакской свитой коготокской серии.

**Хардахская свита.** На правом берегу р. Котуй, в 20 км выше по течению от устья р. Медвежья, напротив устья р. Поток, в скальном обнажении были изучены вулканические породы хардахской свиты (рис. 1, точка 1). Эта свита была выделена В.Н. Егоровым (1995) в качестве фациального аналога правобоярской свиты, распространенной в бассейне р. Маймечы. В.Н. Егоров, вслед за другими исследователями (см. ссылки в работе (Егоров, 1995)), отметил стратиграфически более низкое положение хардахской свиты относительно лавовой толщи арыджангской свиты. Хардахская свита сравнительно плохо обнажена, имеет незначительный ареал распространения, характеризуется небольшой переменной мощностью и рядом исследователей (например, Fedorenko et al., 1996) относится к низам арыджангской свиты.

Видимая мощность изученного обнажения хардахской свиты составляет 32 м (рис. 26). В основании разреза (при низком уровне воды в р. Котуй) обнажается кровля потока щелочных базальтоидов (поток 1), на котором залегает пачка туфолав щелочно-ультраосновного состава. Туфолавы окрашены в зеленовато-бурые и вишневые тона и содержат угловатые обломки (литокласты) магматических пород схожего состава размером 1–20 мм. Туфоловая пачка уверенно подразделяется на 4 горизонта по цвету слагающих их пород и наличию контакта между ними. Венчают разрез два потока щелочных базальтов (потоки 2 и 3) мощностью 5 и 7 м. Породы залегают субгоризонтально на песчаниках тунгусской серии верхней перми, контакт с которыми трассируется по береговым высыпкам. В обнажении наблюдается субвертикальная дайка трахидолеритов мощностью 2 м, секущая нижнюю и среднюю части разреза (поток 1 и четыре туфовых горизонта); выше по разрезу дайка плохо обнажена и ее взаимоотношение со стратифицированными образованиями не определено. Геохронологические данные для хардахской свиты отсутствуют. Позднепермский возраст этих пород был установлен на основании палеонтологических находок (Иванов, Пирожников, 1959).

**Арыджангская свита.** Залегает гипсометрически выше пород хардахской свиты, но контакт этих свит нами обнаружен не был. Породы арыджангской свиты изучались в двух обнажениях. Одно из них находится около устья р. Медвежья (рис. 1, точка 2) на высоте 60 м над урезом реки, где наблюдается контакт лав щелочных базальтоидов свиты с подстилающими пермскими песча-

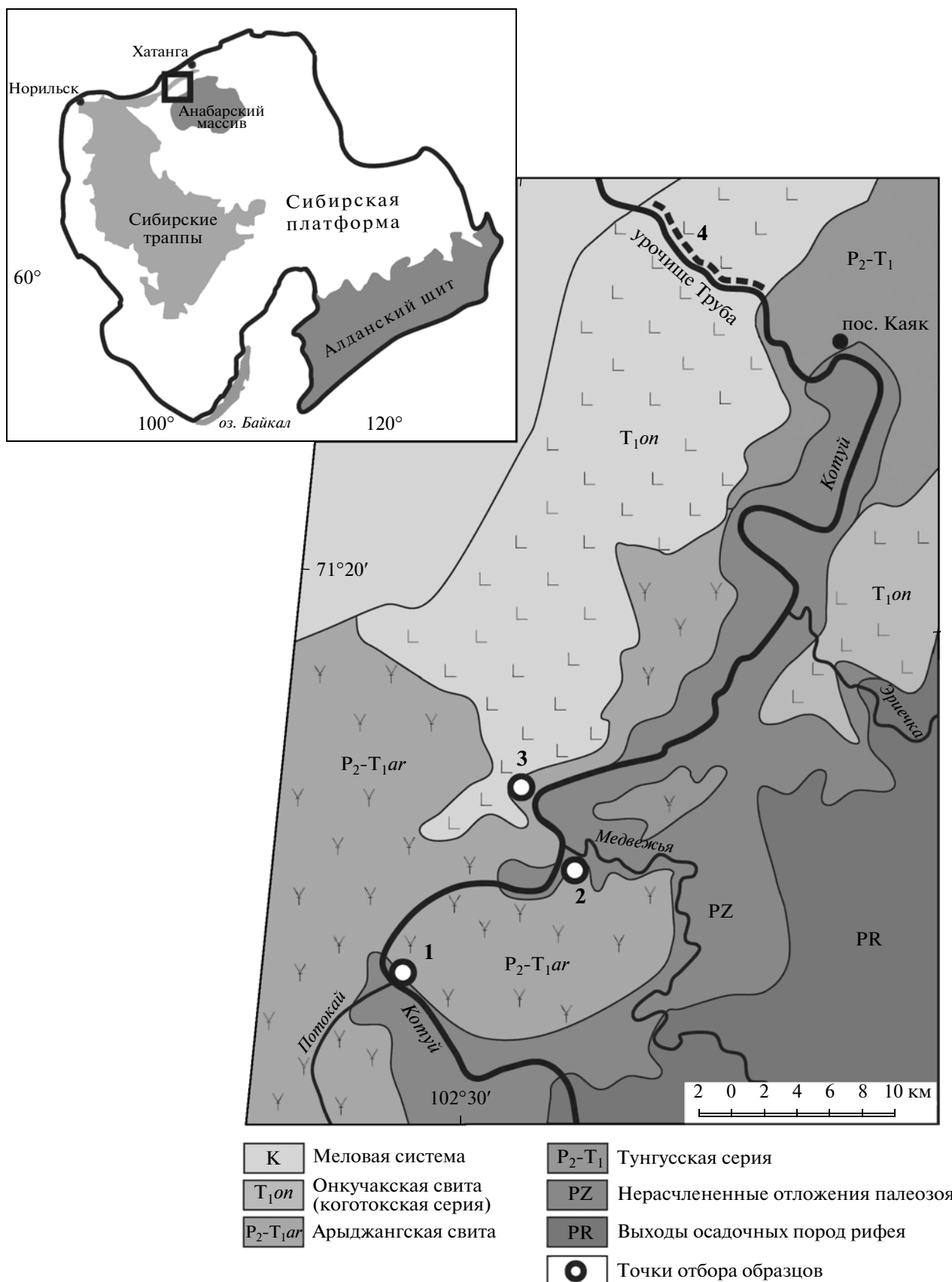
никами. Граница контакта неровная, с западинами, заполненными вулканическим материалом; иногда лавы имеют нечетко выраженную подушечную отдельность и красные корки. Было опробовано 4 лавовых потока мощностью 8–15 м.

Второе обнажение расположено на левом берегу р. Котуй, в 5 км ниже по течению от устья р. Медвежья (рис. 1, точка 3), и сложено потоками (мощность 3–8 м) пикритов, мелилитовых меланефелинитов и меланефелинитов согласно В.А. Федоренко (Fedorenko et al., 2000) или авгитов согласно А.В. Латышеву и др. (2010) (рис. 2а). Также в разрезе встречаются маломощные (первые метры) пачки туфов. Общая мощность исследованного разреза составляет около 280 м, в нем нами выделено 27 лавовых потоков, залегание пород субгоризонтальное. Согласно схеме обнажения, представленной в работе (Fedorenko et al., 2000), самый верхний поток базальтов в рассматриваемом обнажении мы относим к онкучакской свите (см. ниже). Возраст арыджангской свиты по палеонтологическим данным оценивается как ранний триас на основании найденных остатков филопод (Иванов, Пирожников, 1959). По пробе, отобранной из нижней части свиты, определен возраст  $251.7 \pm 0.4$  млн лет (U-Pb, перовскит; Kato et al., 2003). Многими исследователями арыджангская свита рассматривается как фациальный аналог правобоярской свиты, распространенной в долине р. Маймечы и к западу от нее (Государственная..., 1978).

**Онкучакская свита.** Представляет нижнюю часть коготокской серии и сложена почти исключительно потоками толеитовых базальтов (оливиновые и безоливиновые разновидности темно-серые, мелкозернистые) с редкими прослоями туфов основного состава (Fedorenko et al., 2000; Латышев и др., 2010). Контакт свиты с залегающими ниже щелочными базальтоидами арыджангской свиты в коренных обнажениях не установлен. Вулканогенная толща онкучакской свиты общей мощностью 350 м (рис. 2а) была изучена нами на правом берегу р. Котуй вдоль участка долины, известного под названием “Труба”, расположенного в 5–15 км ниже по течению от пос. Каяк (рис. 1, точка 4). В составе свиты здесь выделяются 44 лавовых потока мощностью от 3 до 10 м. Падение потоков северо-западное с углами падения, не превышающими первые градусы (до 6°). Мы рассматриваем наклон потоков как отражение палеорельефа, а не последующих тектонических деформаций, поскольку выходящие поблизости на поверхность осадочные породы тунгусской серии залегают субгоризонтально.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Общий объем палеомагнитных коллекций траппов долины р. Котуй составил чуть более



**Рис. 1.** Географическое положение изученных разрезов и геологическая схема района работ. Точки 1–4 – расположение опробованных разрезов.

**Таблица 1.** Некоторые петромагнитные характеристики пород изученных объектов

Свита	Магнитная восприимчивость, $K_m$ ( $10^{-3}$ ед. СИ)			Естественная остаточная намагниченность, $I_n$ (А/м)			Фактор Кенигсбергера, $Q$		
	$K_{m_{min}}$	$K_{m_{max}}$	$K_{m_{cp}}$	$I_{n_{min}}$	$I_{n_{max}}$	$I_{n_{cp}}$	$Q_{min}$	$Q_{max}$	$Q_{cp}$
Хардахская	10.4	128.4	71.5	0.18	2.38	1.24	0.04	0.7	0.2
Арыджангская	1.7	111.4	43.8	0.14	6.02	2.76	0.07	13.2	2.2
Онкучакская	0.7	42.5	14.0	$7.48 \times 10^{-3}$	11.7	1.64	0.08	11.9	1.9

1200 ориентированных образцов. Из каждого потока отбирали от 8 до 20 образцов (штуфов), ориентировку которых определяли при помощи горного компаса с постоянным контролем возможного влияния на магнитную стрелку сильномагнитных пород. Отбор образцов производили преимущественно из нижних частей лавовых потоков с целью максимально снизить вероятность опробования пород, перемагниченных вышележащим потоком. Величину местного магнитного склонения рассчитывали по модели IGRF (11-е поколение, [http://www.geomag.bgs.ac.uk/data\\_service/models\\_compass/igrf\\_form.shtml](http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/igrf_form.shtml)). Лабораторные палеомагнитные исследования и обработка результатов магнитных чисток выполнялись в Петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН, в палеомагнитных лабораториях парижского Института физики Земли (Франция) и Массачусетского технологического института (США) в соответствии со стандартной методикой (Zijderveld, 1967; Храмов и др., 1982; Шипунов, 1999 и др.).

Все образцы были подвергнуты детальной температурной чистке, которую в большинстве случаев выполняли до  $560\text{--}580^\circ\text{C}$ . Число шагов чистки составляло не менее 10–12, при необходимости детальность чистки увеличивалась. Для размагничивания образцов использовали немагнитные печи с величиной нескомпенсированного поля не более 5–10 Тл. Измерения остаточной намагниченности образцов проводили на спинмагнитометрах JR-6 (AGICO) и на криогенных магнитометрах фирмы 2G Enterprises. Обработку измерений остаточной намагниченности выполняли при помощи пакета программ Энкина (Enkin, 1994) и Remasoft (Chadima, Hroudá, 2006), использующих при выделении компонент намагниченности метод PCA (Kirschvink, 1980).

Сведения о магнитной минералогии арыджангской и онкучакской свит базируются на результатах термомагнитного и микронзондового анализов (Латышев и др., 2010), а вероятные носители намагниченности хардахской свиты определены только по температурам разблокирования. Некоторые магнитные характеристики пород изученных свит (фактор Кенигсбергера,

магнитная восприимчивость и величина естественной остаточной намагниченности) приведены в табл. 1.

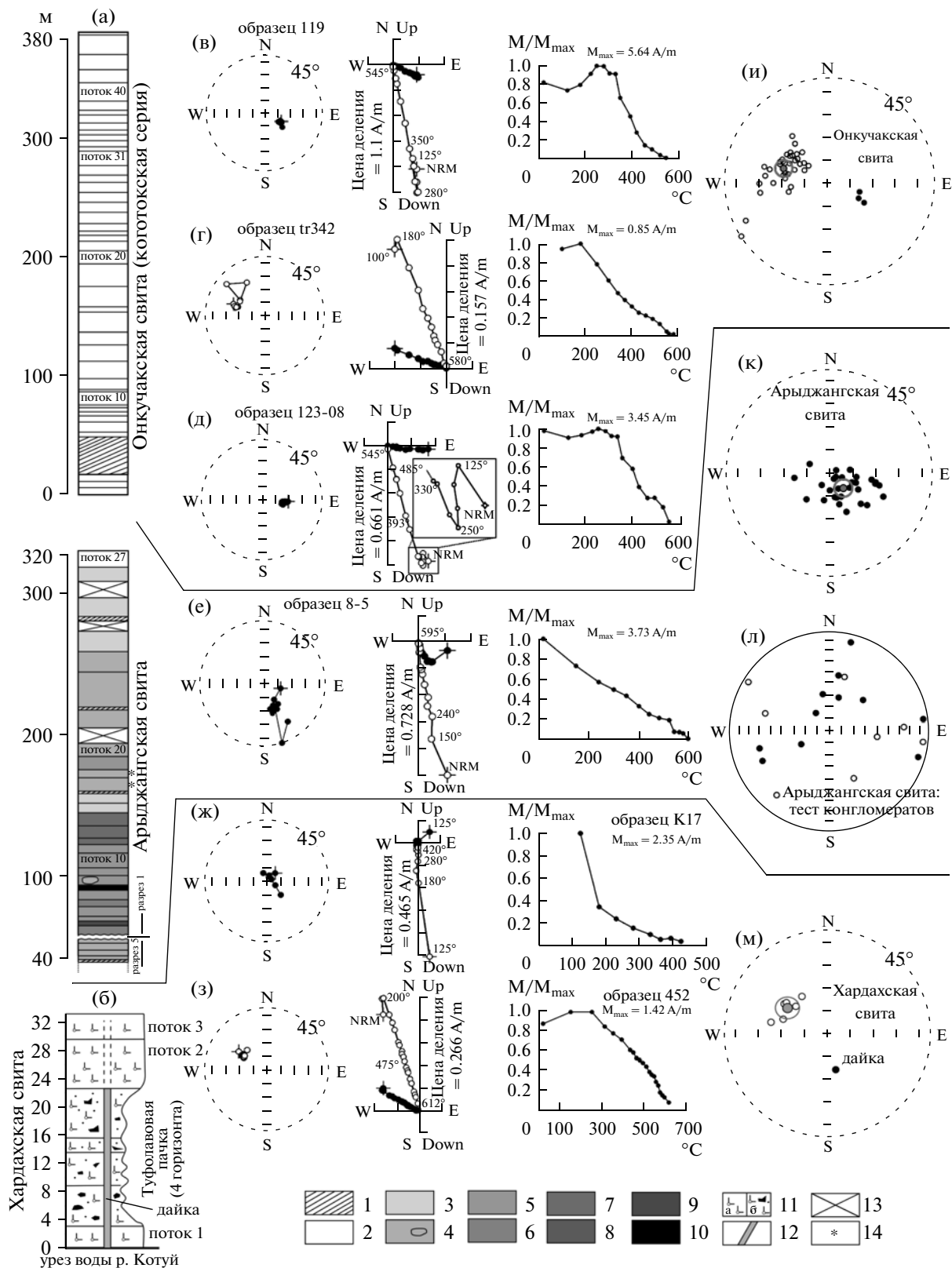
## РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### *Хардахская свита*

В составе естественной остаточной намагниченности (ЕОН) пород хардахской свиты выделяется несколько компонент намагниченности (рис. 2е). Самая низкотемпературная из них присутствует практически во всех образцах и разрушается в интервале температур  $125\text{--}230^\circ\text{C}$ . Ее среднее направление близко к направлению современного поля в районе исследований, что позволяет предполагать современный возраст и вязкую природу этой компоненты.

По результатам компонентного анализа почти все образцы из лавовых потоков могут быть разделены на 3 группы. К первой из них относятся те образцы, где помимо низкотемпературной современной компоненты присутствует также высокотемпературная компонента намагниченности, разрушающаяся в диапазоне температур  $280\text{--}550^\circ\text{C}$  (иногда до  $600^\circ\text{C}$ ) и имеющая обратную полярность (рис. 2з). Ко второй группе относятся образцы, содержащие помимо низкотемпературной современной компоненты только среднетемпературную компоненту, выделяющуюся в температурном интервале  $280\text{--}420^\circ\text{C}$  и имеющую прямую полярность (рис. 2ж). И, наконец, третья группа, которую можно выделить условно, представлена лишь несколькими образцами, которые содержат низкотемпературную современную компоненту ( $125\text{--}230^\circ\text{C}$ ), указания на среднетемпературную компоненту ( $280\text{--}450^\circ\text{C}$ ) прямой полярности и высокотемпературную компоненту ( $470\text{--}550^\circ\text{C}$ ) обратной полярности. В самом нижнем лавовом потоке (поток 1) присутствуют образцы из всех трех названных групп, в следующем вверх по разрезу потоке 2 встречены образцы из первой (3 образца) и второй групп (7 образцов) и, наконец, все образцы из самого верхнего лавового потока 3 принадлежат ко второй группе.

Во всех образцах из туфолавовой пачки, помимо современной низкотемпературной ( $20\text{--}$



250°C) компоненты, выделяется высокотемпературная компонента намагниченности, имеющая обратную полярность (рис. 2з). Судя по максимальным температурам разблокирования (560–620°C), ее минералом-носителем является низкотитанистый титаномагнетит и, возможно, окисленный магнетит.

В составе ЕОН образцов дайки выделяется низкотемпературная (125–230°C) современная компонента намагниченности, а также высокотемпературная (280–530°C) характеристическая компонента прямой полярности.

Поскольку компонента прямой полярности, входящая в состав ЕОН образцов из лавовых потоков 1, 2 и 3, выделяется в более низкотемпературном диапазоне блокирующих температур, чем компонента обратной полярности (т.е. является менее стабильной), мы предполагаем ее вторичную природу. Вероятно, она возникла в результате полного (в ряде случаев – частичного) перемагничивания вулканитов хардахской свиты в арыджангское (?) время. На данном этапе исследований мы не можем также исключить возможность образования среднетемпературной компоненты в результате самообращения намагниченности. Заметим, однако, что эта интерпретация не меняет сколько-нибудь существенно общей магнитной стратиграфии Котуйского разреза.

Разная полярность характеристической компоненты намагниченности дайки и вмещающих ее туфолов может свидетельствовать в пользу первичности выделенных высокотемпературных компонент намагниченности нижней и средней частей разреза. Во всяком случае, это определенно указывает на то, что после внедрения дайки рассматриваемая толща не испытывала полного перемагничивания.

Векторы ЕОН образцов из обломков магматических пород, встреченных в туфолововой пачке, также являются суммой низко- (20–180°C) и высокотемпературной (450–600°C) компонент намагниченности, последняя из которых имеет обратную полярность. Направления высокотемпературной компоненты намагниченности магматических обломков кучно группируются вокруг среднего направления характеристической компоненты туфолововой толщи (матрикса). Это позволяет предполагать, что рассматриваемые литокласты остывали вместе с туфоловами. Наблюдаемые в обнажении

следы вязкого облепания магматических обломков основной массой также свидетельствуют в пользу этого предположения, так как говорят о нахождении обломков в еще незастывшей горячей лаве.

Таким образом, имеются основания предполагать, что вся (или почти вся) толща изученных вулканогенных пород хардахской свиты образовалась в эпоху обратной полярности. При этом лавовые потоки были полностью (поток 3) или частично (потоки 1 и 2) перемагничены более поздними магматическими событиями, возможно совпадающими по времени с формированием лавовых толщ арыджангской свиты.

Отсутствие вторичной компоненты прямой полярности в туфолавах означает, что перемагничивание произошло не в результате сколько-нибудь заметного прогрева толщ, а за счет какого-то иного механизма и, вероятно, связано с различной магнитной минералогией исследованных пород. На различие магнитной минералогии туфолов и лавовых потоков ясно указывает существенное различие характера их палеомагнитной записи и соответствующих диапазонов разблокирующих температур.

В качестве альтернативного объяснения существования компоненты прямой полярности может быть также привлечена гипотеза самообращения намагниченности. В этом случае самообращение могло произойти в части лавовых покровов и не затронуть туфолововые горизонты.

Обнаружение в породах хардахской свиты палеомагнитной записи обратной полярности поддерживает точку зрения В.Н. Егорова (Егоров, 1995), выделившего эту свиту из состава арыджангской на основе литолого-фациальных особенностей. Согласно (Стратиграфический..., 2006), полученные нами результаты дают дополнительное основание для выделения изученных вулканогенных образований в отдельную свиту в силу отличия их геофизических характеристик от вышележащих пород арыджангской свиты.

#### *Арыджангская свита*

В 31 исследованном потоке щелочных и ультраосновных лав арыджангской свиты качество палеомагнитной записи можно оценить как посредственное. Однако за счет увеличения числа образцов и их отбора из наиболее перспективных

←  
**Рис. 2.** Палеомагнитная характеристика изученных свит Котуйского разреза.

(а, б) – схемы разрезов изученных свит (схемы разрезов 1 и 5 арыджангской свиты составлены с использованием данных (Fedorenko et al., 2000)), условные обозначения: 1 – туфы разного состава, 2 – базальты нормальной щелочности, 3 – лимбургиты, 4 – меланефелиниты и их гальки, 5 – мелилитовые меланефелиниты, 6 – оливиновые меланефелиниты, 7 – меланефелиниты и лимбургиты, 8 – авгититы, 9 – мелилиты, 10 – пикриты, 11 – лавы (а) и туфолавы (б) щелочных базальтоидов с вулканическими бомбами, 12 – дайка трахидолеритов, 13 – не обнажено, 14 – маркирующие лавовые потоки по (Fedorenko et al., 2000); (в–з) – типичные диаграммы Зийдверельда для образцов из каждой свиты; (и, к, м) – распределение средних по потокам направлений характеристической намагниченности; (л) – тест конгломератов.

**Таблица 2.** Средние палеомагнитные направления и виртуальные геомагнитные полюсы изученных объектов

Объект	Координаты места отбора		Палеомагнитное направление					Виртуальный геомагнитный полюс			
	slat	slong	N/n	D°	I°	K	$\alpha_{95}$	Plat°	Plong°	dp/dm (°)	$\gamma/\gamma_{cr}$ (°)
Хардахская свита	71°03'	102°22'	6/70	302.9	-69.3	121	5.2	40.4	143.9	7.6/8.9	8.9/5.9
Дайка в хардахской свите	71°03'	102°22'	1/6	169.5	74.1	46	10.0	—	—	—	—
Арыджангская свита	71°12'	102°37'	31/334	137.4	81.5	49	3.6	57.0	123.5	6.8/7.0	7.1/7.5
Онкучакская свита	71°33'	102°57'	39/395	289.2	-71.0	62	2.9	46.2	153.6	4.4/5.1	6.0/6.6

Примечание. slat, slong – средние координаты места отбора образцов (широта и долгота соответственно); N/n – количество потоков (образцов); D, I – склонение и наклонение среднего вектора; K,  $\alpha_{95}$  – параметры статистики Фишера (кучность и радиус круга 95%-го доверия соответственно); Plat, Plong – координаты виртуального геомагнитного полюса (широта и долгота соответственно); dp/dm – величины полуосей овала 95%-го доверия;  $\gamma/\gamma_{cr}$  – сравнение направлений для каждой свиты с направлением, пересчитанным для среднего траппового полюса Сибирской платформы NSP2 (Pavlov et al., 2007) на средние координаты района работ (slat = 71.2°, slong = 102.6°):  $\gamma$  – угловое расстояние между направлениями,  $\gamma_{cr}$  – критический угол (McFadden, McElhinny, 1990).

для сохранения сигнала нижних частей потоков, нам удалось получить средние палеомагнитные направления практически для всех опробованных потоков. Среднее палеомагнитное направление для всей арыджангской свиты, вычисленное на уровне сайтов (потоков), приведено в табл. 2.

Все потоки арыджангской свиты намагничены в прямой полярности (рис. 2е). В большинстве изученных образцов в составе вектора ЕОН присутствуют две компоненты намагниченности: низкотемпературная (20–240°C), направление которой близко к направлению современного магнитного поля, и высокотемпературная, разрушающаяся при температурах 550–600°C (рис. 2е).

В породах арыджангской свиты обычно присутствуют (вместе или порознь) два минерала-носителя намагниченности с точками Кюри вблизи 570°C (магнетит) и 480–530°C (вероятно, низкотитанистый титаномагнетит) (Латышев и др., 2010).

В средней части арыджангской свиты из линзы конгломератов были отобраны гальки магматических пород. Направления векторов характеристической компоненты, выделенных в изученных гальках (N = 19), распределены практически хаотично с кучностью (K) равной 1.2 (рис. 2л). Длина результирующего вектора R = 2.33, что гораздо меньше критического (при 95%-ном уровне достоверности) Ro = 6.98 (Watson, 1956) для N = 19, что составляет положительный тест конгломератов и указывает на первичный возраст наиболее стабильной компоненты намагниченности образцов арыджангской свиты.

#### *Онкучакская свита*

Большинство образцов онкучакской свиты содержит ясный палеомагнитный сигнал. ЕОН образцов из трех нижних потоков является суммой двух или трех компонент намагниченности. Низкотемпературная (20–180°C) современная компонента намагниченности имеет, вероятно, вязкую

природу. В значительном количестве образцов из трех нижних потоков уверенно выделяется промежуточная среднетемпературная (125–400°C) компонента намагниченности обратной полярности (рис. 2д). При этом высокотемпературная компонента намагниченности прямой полярности, присутствующая практически во всех образцах, разрушается в интервале 350–545°C.

Наличие среднетемпературной компоненты намагниченности можно было бы объяснить частичным термальным перемагничиванием пород при излиянии вышележащих потоков или эффектом самообращения намагниченности. В результате опытов по непрерывному размагничиванию естественной остаточной намагниченности образцов с последовательным увеличением температуры нагрева, выполненных нами по методике, описанной в работе (Krasa et al., 2005), эффект самообращения воспроизвести не удалось. Поэтому предположение о частичном перемагничивании трех нижних изученных нами потоков онкучакской свиты за счет теплового воздействия вышележащих потоков выглядит на настоящий момент более приемлемым, хотя механизм частичного перемагничивания (не все образцы содержат среднетемпературную компоненту) потоков при термальном воздействии остается неясным.

Выше по разрезу залегает пачка туфов мощностью около 30 м, характеризующихся очень шумным, неинтерпретируемым палеомагнитным сигналом.

В составе ЕОН образцов потока базальтов, перекрывающего туфовую пачку, уверенно выделяются низкотемпературная (20–125°C) и высокотемпературная (180–570°C) компоненты намагниченности; последняя – обратной полярности.

В следующих вверх по разрезу пяти потоках палеомагнитный сигнал шумный, и проведение компонентного анализа не представляется возможным. ЕОН образцов из оставшихся 35 верхних по-

токов является в подавляющем большинстве случаев суммой двух компонент намагниченности: низкотемпературной (20–240°C) современной и высокотемпературной (300–600°C) характеристической обратной полярности (рис. 2г). Важно отметить, что основное падение намагниченности образцов в ходе температурной магнитной чистки происходит в районе 290–400°C.

Детальные магнетоминералогические исследования пород онкучакской свиты (Латышев и др., 2010) показали, что основным носителем намагниченности в них является титаномагнетит с точками Кюри от 250 до 400°C. Он представлен мелкими гомогенными кристаллами дендритной формы, сформировавшимися в результате быстрого остывания магмы.

Среднее палеомагнитное направление для онкучакской свиты, вычисленное на уровне сайтов (потоков), приведено в табл. 2.

#### *Аргументы в пользу первичности выделенных компонент намагниченности*

Ниже представлены аргументы в пользу первичности выделенных характеристических компонент намагниченности в изученных свитах.

1. Близость рассчитанных (исходя из средних направлений выделенных компонент намагниченности) для каждой свиты виртуальных геомагнитных полюсов (VGP) к среднему пермо-триасовому (трапповому) палеомагнитному полюсу Сибирской платформы и их отличие от более молодых полюсов (Pavlov et al., 2007) (табл. 2).

2. Наличие в разрезах стабильных компонент прямой и обратной полярности с почти антиподальными средними направлениями. Отрицательный результат теста обращения ( $\gamma/\gamma_{cr} = 8.5^\circ/3.5^\circ$  (McFadden, McElhinny, 1990), где  $\gamma/\gamma_{cr}$  – значения углового расстояния и критического угла для сравниваемых средних направлений) мы связываем с недостаточным осреднением вековых вариаций геомагнитного поля в разрезе (Павлов и др., 2011).

3. Положительный (для арыджангской свиты) результат теста конгломератов.

4. Наличие первично-магматического гомогенного титаномагнетита в онкучакской свите (Латышев и др., 2010).

5. Существование в разрезе дирекционных групп, статистически значимо отличающихся друг от друга (Павлов и др., 2011).

Таким образом, имеются серьезные основания полагать, что намагниченность изученных пород первична и отражает направление геомагнитного поля времени их формирования.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### *Магнитостратиграфия траппов долины р. Котуй*

Используемая до последнего времени магнитостратиграфическая схема траппов Маймеча-Котуйского района (см., например, Gurevitch et al., 2004) базируется на данных, полученных Б.В. Гусевым с соавторами (1967). Согласно этой схеме нижняя часть эффузивной трапповой толщи долины р. Котуй, отвечающая хардахской, арыджангской и онкучакской свитам, намагничена в поле прямой полярности.

Между тем исследования, проведенные в 1970–1980 годах С.Д. Сидорасом (Сидорас, 1984), показали, что в вулканогенно-осадочных породах самой нижней части Котуйского траппового разреза, залегающих непосредственно на угленосных пермских отложениях и отвечающих хардахской свите, присутствует интервал обратной полярности.

Однако результаты С.Д. Сидораса были представлены, насколько нам известно, только в его кандидатской диссертации либо в изданиях с ограниченной доступностью (в виде тезисов и производственных отчетов). Видимо, по этой причине они не были учтены в более поздних работах, посвященных корреляции траппов Норильского и Маймеча-Котуйского районов (Fedorenko et al., 2000; Gurevitch et al., 2004). Наши результаты позволяют заново, но уже на основе современных методов установить этот интервал обратной полярности.

Полученные нами данные позволяют также снова вернуться к важному для стратиграфии Маймеча-Котуйского района вопросу о выделении двух свит (подсвит) в составе коготокской серии (свиты). Рядом исследователей (Егоров, 1995 и ссылки в этой работе) на основе петрологических и геохимических характеристик коготокская свита подразделялась на две подсвиты: нижнюю, представленную в основном покровами толеитовых базальтов, и верхнюю, в составе которой обнаруживаются также покровы трахибазальтов, трахиандезитбазальтов и андезитов. В дальнейшем коготокскую свиту стали рассматривать в ранге серии, а названные подсвиты – в рамках свит (Fedorenko, Czamanske, 1997). При этом нижней свите было дано название “онкучакская”, а верхней – “тыванкитская”. Между тем Б.В. Гусев (Гусев и др., 1967) также предлагал подразделять коготокскую свиту на две подсвиты, но не на основе данных о ее петрологии и геохимии, а исключительно по магнитной полярности слагающих эту свиту пород. К нижней подсвите им были отнесены прямонамагнитные породы, к верхней – обратномагнитные породы. Впоследствии произошло смешение этих подразделений и онкучакскую свиту стали считать намагни-



ченной полностью в прямой полярности, тыванкитскую — полностью в обратной полярности. В частности, эта ошибка присутствует в широко цитируемой работе С. Камо с соавторами по траппам севера Сибирской платформы (Камо et al., 2003). Выполненные нами петрографические исследования показывают, что в разрезе Труба отсутствуют потоки трахибазальтов, трахиандезит-базальтов и андезитов, по которым, собственно, и выделяется тыванкитская свита (см., например, Егоров, 1995). Следовательно, разрез Труба должен быть отнесен целиком к онкучакской свите.

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о том, что инверсия геомагнитного поля произошла во время накопления нижней (онкучакской) свиты коготокской серии, и граница смены зон магнитной полярности не совпадает с границей между онкучакской и тыванкитской свитами, проводимой на основании петролого-геохимических данных.

В разрезе нижней части коготокской серии на р. Котуй (разрез Труба) Б.В. Гусевым (Гусев и др., 1967; Гусев, 1970) была выделена “переходная палеомагнитная зона”, отвечающая интервалу разреза мощностью около 140 м и рассматриваемая им как важный магнитостратиграфический маркер при региональных корреляциях. Особо отметим, что подтверждение наличия переходной зоны в данном разрезе могло бы дать важные ограничения на длительность его формирования, поскольку переходная зона, вероятно связанная с инверсией геомагнитного поля, отвечала бы интервалу разреза, образовавшегося в течение порядка 10 тыс. лет (Merrill et al., 1996). Согласно Б.В. Гусеву, выделенная им переходная зона характеризуется тем, что в ее пределах чередуются прямо и обратно намагниченные покровы, а “...векторы остаточной намагниченности имеют пологие углы наклона, не свойственные триасовым породам района” (Гусев и др., 1967).

Наши исследования не подтверждают наличия переходной палеомагнитной зоны между зонами прямой и обратной полярности в породах нижней части коготокской серии разреза Труба. На месте этой зоны обнаруживается лишь интервал разреза с плохой палеомагнитной записью, причиной которой могло служить преобладание в этой части разреза многодоменных зерен титаномагнетита (Латышев и др., 2010), часто характеризующихся нестабильным палеомагнитным сигналом.

Таким образом, магнитостратиграфическая схема траппов долины р. Котуй, полученная в настоящей работе, включает в себя три зоны магнитной полярности. Самая нижняя зона обратной полярности образована породами хардахской свиты. Выше находится зона прямой полярности, включающая в себя арыджангскую свиту и низы онкучакской свиты. И завершает разрез зона об-

ратной полярности, к которой относятся породы верхней части онкучакской свиты.

### *Магнитостратиграфия Норильской туфолововой толщи*

Прежде всего отметим, что полученные на настоящий момент данные вполне определенно указывают на то, что магнитостратиграфический разрез Норильской лавовой толщи включает только две зоны магнитной полярности. Зоне обратной полярности в основании разреза соответствует большая часть ивакинской свиты. Все вышележащие свиты (сыверминская, гудчихинская, хаканчанская, туклонская, надеждинская, моронговская, мокулаевская, хараелахская, кумгинская, самоедская) намагничены в прямой полярности (Heunemann et al., 2004; Gurevitch et al., 2004).

При этом, однако, в работе (Lind et al., 1994) делаются предположения о существовании в моронговское и самоедское время непродолжительных интервалов обратной полярности.

В случае с самоедской свитой этот вывод подтверждается находкой в разрезе р. Верхняя Таловая двух лавовых потоков, намагниченных обратно. Однако, исходя из особенностей магнитной минералогии этих потоков, сами авторы (Lind et al., 1994) выражают сомнение в том, что обнаруженная обратная намагниченность действительно отражает полярность геомагнитного поля времени их излияния. Тот факт, что при определении обратной полярности этих потоков использовалась только ограниченная магнитная чистка, укрепляет эти сомнения. И, наконец, отсутствие потоков обратной полярности в разрезе самоедской свиты, изученном Е.Л. Гуревичем с соавторами (Gurevitch et al., 2004), окончательно убеждает нас в том, что гипотеза о существовании в самоедское время интервала обратной полярности пока мало обоснована.

Вывод о наличии интервала обратной полярности в моронговское время делается на основании того, что предположительно одновозрастная моронговским лавам нижнеталнахская интрузия имеет обратную полярность. Одновозрастность лав и интрузии выводится из сходства их петрологических и геохимических характеристик (Lind et al., 1994). Принимая во внимание, что такое сходство является довольно слабым аргументом в пользу одновозрастности лав и интрузий, а последние работы не подтвердили наличия зон обратной полярности в моронговской свите, мы приходим к выводу, что существование периодов обратной полярности в моронговское время также недостаточно обосновано.

В течение полевого сезона 2012 г. нами было выполнено детальное опробование самоедской

свиты в долине р. Верхняя Таловая и моронговской свиты в долине ручья Мокулай. Обработка отобранных проб позволит в ближайшее время еще раз проверить гипотезу о существовании поля обратной полярности в моронговское и самоедское время. Пока же данные о возможных зонах обратной полярности в разрезах этих свит рассматриваются нами как недоказанные и в наших построениях не учитываются.

Особо отметим, что в связи с низкой надежностью мы также не используем данные, указывающие на существование в верхней части норильской трапповой толщии нескольких зон обратной полярности (Gurevitch et al., 2004; Михальцов и др., 2012). Их выделение производится на основании палеомагнитных данных, полученных по 1–2 образцам кернa скважин, и, как честно пишут авторы статьи (Gurevitch et al., 2004), может являться следствием ошибки ориентировки кернa.

Результаты (Heunemann et al., 2004) дают основание полагать, что геомагнитное поле начало менять свою полярность уже в ивакинское время, однако имеющихся данных, по-видимому, еще недостаточно, чтобы уверенно это утверждать. Между тем ответ на этот вопрос сможет дать дополнительные важные ограничения на длительность формирования разреза.

#### *Варианты корреляции Норильского и Котуйского трапповых разрезов*

Возможные варианты корреляции этих разрезов показаны на рис. 3 и обсуждаются ниже.

**Вариант 1.** Предполагает, что зона прямой полярности, соответствующая всему Норильскому разрезу, исключая ивакинскую свиту, древнее зоны обратной полярности хардахской свиты Котуйского разреза (рис. 3а). Имеющиеся геохронологические данные (Kamo et al., 2003) не противоречат этому: варьируя датировки изотопного возраста в пределах соответствующих доверительных интервалов, можно принять возраст моронговской свиты Норильского района в 251.5 млн лет, а возраст арыджангской свиты Котуйского района в 251.3 млн лет. При этом продолжительность интервала обратной полярности, отвечающего хардахской свите, будет составлять максимум 200 тыс. лет (если нормально намагниченные верхи Норильского разреза образовались практически сразу же за моронговской свитой).

Подобный вариант корреляции предлагался в работе (Steiner, 2006), где построения основывались на сопоставлении относительных длительностей магнитных зон в сибирских трапповых разрезах и магнитных зон в глобальной пермо-триасовой шкале магнитной полярности (рис. 4а).

Однако этот вариант имеет ряд противоречий с палеонтологическими данными. Возраст хар-

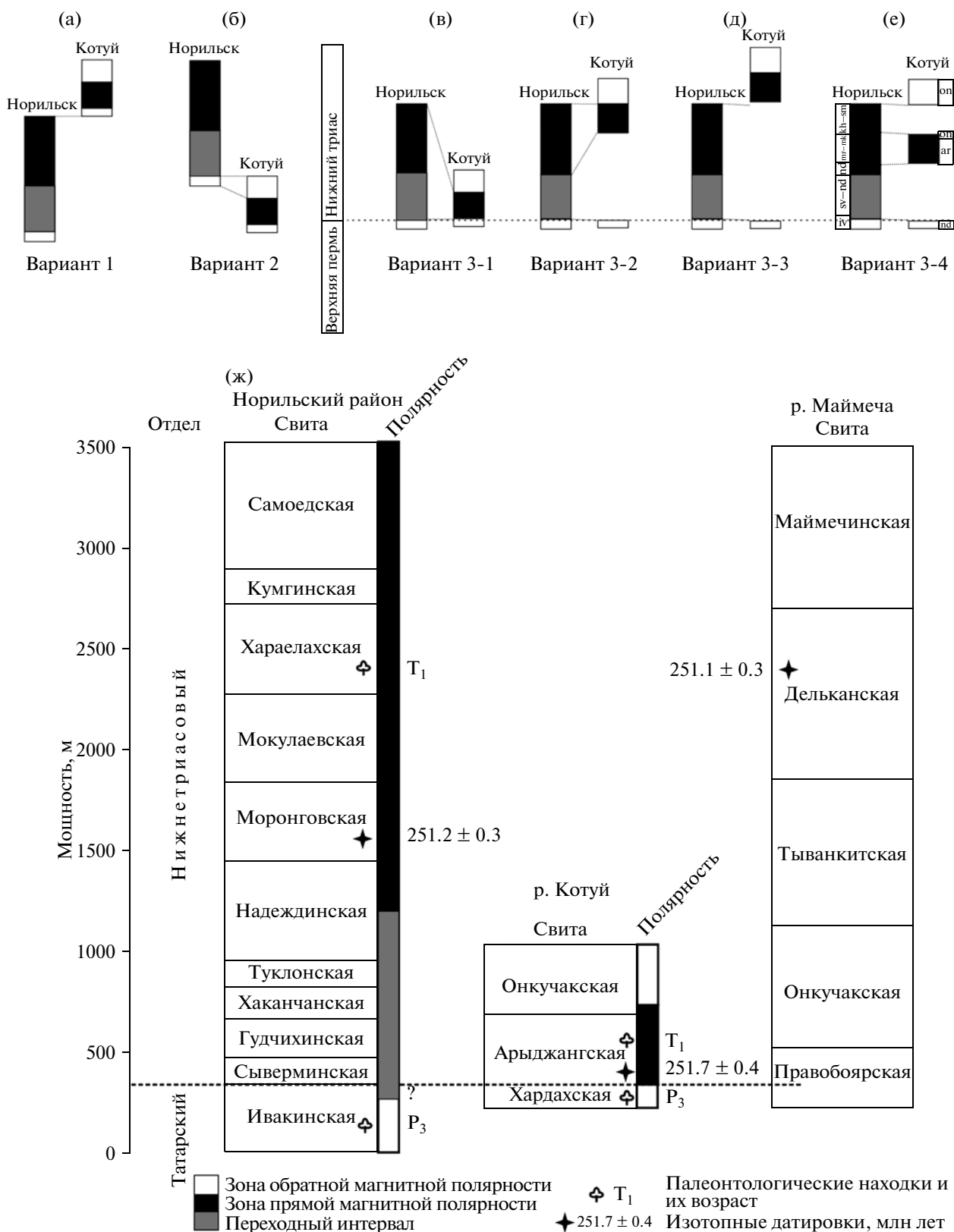
дахской свиты Котуйского разреза по спорово-пыльцевому комплексу определяется как позднепермский (Иванов, Пирожников, 1959). Если считать весь Норильский разрез древнее Маймеч-Котуйского, то первый полностью должен быть отнесен к перми. Но это предположение противоречит сведениям о находках синапсид (зверообразные), согласно которым харделахская свита Норильского разреза относится к низам нижнего триаса (Fedorenko et al., 1996).

Такой вариант корреляции также очевидно противоречит современным датировкам пермо-триасовой границы ( $252.6 \pm 0.2$  млн лет; Metcalfe, Isozaki, 2009).

**Вариант 2.** Предполагает, что весь Котуйский разрез древнее Норильского (рис. 3б). В этом случае верхняя зона обратной полярности Котуйского разреза должна быть древнее зоны обратной полярности ивакинской свиты Норильского района или одновозрастна ей. Согласно геохронологическим данным такое соотношение разрезов возможно; в этом случае между формированием Маймеч-Котуйского и Норильского разрезов могло пройти не более 500 тыс. лет, если принять (опять же в рамках доверительного интервала определения) возраст моронговской свиты 250.9 млн лет, а возраст дельканской свиты, соответствующей зоне обратной полярности Маймеч-Котуйского разреза, 251.4 млн лет (Kamo et al., 2003). Но ивакинская свита Норильского разреза, по определениям флоры и наличию пелеципод (двустворчатые моллюски), относится к верхней перми (Объяснительная..., 2000). Следовательно, весь Котуйский разрез должен быть не моложе поздней перми, что, однако, противоречит находкам раннетриасовых филлопод (листоногие ракообразные) в арыджангской свите (Иванов и др., 1959), а также приведенной выше датировке пермо-триасовой границы.

Такой вариант корреляции был ранее рассмотрен Е.Л. Гуревичем с соавторами (Gurevitch et al., 2004) (рис. 4д, вариант Б), использовавшими в его поддержку Ar-Ar датировки (Basu et al., 1995), а также, возможно, более “древнее” положение маймеч-котуйского палеомагнитного полюса по сравнению с норильским (Gurevitch et al., 2004, p. 224).

Однако современные U-Pb определения изотопного возраста (Kamo et al., 2003) опровергают аргументацию, основанную на Ar-Ar датировках (Basu et al., 1995). Что же касается использования положения палеомагнитных полюсов для определения их относительных возрастов, то об этом не приходится говорить хотя бы в силу того, что позднепалеозойский и раннемезозойский сегменты кривой кажущейся миграции палеомагнитного полюса Сибирской платформы до насто-



**Рис. 3.** Обсуждаемые варианты корреляции трапповых разрезов Норильского и Маймечя-Котуйского районов на основе палеомагнитных, геохронологических и палеонтологических данных (а–е) и схема фактического материала (магнитная полярность, изотопные датировки, палеонтологические определения) рассматриваемых разрезов (ж).

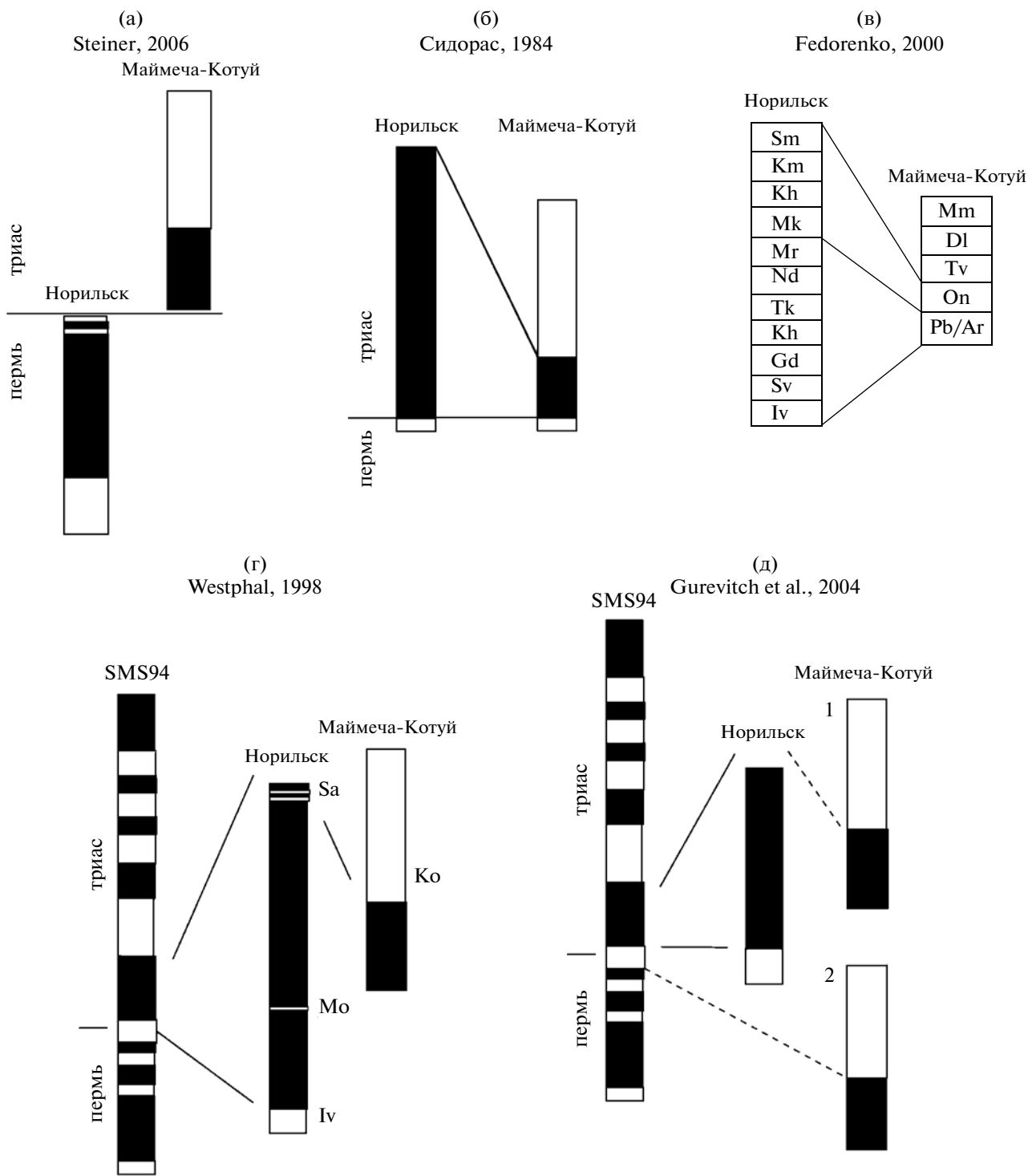


Рис. 4. Существующие схемы корреляции траппов Норильского и Маймеча-Котуйского районов.

SMS94 – сводная магнитостратиграфическая шкала (Steiner et al., 1994). Свиты Норильского района: Iv – ивакинская, Sv – сыверминская, Gd – гудчихинская, Kh – хаканчанская, Tk – туклонская, Nd – надеждинская, Mr – моронговская, Mk – мокулаевская, Kh – хараелахская, Km – кумгинская, Sm – самоедская. Свиты Котуйского разреза: Pb – правобоярская, Ar – арыджангская, On – онкучакская, Tv – тыванкитская, Dl – дельканская, Mm – маймечинская.

ящего времени остаются недостаточно разработанными.

**Вариант 3.** Периоды формирования Норильского и Маймеча-Котуйского разрезов частично перекрываются. Близкий по смыслу вариант корреляции рассматривали В.А. Федоренко с соавторами (Fedorenko, Czamanske, 1997; Fedorenko et al., 2000), Е.Л. Гуревич с соавторами (Gurevitch et al., 2004), С.Д. Сидорас (Сидорас, 1984), М. Вестфаль (Westphal et al., 1998) (рис. 4б–4г).

Прежде всего, отметим, что имеющиеся магнитостратиграфические данные не допускают полного временного перекрытия этих разрезов. Это следует, в первую очередь, из того, что в Норильском разрезе записаны две, а в Маймеча-Котуйском по крайней мере три зоны магнитной полярности (рис. 3ж). Более того, авторы работ (Heunemann et al., 2004; Gurevitch et al., 2004) выделили в трапповых разрезах Талнах, Листвянка и Икон Норильского района достаточно мощный инверсионно-экскурсионный интервал между устойчивыми зонами обратной (большая часть ивакинской свиты) и прямой полярности (разрез выше средних уровней надеждынской свиты), отвечающий инверсии и последующему экскурсу геомагнитного поля (рис. 3ж). Недавно было показано (Pavlov et al., в печати), что этот интервал также присутствует в других разрезах Норильского района (разрезы Сундук и Ергалах).

Результаты проведенных нами исследований не обнаруживают наличия такого переходного интервала в Котуйском разрезе. Это определенно указывает на то, что полные временные аналоги верхов ивакинской, сыверминской, гудчихинской, хаканчанской, туклонской и значительной части надеждынской свит в Котуйском разрезе отсутствуют либо редуцированы до маломощного интервала, отвечающего плохо обнаженному и поэтому неизученному переходу между хардахской и арыджангской свитами. Это означает, что в то время как в Норильском районе происходили интенсивные извержения, приведшие к формированию большей части нижних свит трапповой толщи, в Маймеча-Котуйском районе не было сколько-нибудь существенных проявлений вулканической активности.

На настоящий момент нет никаких данных, которые бы прямо противоречили одновозрастности хардахской и ивакинской свит — обе они намагничены в обратной полярности и содержат позднепермскую фауну. Поэтому в качестве рабочего варианта мы предлагаем прямое возрастное сопоставление этих стратиграфических подразделений (рис. 3в–3е).

Отметим при этом, что геохимический состав их различен: ивакинская свита представлена лавами нормальной щелочности и субщелочными

породами, тогда как хардахская свита содержит туфы щелочно-ультраосновного состава.

Следует также обратить внимание на то, что отсутствие переходного интервала в нижней части прямонамагнитной толщи Котуйского разреза свидетельствует в пользу существования в ее основании перерыва неизвестной длительности, но большей, чем время, необходимое для геомагнитной инверсии (~10000 лет). Если это так, то хардахская свита, оставаясь в пределах верхней перми, вполне может быть древнее ивакинской свиты Норильского района.

Отметим одно важное обстоятельство, которое препятствует предположению о возможно более древнем возрасте ивакинской свиты. Судя по данным, представленным (Heunemann et al., 2004) по разрезу Талнах, переходный интервал начался в конце ивакинского времени сразу после периода обратной полярности и продолжался вплоть до установления устойчивого режима нормальной полярности в середине—конце надеждынского времени. Это свидетельствует об отсутствии значительных перерывов в нижней части Норильского разреза и не позволяет “оторвать” преимущественно обратномагнитную ивакинскую свиту от вышележащих прямонамагнитных свит. Отметим, что этот вывод справедлив, если переходный интервал действительно начался в ивакинское время, что требует дополнительной проверки.

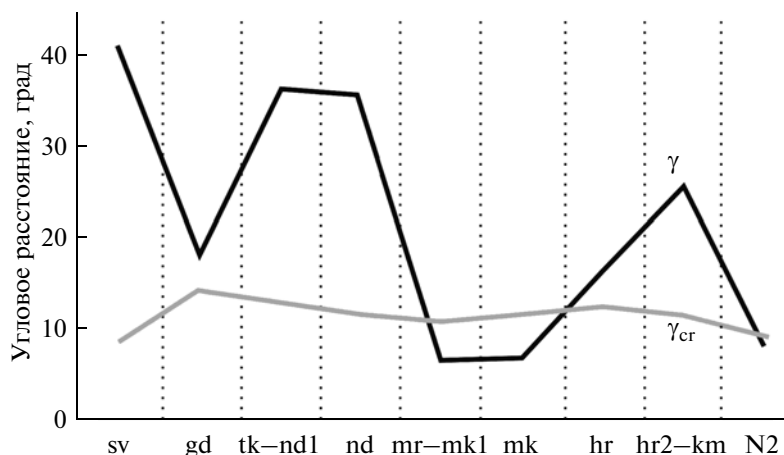
Прямомагнитный интервал Котуйского разреза естественно сопоставить с прямомагнитными породами Норильского региона.

В работе (Fedorenko, Czamanske, 1997) арыджангская свита, рассматриваемая как возрастной аналог правобоярской, и онкучакская свита Маймеча-Котуйского региона коррелируются со всем Норильским лавовым разрезом. При этом онкучакская свита соответствует мокулаевско-самоедской части норильской толщи (рис. 4в).

Наши данные позволяют внести существенные уточнения в эту схему.

Прежде всего, напомним, что только небольшая (нижняя) часть онкучакской свиты намагничена в прямой полярности. Следовательно, вся онкучакская свита не может быть сопоставлена ни с мокулаевско-самоедским уровнем, ни вообще с какой-либо частью Норильского разреза.

Мы предлагаем коррелировать с прямомагнитной частью Норильского разреза всю арыджангскую свиту и низы онкучакской свиты. Однако, учитывая наличие переходного интервала в Норильском разрезе и его отсутствие в Котуйском разрезе, следует сопоставлять арыджангскую свиту и нижнюю часть онкучакской свиты с верхней частью Норильского разреза, начиная с середины—верхов надеждынской свиты (рис. 4г).



**Рис. 5.** Расстояние ( $\gamma$ ) между виртуальными геомагнитными полюсами свит Норильского района (исходные данные (Gurevitch et al., 2004; Heunemann et al., 2004)) и полюсом для интервала прямой полярности Маймеча-Котуйского района (Павлов и др., 2011).

$\gamma_{cr}$  – критический угол (McFadden, McElhinny, 1990). Свиты: sv – сыверминская, gd – гудчихинская, tk – туклонская, nd – надеждинская, mr – моронговская, mk – мокулаевская, hr – хараелахская, km – кумгинская, N2 – нормально намагниченная часть Норильского разреза.

Средние полюсы, рассчитанные по дирекционным группам и индивидуальным направлениям для этих интервалов Котуйского и Норильского разрезов ( $Plat = 51.9^\circ$ ,  $Plong = 130.7^\circ$ ,  $\alpha_{95} = 4.8^\circ$  и  $Plat = 56.5^\circ$ ,  $Plong = 142.2^\circ$ ,  $\alpha_{95} = 7.8^\circ$  соответственно; Павлов и др., 2011), относительно близки ( $\gamma/\gamma_{cr} = 8.1^\circ/8.7^\circ$ ) (рис. 5). С другой стороны, сравнение виртуальных геомагнитных полюсов прямонамагнитных лавовых свит Котуйского (арыджанская свита и нижняя часть онкучакской свиты) и Норильского разрезов (рис. 5) показывает, что из всех норильских свит только полюсы моронговской и мокулаевской свит значительно не отличаются от котуйского полюса ( $\gamma/\gamma_{cr} = 6.3^\circ/10.7^\circ$  и  $6.4^\circ/11.1^\circ$  соответственно). Это позволяет предложить вариант корреляции котуйского интервала прямой полярности с моронговско-мокулаевским уровнем Норильского разреза (рис. 3е).

Предлагаемая схема корреляции противоречит гипотезе о том, что близкие по химическому составу лавы изливались субсинхронно. Действительно, арыджанская свита, состоящая из лав ультраосновного состава и щелочных базальтов, коррелируется в предложенной нами схеме с толеитовыми базальтами верхней части Норильского разреза. Отметим, что хотя гипотеза близости возраста однотипных лав достаточно широко применяется при корреляции вулканических разрезов (см., например, Kato et al., 2003), она продолжает оставаться не более чем гипотезой, каждый раз требующей проверки.

Рассмотренные выше три варианта не исчерпывают всех модификаций схемы корреляции траппов Норильского и Маймеча-Котуйского

районов. Еще один из возможных вариантов возрастного сопоставления Норильского и Котуйского разрезов состоит в том, что с учетом существования “перерыва” неизвестной длительности в низах Котуйского разреза, весь разрез, исключая хардахскую свиту, может быть моложе Норильского (рис. 3д). Эта схема также не противоречит имеющейся геохронологической, палеонтологической и магнитостратиграфической информации. Единственный аргумент, который можно привести против такого варианта корреляции, состоит в уже обсуждавшейся выше близости арыджанских и моронговско-мокулаевских полюсов.

Таким образом, несколько рассмотренных вариантов корреляции, включая обсуждавшиеся ранее в литературе, противоречат имеющимся данным, и только один вариант, подразумевающий частичное (но, возможно, в разных модификациях) перекрытие во времени обсуждаемых разрезов, согласуется с ними.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ниже приведены основные результаты выполненных нами магнитостратиграфических исследований:

1) на современном методическом уровне построен магнитостратиграфический разрез эффузивных траппов долины р. Котуй;

2) в основании траппового разреза долины р. Котуй доказано существование зоны обратной полярности, отвечающей хардахской свите;

3) показано, что внутри коготокской серии граница между зонами прямой и обратной поляр-

ности проходит в нижней части онкучакской свиты и не совпадает с границей между свитами коготокской серии, как это принимается в работах (Гусев и др., 1967; Fedorenko, Czamanske, 1997; Kamo et al., 2003);

4) не подтверждено наличие записи перехода между зонами прямой и обратной полярности в базальтах нижней части онкучакской свиты;

5) мощный переходный интервал, обнаруженный в Норильском разрезе между ивакинской свитой и верхами надеждинской свиты (Heunemann et al., 2004; Pavlov et al., в печати), не имеет аналога в Котуйском разрезе;

6) на основе анализа возможных вариантов корреляции Норильского и Маймеча-Котуйского разрезов сделан вывод об их частичном перекрытии во времени; при этом довольно уверенно коррелируются низы разрезов — ивакинская и хардахская свиты, а сопоставление верхов разрезов может быть различным: например, частичное перекрытие (вариант 3-2, рис. 3) или надстраивание Норильского разреза Котуйским (вариант 3-3, рис. 3). При этом имеющиеся данные скорее поддерживают корреляцию арыджангской свиты и низов онкучакской свиты Маймеча-Котуйского разреза с моронговско-мокулаевским уровнем Норильского разреза (вариант 3-4, рис. 3).

*Исследования проведены при поддержке грантов РФФИ №№ 12-05-00403-а и 13-05-12030, гранта Министерства образования и науки РФ № 14.Z50.31.0017, а также проекта NSF “The Siberian flood basalts and the end-Permian Extinction” (EAR-0807585).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200000. Серия Анабарская. Лист R-47-XV, XVI. Объяснительная записка. Ред. Тараховский А.Н. М.: Аэрогеология, 1978.
- Гусев Б.В. Палеомагнитная корреляция и возрастные взаимоотношения магматических образований Маймеча-Котуйской провинции // Карбонатиты и щелочные породы севера Сибири (сборник статей). Л.: Недра, 1970. С. 15–28.
- Гусев Б.В., Металлова В.В., Файнберг Ф.С. Магнетизм пород трапповой формации западной части Сибирской платформы. Л.: Недра, 1967. 129 с.
- Егоров В.Н. Расчленение и корреляция вулканогенных образований триаса Маймеча-Котуйской провинции // Недра Таймыра. Сборник научных трудов. Вып. 1. Гл. ред. Самойлов А.Г. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1995. С. 141–154.
- Иванов А.И., Пирожников Л.П. Возраст щелочно-ультраосновных вулканогенных образований севера Сибирской платформы // Докл. АН СССР. 1959. Т. 127. № 5. С. 1078–1080.
- Латышев А.В., Марков Г.П., Павлов В.Э., Цельмович В.А. Магнитная минералогия пермо-триасовых вулканических пород Маймеча-Котуйской трапповой провинции (север Сибирской платформы) // Материалы Международной школы-семинара “Палеомагнетизм и магнетизм горных пород”. СПб.: СОЛО, 2010. С. 217–223.
- Михальцов Н.Э., Казанский А.Ю., Рябов В.В. и др. Палеомагнетизм траппов северо-западной части Сибирской платформы по результатам исследований керна // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 11. С. 1595–1613.
- Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1 : 1000000 (новая серия). Лист R-(45)-47. Норильск. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 479 с.
- Павлов В.Э., Флутто Ф., Веселовский Р.В. и др. Вековые вариации геомагнитного поля и вулканические пульсы в пермо-триасовых траппах Норильской и Маймеча-Котуйской провинций // Физика Земли. 2011. № 5. С. 35–50.
- Сидорас С.Д. Магнетизм вулканогенных образований Тунгусской синеклизы и его значение при геологических исследованиях. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Ленинград, 1984. 206 с.
- Стратиграфический кодекс России. Изд. третье. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
- Шуинов С.В. Критерии значимости в палеомагнетизме // Физика Земли. 1999. № 6. С. 89–92.
- Basu A.R., Poreda P.R., Renne P.R. et al. High-<sup>3</sup>He plume origin and temporal spatial evolution of the Siberian flood basalts // Science. 1995. V. 269. P. 822–825.
- Chadima M., Hroudka F. Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer // Travaux Géophysiques. 2006. V. XXVII. P. 20–21.
- Courtillot V.E., Renne P.R. On the ages of flood basalt events // C. R. Geoscience. 2003. V. 335. P. 113–140.
- Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geol. Surv. Can., 1994. P. 16.
- Fedorenko V.A., Czamanske G.K. Results of new field and geochemical studies of the volcanic and intrusive rocks of the Maymecha-Kotuy area, Siberian flood-basalt province // Int. Geol. Rev. 1997. V. 39. P. 479–531.
- Fedorenko V.A., Lightfoot P.C., Naldrett A.J. et al. Petrogenesis of the flood-basalt sequence at Noril'sk, North Central Siberia // Int. Geol. Rev. 1996. V. 38. P. 99–135.
- Fedorenko V., Czamanske G., Zen'ko T. et al. Field and geochemical studies of the melilite-bearing Arydzhangsky Suite, and an overall perspective on the Siberian alkaline-ultramafic flood-volcanic rocks // Int. Geol. Rev. 2000. V. 42. № 9. P. 769–804.
- Gurevitch E.L., Heunemann C., Rad'ko V. et al. Palaeomagnetism and magnetostratigraphy of the Permian–Triassic northwest central Siberian Trap Basalts // Tectonophysics. 2004. V. 379. P. 211–226.
- Heunemann C., Krasa D., Soffel H. et al. Directions and intensities of the Earth's magnetic field during a reversal: results from the Permo-Triassic Siberian trap basalts, Russia // Earth Planet. Sci. Lett. 2004. V. 218. P. 197–213.
- Kamo S.L., Czamanske G.K., Amelin Yu. et al. Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with the Permian–Triassic boundary and mass ex-

- tion at 251 Ma // *Earth Planet. Sci. Lett.* 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.
- Krasa D., Scherbakov V.P., Kunzmann T., Petersen N.* Self-reversal of remanent magnetization in basalts due to partially oxidized titanomagnetites // *Geophys. J. Int.* 2005. V. 162. P. 115–136.
- Lind E., Kropotov S., Czamanske G. et al.* Paleomagnetism of the Siberian flood basalts of the Noril'sk Area: a constraint on eruption duration // *Int. Geol. Rev.* 1994. V. 36. № 12. P. 1139–1150.
- McFadden P.L., McElhinny M.W.* Classification of the reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* 1990. V. 103. P. 725–729.
- Merrill R., McFadden P., McElhinny M.* The magnetic field of the Earth: Paleomagnetism, the core, and the deep mantle. San Diego: Academic Press, 1996. 531 p.
- Metcalfe I., Isozaki Y.* Current perspectives on the Permian–Triassic boundary and end-Permian mass extinction: preface // *J. Asian Earth Sci.* 2009. V. 36. P. 407–412.
- 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.* 2007. V. 443. P. 72–92.
- Pavlov V., Veselovskiy R., Fluteau F. et al.* Volcanic pulses in the Siberian traps as inferred from Permo-Triassic geomagnetic secular variations // *The Siberian Flood Basalts and the End-Permian Extinction.* Cambridge University Press, in press.
- Steiner M.B.* The magnetic polarity time scale across the Permian–Triassic boundary // *Non-marine Permian biostratigraphy and biochronology* // *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 2006. V. 265. P. 15–38.
- Steiner M.B., Morales M., Shoemaker E.M.* Magnetostratigraphic, biostratigraphic and lithologic correlations in Triassic strata of the Western United States // *Applications of paleomagnetism to sedimentary geology.* SEPM Spec. Publ. 1994. V. 49. P. 41–57.
- Watson G.S.* A test for randomness of directions // *Monthly Notices Roy. 1956. Geophys. Suppl.* 7. P. 160–161.
- Westphal M., Gurevitch E.L., Samsonov B.V. et al.* Magnetostratigraphy of the lower Triassic volcanics from borehole SG6 in Western Siberia: evidence for long lasting Permo–Triassic volcanic activity // *Geophys. J. Int.* 1998. V. 134. P. 254–266.
- Zijderveld J.D.A.* A.C. demagnetization of rocks: analysis of results // *Methods in paleomagnetism.* Eds. Collinson D.W., Creer K.M. Amsterdam: Elsevier, 1967. P. 254–286.

*Рецензенты А.Ю. Гужиков, Ю.Б. Гладенков*