

ПЕТРОМАГНИТНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЕРМО-ТРИАСОВЫХ ТРАППОВ ДАЛДЫНО-АЛАКИТСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

© 2014 г. К. М. Константинов*, С. Г. Мишенин**, М. Д. Томшин***,
В. П. Корнилова****, О. Е. Ковальчук*

*АК "АЛРОСА"

678174, Республика Якутия (Саха), г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16
E-mail: 2konstant@mail.ru

**Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГИМС)
630091, г. Новосибирск, Красный просп., 67
E-mail: mishenin-sg@mail.ru

***Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН
677980, Республика Якутия (Саха), г. Якутск, просп. Ленина, 39
E-mail: museum@diamond.ysn.ru

****Ботубинская геологоразведочная экспедиция АК "АЛРОСА"
678170, Республика Якутия (Саха), г. Мирный, ул. Вилюйская, 7
E-mail: KornilovaVP@alrosa.ru

Поступила в редакцию 24.04.2013 г.

Проведены петромагнитные и петролого-геохимические исследования пермо-триасовых траппов трех фаз внедрения (первая фаза – $\gamma\beta P_2$, вторая фаза – $\beta_0\text{-}\gamma\beta P_2\text{-}T_1$ и третья фаза – $\gamma\beta T_1$) Далдыно-Алакитского алмазоносного района (ДААР) Западной Якутии. Считается, что, в силу разнообразных причин (продолжительность магматической деятельности, геологическая обстановка становления магматитов, морфология магматических тел, характер внутрикамерной дифференциации и т. п.), внутри пермо-триасового комплекса образуются разнообразные петромагнитные таксоны (ПМТ) разной природы и морфологии. ПМТ траппов, магнитные свойства которых существенно отличаются от первоначальных, предлагается относить не к петромагнитным группам (ПМГ), а к петромагнитным неоднородностям (ПМН). Наиболее широко на территории ДААР развиты ПМН двух типов, которые сформировались в траппах за счет, соответственно: 1 – перемагничивания геомагнитным полем и 2 – обжига более ранних магматитов поздними. ПМН 1 типа определяются величиной векторов естественной остаточной намагниченности (ЕОН) вязкой природы, а 2 типа, кроме того, – векторами ЕОН метахронной природы, изменениями тензоров анизотропии магнитной восприимчивости и повышенными значениями гистерезисных параметров ферромагнитных минералов (титаномагнетиты). Схожие статистические закономерности, установленные в распределении значений ряда магнитных параметров, свидетельствуют о синхронности образования ПМН 1 и 2 типов в эпоху обратной полярности магнитного поля Земли. ПМН, природа которых связана с самообращением намагниченности титаномагнетитов (3 тип) и ударами грозовых разрядов (4 тип), встречаются на территории ДААР довольно редко. Установлено, что эффекты образования ПМН протекают без существенных минералогических и химических преобразований траппов, что затрудняет их идентификацию без применения специальных петромагнитных и аналитических исследований, чему и посвящена данная статья. ПМН разной природы характеризуются отличительными признаками: структурными, геохимическими, палеомагнитными и магнито-минералогическими. Выявленные ПМН существенно дополняют и уточняют петромагнитную легенду ДААР, что позволяет повысить качество интерпретации результатов магнитных съемок с целью поисков кимберлитовых трубок под траппами и совершенствовать Схему базитового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы.

Ключевые слова: Далдыно-Алакитский алмазоносный район, пермо-триасовые траппы, петромагнетизм, петромагнитная неоднородность, титаномагнетиты.

ВВЕДЕНИЕ

Для удобства интерпретации данных магнито-разведки с целью поисков кимберлитовых трубок на территориях IV и V геотипов (площади преи-

мущественного развития высокомагнитных изверженных пород совместно с терригенными осадочными образованиями [6]), пермо-триасовые траппы Далдыно-Алакитского алмазоносного района (ДААР) разделялись на петромагнитные груп-

Таблица 1. Соотношение средних значений физических параметров петромагнитных групп и фаз базитового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы [по 22, 31]

ПМГ	Фация	σ , кг/м ³	α , 10 ⁻⁵ СИ	I_n , 10 ⁻³ А/м	Q , ед.	Полярность	Фаза
1	недифференцированных пластовых и секущих интрузий	2941	945.6	8294.9	14.62	N	первая
2	дифференцированных пластовых интрузий	2919	222.5	832.4	4.74	N	первая
3	субинтрузивная	2820	738.9	1395.7	3.15	N/R	вторая
4	интрузивная	3000	1151.2	825.8	1.20	R	третья
5	интрузивная	2915	1316.3	3152.6	3.99	N/R	вторая
6	дайковых тел и глубинных маломощных пластовых интрузий	2949	836.7	2586.5	5.15	N	первая
7	жерловых или бескорневых вулканов	2867	74.8	238.2	5.08	R	вторая
8-0	туфовая	2106	<35	<15	<1.00	R	первая
8-1	туфовая	2203	55.1	172.0	4.84	N	первая
8-2	туфовая	2248	221.3	623.7	4.89	N/R	вторая
8-3	туффизитовая	2361	990.8	3054.9	5.13	N/R	вторая

Примечание. ПМГ – петромагнитная группа; N(R) – прямая (обратная) полярность векторов характеристической ЕОН.

пы (ПМГ) [26]. Сложность ранжирования современной намагниченности траппов ДААР на ПМГ определяют следующие геологические и геофизические факторы.

1. Многостадийность траппового магматизма во времени и его гипсометрическая (стратиграфическая) приуроченность. В принятой на вооружение геологами схеме выделено три фазы: 1 – интрузивная $\gamma\beta P_2$, 2 – вулканно-субвулканическая $\beta_0-\gamma\beta P_2-T_1$ и 3 – интрузивная $\gamma\beta T_1$ [3, 31].

2. Многообразие форм проявления (дайки, силлы и др.), изменчивость минералогического, химического и петрографического состава (дифференциация, контаминация и т. п.) [18, 25, 30].

3. Инверсии магнитного поля Земли в момент внедрения траппов [47].

4. Высокоширотные палеогеографическое и современное положения Сибирской платформы [17].

Сочетание двух последних факторов, согласно основополагающему принципу палеомагнитологии “центрального осевого диполя” [36], предопределило в траппах ДААР 250 млн. лет назад характерные крутые положительные и отрицательные направления векторов первичной естественной остаточной намагниченности (ЕОН, I_n)¹. Однако современные петромагнитные характеристики траппов пермотриаса сильно дифференцированы как по величинам, так и по направлениям [9, 10, 14, 21, 22, 28, 29, 40]. По этой причине, для того чтобы описать как можно больше признаков намагниченности траппов, многие исследователи в основу своих классификаций ПМГ закладывали разные принципы. Как правило, их суть сводилась к установлению общих связей между геологическими (петрографический, минералогический, геохимический составы и др.) и

петрофизическими (объемная плотность σ , магнитная восприимчивость α , векторы I_n и др.) параметрами, характеризующимися статистически однородными (одноmodalными) выборками (табл. 1).

Однако попытки объяснить все разнообразие магнитных свойств траппов ДААР с помощью сформированных таким образом ПМГ не привели к ожидаемым результатам. Проблема заключалась в том, что среди ПМГ траппов все еще оставался достаточно широкий ряд объектов, для которых так или иначе не удалось установить закономерности распределения магнитных параметров на основе элементарного статистического анализа [22]. Это, в свою очередь, порождало необходимость увеличения количества ПМГ и, как следствие, трудность восприятия интерпретаторами петромагнитных легенд и схем. Таким образом, возникла необходимость в разработке современной классификации петромагнитных таксонов (ПМТ) траппов ДААР, отражающих реальную геолого-геофизическую обстановку.

Дело в том, что в некоторых ПМТ траппов, за время их существования в течение около 250 млн. лет, произошли значительные изменения величин магнитных параметров, распределения которых не соответствуют нормальному (фишеровскому) закону [14]. Согласно [23, 27, 38], изменения магнитных свойств горных пород могут быть связаны с наложенными процессами, например, такими как: перемагничивание современным магнитным полем Земли; перемагничивание в результате температурного, динамического (Виллари эффект), химического или др. воздействий со стороны поздних геологических процессов; влияние размагничивающих полей, возникающих в телах формирующихся силлов за счет процессов линзования и ветвления; бифуркация векторов намагниченности титаномангнетитов; удары грозных разрядов; самообращение векторов ЕОН в минералах ферромагнитной фрак-

¹ Положительное направление вектора I_n - вниз, отрицательное – вверх.

ции; инверсии магнитного поля Земли, протекающие во время застывания магматического расплава большого объема; выветривание горных пород (выщелачивание ферромагнитных минералов); преобразование химического и фазового состава ферромагнитных минералов низкотемпературное окисление титаномагнетитов, метасоматоз и др.).

Такие ПМТ целесообразно относить не к ПМГ, а к петромагнитным неоднородностям (ПМН), характеризующимся специфической природой своего образования. Возможно, что в какой-то степени ПМН той или иной природы, а так же их комбинации, существуют и в траппах, развитых на территории ДААР. Так, например, во второй фазе (табл. 1) описаны единые по геологическим и петрографическим данным тела базитов (ПМГ), в которых присутствует знакопеременная полярность характеристической ЕОН². Не исключено, что они представляют собой ПМН, векторы **In** которых обусловлены поздними физическими и/или химическими процессами. Ранее, отсутствие данной категории в петромагнитных легендах базитового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы, приводило к существенным трудностям и ошибкам при решении многих научных и прикладных геолого-геофизических задач. Поэтому проблема выделения ПМН из ПМТ пермо-триасовых траппов в качестве их составных частей определило актуальность постановки специальных петромагнитных и петролого-геохимических исследований.

МЕТОДИКА РАБОТ

Отбор ориентированных образцов проведен из коренных обнажений ДААР (рр. Алаakit, Марха, Моркока и др., а также карьеры месторождений трубок Айхал, Комсомольская, Сытыканская, Юбилейная и дорожно-строительные карьеры, расположенные вдоль автотрассы г. Мирный – пгт. Айхал). С особой детальностью опробовались образцы из приконтактовых зон базитов разных фаз внедрения и разновидностей (долеритов, туфов и др.). Отбор ориентированных образцов проводился в современной системе координат [36], с постоянным контролем магнитного склонения. Всего отобрано более 1000 ориентированных штучков, из которых выпиливались по 2–3 кубика с ребром 0.02 м.

Петролого-геохимические исследования пород трапповой формации выполнены в лабораториях ИГАБМ СО РАН (г. Якутск), ИЗК СО РАН (г. Иркутск), НИГП и ЦАЛ Ботуобинской ГРЭ АК “АЛРОСА” (г. Мирный). При изучении вещественного состава магматитов использовались

традиционные петрографические и геохимические методы исследования. Минеральный состав пород определялся на микроанализаторе Jeol Superprobe-8800R, Camebax-micro и сканирующем микроскопе JSM-6480LM. Рентгенофазовые и термические анализы выполнены, соответственно, на дифрактометре ARL X’TRA и термоанализаторе DTG-60АН. При проведении термического анализа образец нагревался до температуры 1200°C, при этом фиксировались экзотермические и эндотермические эффекты с последующим контролем продуктов разрушения на дифрактометре. При разделении пород на серии использовалась диаграмма (Na₂O + K₂O–SiO₂) с дискриминантных линий деления на толеитовые и субщелочные разновидности по [48] и субщелочные и высокощелочные – по [49]. Классификация минералов ферромагнитной фракции базитов проводилась на основе тройной диаграммы (FeO–Fe₂O₃–TiO₂) [41].

Экспериментальные петромагнитные исследования проводились в специализированных лабораториях Амакинской ГРЭ АК “АЛРОСА” (пгт. Айхал), ИЗК СО РАН (г. Иркутск) и Казанского федерального университета (г. Казань), оснащенные современной аппаратурой и оборудованием: измерители магнитной восприимчивости (KLY-2 и KLY-3s, ф. AGICO, Чехия), спин-магнитометры (JR-4 и JR-5a, ф. AGICO, Чехия), размагничивающие установки переменным магнитным полем (AF-Demagnetizer, ф. Molspin LTD, Великобритания) и температурой (MMTD80, ф. Magnetic Measurements LTD, Великобритания), вибромагнитометры и измерители магнитной фракции (г. Борок ИФЗ РАН, РФ) и др. Комплекс проведенных петромагнитных исследований траппов включал:

1. Петрофизические исследования, характеризующие современное магнитное состояние горных пород. В основе исследований лежит изучение векторов **In**, индуктивной намагниченности **Ii** = αH (где **H** – вектор напряженности магнитного поля Земли в районе работ) и суммарной намагниченности **I** = **Ii** + **In**, от которых зависит характер аномального магнитного поля над траппами. В свою очередь, векторы намагниченности (**In**, **Ii** или **I**) определяются в пространстве тремя составляющими: скалярном (соответственно **In**, **Ii** и **I**), склонением ($0 < D < 360^\circ$) и наклоном ($-90^\circ < J < 90^\circ$) [20]. Отношение **In**/**Ii** характеризует коэффициент Кенигсбергера (фактор Q), который для долеритов пермо-триаса, как правило, значительно превышает 1.

При статистическом анализе направленных величин использована аппроксимация распределений единичных векторов (**In** или **I**) круговым рассеиванием [44], для которого обязательно вычисляется четыре параметра: среднее склонение (**Dcp**) и наклонение (**Jcp**), кучность (**k**) и угол доверия с вероятностью 95% (α_{95}). Первые два аналогичны элементам магнитного поля Земли и обычно изобра-

² Характеристическая ЕОН, **In^{ch}** – наиболее стабильная компонента ЕОН, выделенная в ходе магнитной чистки, на диаграмме Зийдервельда идущая в нуль [51]. Для датировки и оценки природы **In^{ch}**, необходим комплекс дополнительных исследований и тестов [36, 37].

жаются на равнопромежуточной полярной проекции единичной сферы. Кучность k характеризует меру группирования (плотность рассеяния) векторов вокруг среднего направления. Угол доверия α_{95} – это половина центрального угла кругового конуса, внутри которого лежит истинное направление вектора с вероятностью 95%.

2. Магнито-минералогические исследования, отражающие текстурно-структурные особенности горных пород, а также компонентный химический и фазовый состав минералов-носителей намагниченности. В нашем случае магнито-минералогические исследования включают измерения:

а) тензоров анизотропии магнитной восприимчивости (AMS) K_1 , K_2 и K_3 – значения α горных пород, соответствующие направлениям длинной, средней и короткой осей эллипса AMS [50], на основе которых рассчитываются: уточненная степень анизотропии:

$$P_j = \exp \sqrt{\{2[(\eta_1 - \eta_m)^2 + (\eta_2 - \eta_m)^2 + (\eta_3 - \eta_m)^2]\}},$$

где $\eta_1 = \ln K_1$, $\eta_2 = \ln K_2$, $\eta_3 = \ln K_3$, $\eta_m = (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3)/3$; параметр линейности $L = K_1/K_2$; параметр плоскости

$$F = K_2/K_3; \text{ параметр формы } T = \left[\frac{2 \ln(K_2/K_3)}{\ln(K_1/K_3)} \right] - 1.$$

Тела сплюсненной формы имеют значения $0 < T \leq 1$, тогда как отрицательные значения $-1 \leq T < 0$ характерны для тел удлинённой формы. Для нейтральных эллипсоидов, по форме напоминающих так называемые плоскодеформированные эллипсоиды, $T = 0$.

б) гистерезисных параметров (ГП) ферромагнитных минералов [39, 42]: индуцированная намаг-

ниченность насыщения J_s ; остаточная намагниченность насыщения J_{rs} ; коэрцитивная сила H_c ; сила, разрушающая остаточную намагниченность насыщения H_{cs} .

в) точек Кюри Θ по данным дифференциального термомагнитного анализа (ДТМА) индуцированной намагниченности J_i ферромагнитных минералов [2, 8].

3. Палеомагнитные исследования, устанавливающие направления векторов \mathbf{In}^n горных пород на момент их формирования и/или “преобразования”. Известно [36, 38], что вектор \mathbf{In} , в силу принципов палеомагнитологии “фиксации” и “сохранения”, может одновременно содержать некоторое множество векторов (компонент) ЕОН разного возраста и природы:

$$\mathbf{In} = \mathbf{In}^0 + \mathbf{In}^m + \dots + \mathbf{In}^v + \dots,$$

где \mathbf{In}^0 – первичная (синхронная формированию породы) ЕОН, \mathbf{In}^m – метакронная ЕОН, \mathbf{In}^v – вязкая ЕОН и т. п. В практике палеомагнитных исследований та или другая компонента может быть выделена в ходе лабораторных экспериментов по размагничиванию переменным магнитным полем или температурой [37, 51]. Не исключено, что магнитная запись горных пород о событиях далекого прошлого может быть “замаскирована” или полностью “стерта” другими видами компонент ЕОН, образованными более поздними геологическими или физико-химическими процессами.

При проведении исследований учитывались отечественные и зарубежные методические разработки по графической и аналитической реализации решений этих задач по компьютерным программам Statistica-6 [1], Opal-3 [5], Enkin-96 [43] и Anisoft-42 [45].

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе изучения базитов ДААР установлено, что в пределах пермо-триасового тектономагматического цикла выделяются три самостоятельные фазы внедрения: 1 – интрузивная $\gamma\beta P_2$, 2 – вулканно-субвулканическая β_0 - $\gamma\beta P_2$ - T_1 и 3 – интрузивная $\gamma\beta T_1$, которые четко различаются по геологическим (взаимное пересечение), петрографическим и геохимическим параметрам (табл. 2, рис. 1а) [3, 30, 31]. Первые порции базитового расплава ($\gamma\beta P_2$) поступали в позднепермское время. Трапповые sillы внедрялись в нижне- и верхнепалеозойские осадочные породы и размещались на различных глубинах, чаще в приповерхностных условиях. По этой причине, большинство интрузий в настоящее время бронирует водораздельные части. От магмоподводящих каналов sillы уходили на десятки километров, теряя свою мощность от сотни метров (вблизи магмоподводящего канала) до первых десятков. Преобладающий тип структуры долеритов, несмотря на различие в мощности каждого конкретно-

Таблица 2. Средний химический состав (мас. %) в породах интрузивов различных фаз внедрения ДААР по [31] с дополнениями

Компоненты	Первая фаза	Вторая фаза	Третья фаза
SiO ₂	48.82	49.38	47.87
TiO ₂	1.46	1.02	1.95
Al ₂ O ₃	15.04	15.00	14.77
Fe ₂ O ₃	3.89	3.16	4.27
FeO	8.79	7.97	9.76
MnO	0.19	0.17	0.20
MgO	6.89	7.97	6.33
CaO	10.29	11.53	10.17
Na ₂ O	2.40	2.01	2.46
K ₂ O	0.47	0.40	0.61
P ₂ O ₅	0.15	0.11	0.21
H ₂ O	1.45	1.27	1.41
CO ₂	0.15	0.08	0.12
S	0.03	0.03	0.03
F	0.03	0.04	0.03
сумма	99.68	99.83	99.84
число анализов	128	123	88

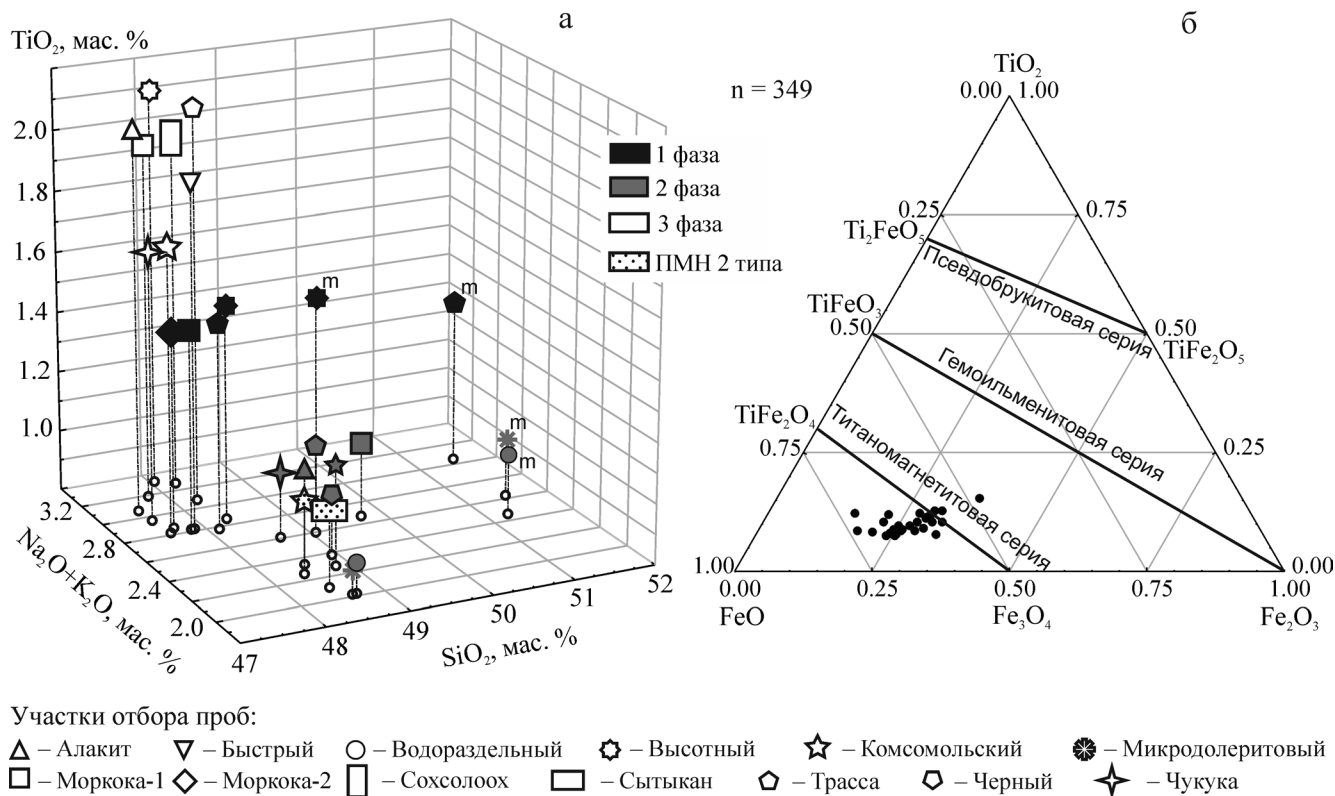


Рис. 1. Распределения петрохимических характеристик базитов ДААР.
 а – трехмерный график SiO₂–Na₂O + K₂O–TiO₂. m – микродолериты; б – тернарный график FeO–Fe₂O₃–TiO₂.

го тела и характера внутрикамерной дифференциации, – пойкилоофитовый. В интрузиях значительной мощности внутрикамерная дифференциация приводит к появлению оливиновых и троктолитовых разностей габбро-долеритов, а в шлировых сегрегациях образуются габбро-пегматиты и феррогаббро. Химический состав долеритов близок среднему траппу [18, 25], а вариации состава пород, в основном, связаны с характером внутрикамерной дифференциации.

Интрузивные тела второй фазы внедрения (β₀-γβP₂-T₁) занимают разное гипсометрическое положение. В одних случаях они интрузируют верхнепалеозойские терригенные осадки, в других – приурочены к субгоризонтально залегающей кровле нижнего палеозоя; часто отрывают и “задирают” блоки карбонатных пород, а иногда и кимберлитов. Предполагается, что вначале в верхнепалеозойскую толщу внедрялись субвулканические силлы, продуцирующие активную микровулканическую деятельность, образование туффизитов, местами они изливались на дневную поверхность, переходя в локальные лавовые потоки. Затем поступали менее подвижные и более вязкие порции основной магмы, завоевавшие пространство между подошвой верхнепалеозойских и кровлей нижнепалеозойских отложений. Они могли внедряться и в

более высокие горизонты осадочного чехла, а также в образования более ранних эксплозивных проявлений данной фазы, термально изменяя их до появления апотуфовых роговиков. Пирокластические породы второй фазы представлены туфами алакитской свиты (βP₂-T₁al), которые благодаря наличию в них слоистых текстур, являются стратифицированными образованиями. Туфы образуют в теле долеритов чашеобразные залежи с крутыми (45–70°) и даже вертикальными границами в верхней и средней части, в нижней – несколько выположены. Контакт не вполне четкий, с “заплывами”, часто глубокими, материала долерито-базальта в туфы. Всю эту группу сложных, разнофациальных магматитов мы рассматриваем как единый комагматичный нерасчлененный эффузивно-интрузивный комплекс. Внедрявшаяся магма была уже частично раскристаллизована, несла следы глубинного фракционирования в виде протокристаллов. Интрузивная фация второй фазы внедрения по сравнению с первой представлена более разнообразной гаммой пород. Помимо магматитов, обычных для мощных хорошо дифференцированных тел, присутствует ряд пород, несущих явные признаки приповерхностной кристаллизации. К ним отнесены долериты с толеитовой и интерсертальной структурами, а в зонах выклинивания и в кровле тел присутствуют минда-

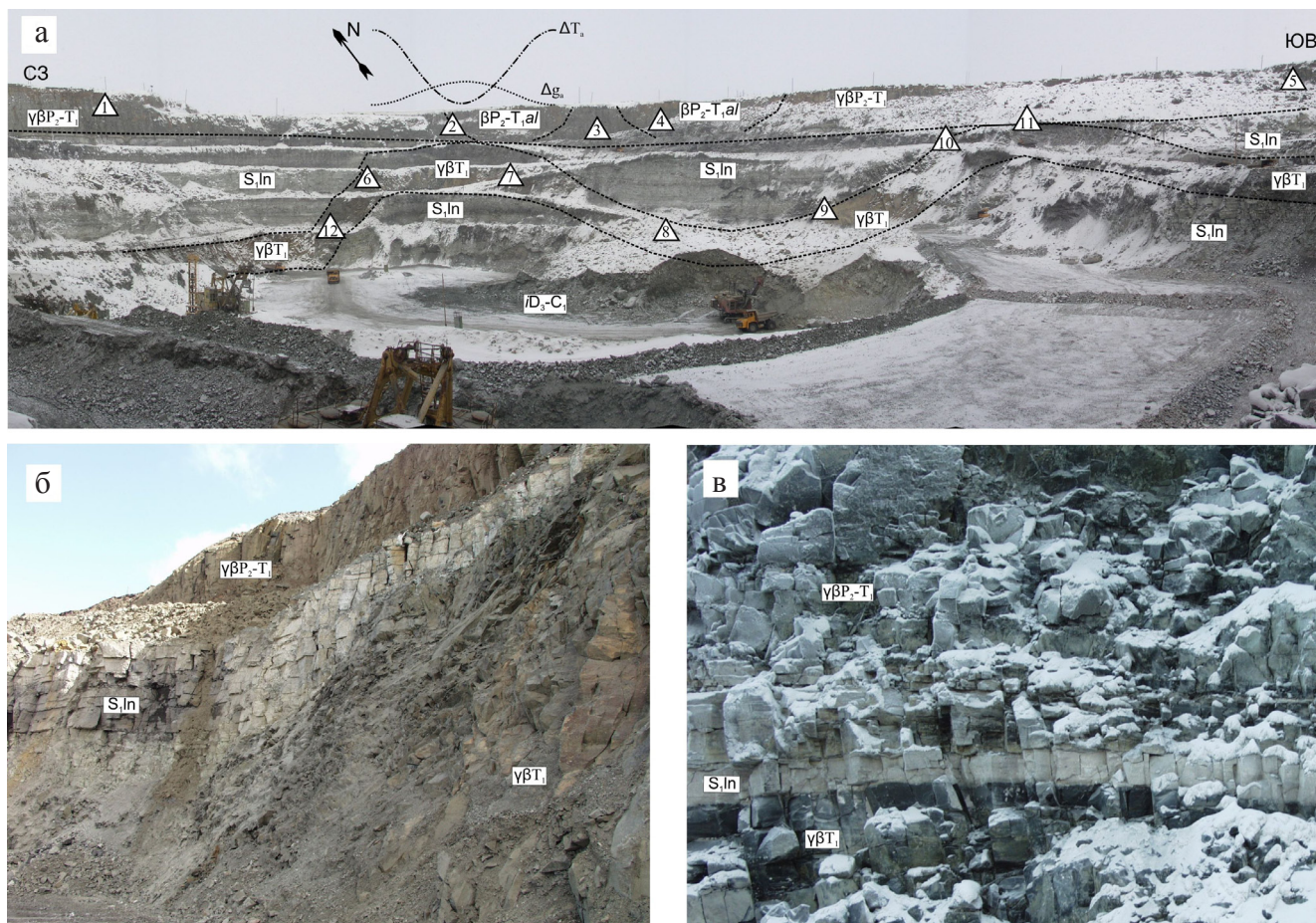


Рис. 2. Карьер месторождения кимберлитовой трубки Комсомольская.

а – линия геологического разреза северо-восточного борта добычного карьера (фото А.С. Гладкова): штриховая линия – геологические границы траппов, треугольники – изученные обнажения и их номера. б и в – фрагменты обнажений 10 и 11 на горизонтах, соответственно, 615 и 625 м (фото К.М. Константинова).

лекаменные и стекловатые разности. Особенность базитов этой фазы – офитовые структуры в отличие от пойкилоофитовых в породах первой. Вся петстая гамма магматитов второй фазы сформирована нормальным (относительно щелочности) толеитовым расплавом.

В третью фазу базитового магматизма ($\gamma\beta T_1$) образовались пологосекущие и пластовые тела различной мощности, локализованные главным образом среди нижнепалеозойских карбонатных пород, реже занимающие более высокие (приповерхностные) гипсометрические уровни. Рассматриваемые интрузии нередко прорывают тела первых двух фаз. Установлено их динамическое влияние на окружающие породы. Это проявляется в значительной деформации пород осадочного чехла, образовании инъективных поднятий с отторжением огромных блоков осадочных отложений и кимберлитов. Силлы очень чутко реагируют на околотрубочное пространство нижнепалеозойского кимберлитово-вмещающего основания и, как бы, обтекают его, вследствие чего образуют безтрапповые “окна” и “коридоры” [19, 24]. Рас-

сматриваемые интрузии третьей фазы в большинстве сложены средне- и крупнозернистыми долеритами, имеющими часто трахитоидный облик. Структура пород габбро-офитовая. Магматический расплав, сформировавший интрузии, отвечает толеитам повышенной щелочности со специфическими геохимическими особенностями (табл. 2). Долериты этой группы имеют максимальное содержание TiO_2 (около 2%), суммарного Fe (13–15%) и суммы щелочей (в среднем 3.07%).

По геохимической классификации $FeO-Fe_2O_3-TiO_2$, все носители намагниченности базитов пермо-триаса ДААР, независимо от фазы внедрения, принадлежат к одной титаномagnetитовой серии (рис. 16). Этот вывод хорошо согласуется с результатами независимого ДТМА [22].

Контактные взаимоотношения второй и третьей фаз базитового магматизма ДААР достаточно детально изучены в карьере кимберлитовой трубки Комсомольская (рис. 2). Интрузия магмы (силл), формирующей тело третьей фазы, реагируя на окружающее кимберлиты околотрубочное простран-

Таблица 3. Химический состав долеритов (мас. %) трапповых интрузий, вскрытых карьером трубки Комсомольская

Компоненты	Вторая фаза (n = 33)	Обр. 140	Обр. 227	ПМН зоны обжига (n = 7)	Третья фаза (n = 15)
SiO ₂	48.83	47.49	48.56	48.42	47.59
TiO ₂	1.13	0.94	0.98	1.04	1.74
Al ₂ O ₃	15.17	14.99	14.25	14.62	15.14
Fe ₂ O ₃	3.70	2.41	2.04	2.58	4.38
FeO	7.63	9.00	9.37	8.79	8.95
MnO	0.18	0.18	0.19	0.18	0.20
MgO	7.82	9.73	8.35	8.52	7.09
CaO	11.43	10.56	12.18	11.40	10.63
Na ₂ O	1.95	1.63	1.85	1.88	2.31
K ₂ O	0.40	0.39	0.27	0.38	0.51
P ₂ O ₅	0.12	0.13	0.1	0.12	0.18
H ₂ O ⁺	0.93	1.43	–	1.41	1.06
S	0.02	0.01	–	–	0.03
F	0.04	0.04	–	0.04	0.03
Сумма	100.04	99.92	99.96	99.92	100.10

Примечание. Обр. 140 и обр. 227 взяты из интрузива второй фазы, соответственно, в непосредственной близости (гор. 625 м) и на существенном удалении (гор. 650 м) от контакта интрузива третьей фазы (по данным ИГАБМ СО РАН и ИЗК СО РАН).

Таблица 4. Результаты микрорентгеноспектрального анализа долеритов, перекрывающих кимберлитовую трубку Комсомольская (мас. %)

SiO ₂	CaO	MgO	FeO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O	MnO	Сумма	Минерал
Долериты второй фазы										
52.8	18.2	14.3	12.5	1.6	0.0	0.9	0.3	0.3	100.8	авгит
0.0	0.0	2.3	46.9	0.1	0.0	49.8	0.0	0.5	99.5	ильменит
53.2	12.4	0.0	0.5	29.2	0.2	0.1	4.6	0.0	100.1	лабрадор
35.4	0.2	20.3	45.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.7	102.2	оливин
58.2	8.6	0.4	0.8	25.7	0.6	0.1	6.1	0.0	100.5	андезин
52.7	1.8	13.4	34.4	0.3	0.0	0.2	0.0	0.6	103.3	ферросилит
0.0	0.0	1.3	74.8	2.1	0.0	19.3	0.0	0.4	98.0	титаномагнетит
Долериты второй фазы из зоны обжига (ПМН 2 типа)										
52.5	14.2	14.3	17.1	1.2	0.0	0.8	0.2	0.4	100.7	авгит
0.0	0.0	1.3	49.3	0.1	0.0	48.3	0.0	0.3	99.3	ильменит
52.5	12.9	0.1	0.7	29.4	0.2	0.0	3.9	0.0	99.8	лабрадор
35.8	0.2	22.7	42.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	101.7	оливин
48.3	16.3	0.0	0.7	32.4	0.1	0.1	2.1	0.0	99.8	битовнит
57.5	9.4	0.1	0.6	26.4	0.5	0.1	5.9	0.0	100.4	андезин
53.5	1.0	17.2	28.8	0.1	0.0	0.1	0.0	0.7	101.4	ферросилит
62.6	4.9	0.0	0.5	22.4	1.3	0.0	8.2	0.0	100.0	олигоклаз
Долериты третьей фазы										
53.4	16.8	15.3	12.3	1.3	0.0	0.6	0.2	0.4	100.2	авгит
0.0	0.1	0.4	47.5	0.0	0.0	47.2	0.0	1.0	96.2	ильменит
54.1	12.0	0.1	0.7	28.2	0.2	0.1	4.4	0.0	99.8	лабрадор
36.3	0.3	24.6	39.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	101.3	оливин
50.9	14.4	0.1	0.7	30.3	0.1	0.0	3.1	0.0	99.7	битовнит
52.3	9.7	15.0	21.3	0.7	0.0	0.5	0.1	0.5	100.1	субкальцевый ферроавгит
50.9	13.0	12.0	21.4	1.2	0.0	0.8	0.2	0.5	100.1	ферроавгит
52.2	5.2	15.9	23.4	1.0	0.0	0.6	0.1	0.5	99.0	Mg-Fe пижонит
0.1	0.0	0.2	80.2	1.0	0.0	11.7	0.1	0.7	94.1	титаномагнетит

ство, деформируется (“гормошится”), резко задирается вверх и, в дальнейшем скользит по подошве силла второй фазы [35]. Геохимическое (табл. 3) и петрографическое изучение зоны контакта двух интрузивов показало, что долериты второй (выше-лежащей) фазы вблизи контакта не претерпевают каких-либо заметных преобразований под влияни-

ем интрузива третьей (нижележащей) фазы внедрения: структура пород остается так же пойкилоофитовой, а основные породообразующие минералы, и даже оливин, сохраняют свои первоначальные формы и состав [31].

С другой стороны, как показали проведенные микрорентгеноспектральный (табл. 4), рентгено-

Таблица 5. Результаты рентгенодифракционного и термохимического анализов базитов, перекрывающих кимберлитовую трубку Комсомольская

Минерал	Базиты	Вторая фаза	ПМН зоны обжига	Третья фаза
альбит (Na-Ca), начало плавления $T = 1150^\circ\text{C}$		~85%	~63%	–
альбит (Na-Ca)-анортит, начало плавления $T = 1150^\circ\text{C}$		–	–	~86%
кварц		~2%	~8%	~1%
кальцит или халькопирит		~2% (возможны)	>11% (возможны)	~5% (возможны)
псевдобрукит			>2% возможен	~4%
шпинели (магнезиоферрит, магнетит, ульвошпинель), окисление		~2% состав шпинелей неоднороден	>6% состав шпинелей неоднороден	~3% состав шпинелей неоднороден
ильменит		–	>5%	–
тальк		~1%	~8%	–
слюда		~2%	–	–
смешанослойные образования, смектиты		>1% (возможны)	>2% (возможны)	>1% (возможны)
хлорит, серпентин		>3% (возможны)	>3% (возможны)	>1% (возможны)
увеличение массы при окислении		0.15%	0.25 %	0.67%
экзоэффект (окисление Fe^{2+})		нет	нет	$T = 365^\circ\text{C}$

дифракционный и термический (табл. 5) анализы, в зоне обжига долеритов второй фазы трубки Комсомольская несколько увеличивается количество кварца (до 8%), талька (до 8%) и минералов шпинелевой группы (до 6%). Кроме того, зафиксирован незначительный (~1.3%) переход трехвалентного железа в двухвалентное состояние, который, вероятнее всего, можно связать с изменениями в составе титаномагнетита, обусловленными структурами распада магнетит–ульвошпинель в результате термального обжига. Таким образом, только благодаря целенаправленно проведенным специальным аналитическим исследованиям нам удалось зафиксировать некоторые тонкие минералогические и геохимические изменения в зоне эндоконтакта второй фазы с третьей.

Ранее, при отсутствии подобной геохимической информации, такие ПМГ рассматривались в качестве самостоятельных ПМГ в составе того или иного магматического комплекса (фазы), но характеризующихся специфическими значениями магнитных параметров. Например, наличие мощных зон неоднородностей обратной полярности векторов ЕОН в магматах (долеритах) и туфах второй фазы из обн. 2, рис. 2, табл. 1 и 6) ранних фаз внедрения объяснялось, главным образом, синхронными им процессами инверсий магнитного поля Земли. Однако подобная интерпретация предполагала достаточно продолжительное время становления магматической фазы, что не выдерживало критики со стороны геологов. То же самое относится и к гипотезе, объясняющей подобные явления эффектами самообращения намагниченности титаномагнетитов [32–34].

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам петрофизических исследований получен спектр магнитных параметров траппов

пов разных фаз внедрения ДААР in situ (табл. 6, рис. 3). В настоящее время петромагнитную характеристику траппов первой фазы $\gamma\beta\text{P}_2$ дать затруднительно ввиду ее редкой встречаемости в коренных обнажениях и значительной выветрелости пород. Можем отметить относительно повышенные значения α – от 1500 до $2000 \cdot 10^{-5}$ СИ, In – от 4000 до $5500 \cdot 10^{-3}$ А/м, I – от 5000 до $6500 \cdot 10^{-3}$ А/м и фактора Q – от 5.0 до 6.0 ед. Векторы In и I долеритов первой фазы имеют крутые положительные наклоны Jsr , близкие к вертикальным (около 80 – 85°).

Долериты второй фазы внедрения $\beta_0\text{-}\gamma\beta\text{P}_2\text{-T}_1$ характеризуются значениями α от 800 до $1800 \cdot 10^{-5}$ СИ, In – от 1700 до $5000 \cdot 10^{-3}$ А/м (в единичных случаях до $10\,500 \cdot 10^{-3}$ А/м), I – от 2500 до $6000 \cdot 10^{-3}$ А/м и фактора Q – от 3.0 до 7.0 и более единиц. Микродолериты $\mu\beta\text{P}_2\text{-T}_1$ и туфы $\beta\text{P}_2\text{-T}_1\text{al}$ обладают сравнительно низкими значениями магнитных параметров: α не превышает $100 \cdot 10^{-5}$ СИ, In – менее $10 \cdot 10^{-3}$ А/м, I до $30 \cdot 10^{-3}$ А/м и фактора Q – от 0.04 до 0.50 ед. Как правило, направления векторов In и I обладают высокой кучностью и относительно небольшими овалами доверия, соответственно, k – до 50.0 и α_{95} – до 13.0° . Учитывая небольшие значения ошибок средних значений (ξ) скалярных магнитных параметров (тернарный график In-I-I) и высокую кучность векторов (стереограмма I), изученные обнажения можно рассматривать в качестве ПМГ (например, долериты карьера Айхал, рис. 3). Большинство изученных ПМГ траппов второй фазы имеют крутые положительные наклоны Jsr векторов In и I – от 75° и 80° и группируются в первом секторе стереограммы со склонениями Dsr , соответственно, 60° и 30° . Абсолютные значения I находятся в прямой зависимости от In с коэффициентом корреляции $r = 1$ (здесь и ниже в логарифмическом масштабе).

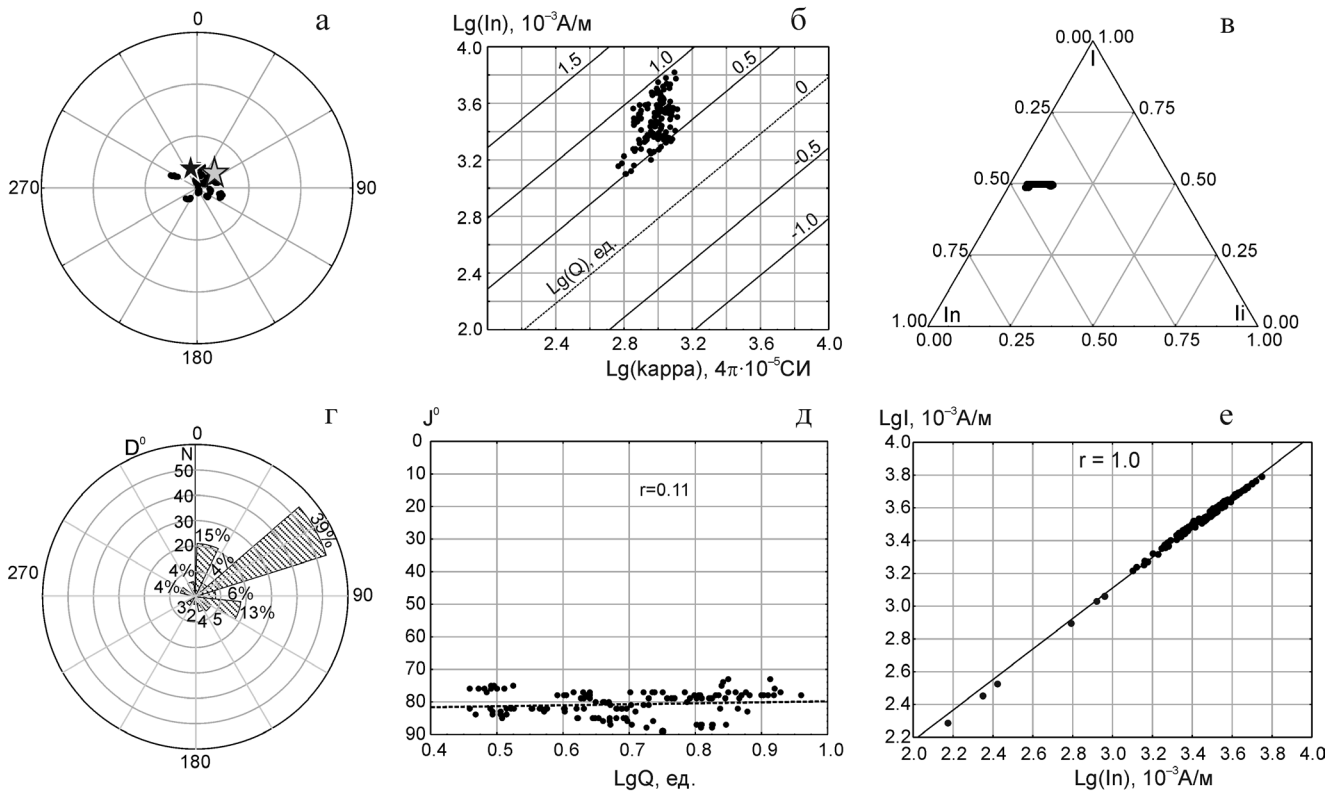
Отрицательно намагниченные траппы установлены в первой и второй фазах внедрения (напри-

Таблица 6. Спектр магнитных параметров пермотриасовых траппов Далдыно-Алакитского алмазоносного района в “естественном залегании”

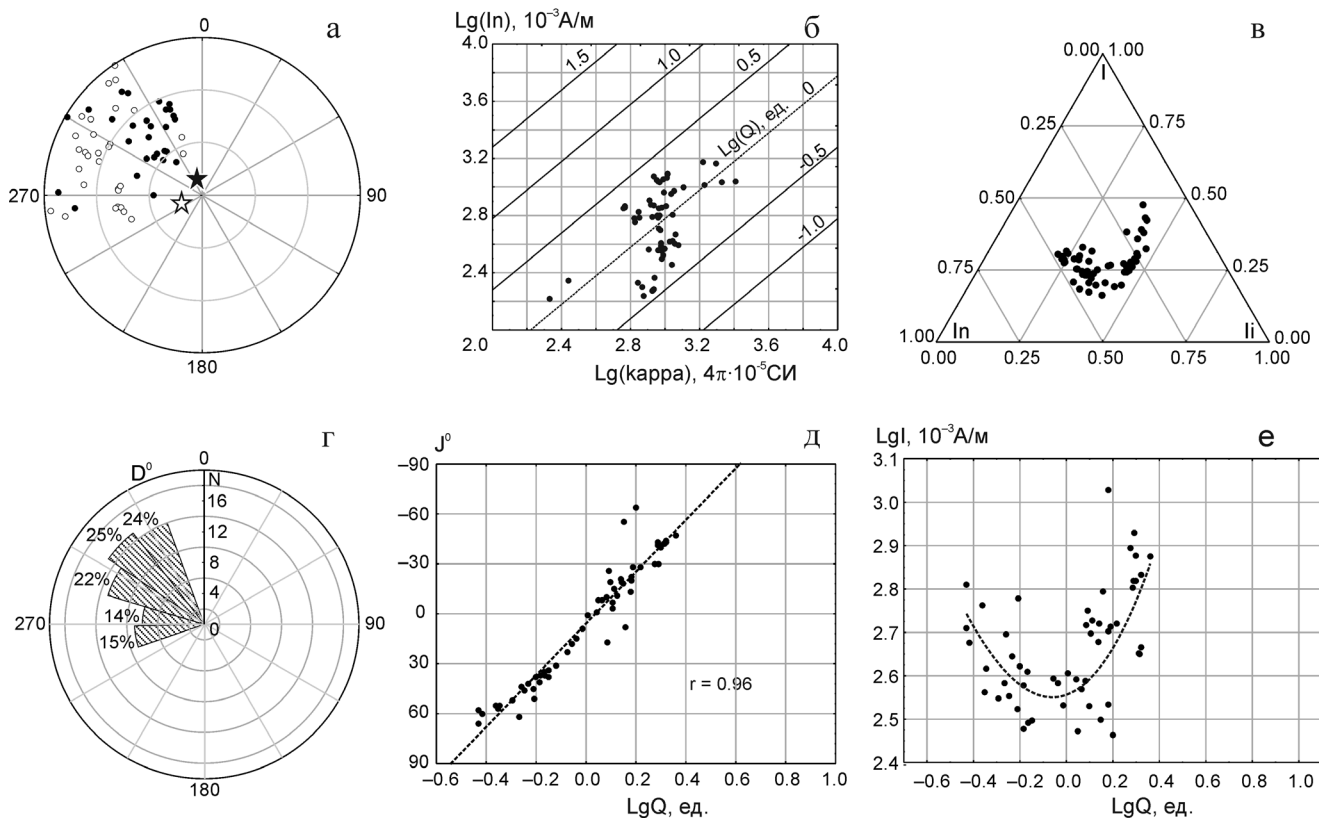
№ п.п.	Участок, тип пород	N	α 10 ⁻⁵ СИ	In				Q ед.	Ii 10 ⁻³ А/м	I			
				In, 10 ⁻³ А/м	Dcp°	Jcp°	k, ед./α ₉₅ °			I, 10 ⁻³ А/м	Dcp°	Jcp°	k, ед./α ₉₅ °
Первая фаза, γβP ₂													
1	Моркока, долериты	25	1890 (1.03)	5495 (1.07)	150	85	49.1/4.0	6.09 (1.08)	900 (1.03)	6400 (1.05)	135	85	63.8/3.5
2	Моркока, долериты*	3	1445 (1.06)	4848 (1.06)	100	-80	2036.6/2.7	7.10 (1.01)	690 (1.06)	4220 (1.06)	90	-80	1260.6/3.5
3	Трасса, долериты	130	1765 (1.03)	4100 (1.06)	345	80	10.9/4.0	4.86 (1.06)	845 (1.03)	5035 (1.05)	345	80	15.7/3.2
Вторая фаза, β ₀ -γβP ₂ -T ₁													
4	Айхал, долериты	140	1130 (1.03)	2800 (1.05)	80	82	29.4/2.2	5.1 (1.03)	560 (1.03)	3300 (1.05)	65	85	40.0/1.9
5	Быстрый, долериты	95	1490 (1.02)	4550 (1.09)	35	75	4.4/7.9	6.39 (1.09)	710 (1.02)	5375 (1.07)	35	75	4.9/7.4
6	Юбилейная, долериты	110	1800 (1.02)	4050 (1.03)	35	83	48.9/1.9	4.7 (1.04)	860 (1.02)	4930 (1.02)	30	85	70.0/1.6
7	Комсомольская долериты	130	1300 (1.04)	1700 (1.04)	74	82	38.0/2.1	2.9 (1.05)	620 (1.04)	2400 (1.04)	40	80	71.0/1.5
8	Комсомольская, долериты*	60	1155 (1.05)	570 (1.08)	275	-60	13.7/5.2	1.03 (1.07)	555 (1.05)	440 (1.06)	300	5	3.7/11.3
9	Комсомольская, туфы	50	40 (1.04)	10 (1.15)	85	85	15.8/5.3	0.43 (1.14)	20 (1.04)	30 (1.07)	5	80	37.8/3.4
10	Комсомольская, туфы*	55	40 (1.03)	5 (1.14)	290	-60	16.3/5.0	0.42 (1.12)	20 (1.03)	15 (1.08)	330	55	7.6/20.9
11	Алакит, долериты	45	1600 (1.02)	10445 (1.18)	60	70	3.30/14.3	13.66 (1.17)	765 (1.02)	11330 (1.17)	55	70	3.5/13.7
12	Чукука, долериты	40	1420 (1.05)	3590 (1.05)	45	85	41.0/3.5	5.30 (1.06)	680 (1.05)	4390 (1.05)	30	85	56.7/3.0
13	Черный, долериты	105	1600 (1.02)	5130 (1.06)	55	70	6.3/6.0	6.72 (1.06)	765 (1.02)	5880 (1.06)	45	75	7.3/5.5
14	Трасса, микродолериты	40	65 (1.01)	5 (1.28)	355	60	6.1/10.1	0.14 (1.27)	30 (1.01)	35 (1.06)	0	75	438.8/1.1
15	Микродолерит, долериты	80	850 (1.05)	1715 (1.07)	50	80	13.5/4.5	4.24 (1.06)	405 (1.05)	2130 (1.06)	30	80	19.8/3.6
16	Микродолерит, микродолериты	40	65 (1.01)	5 (1.20)	90	85	49.5/3.2	0.15 (1.20)	30 (1.01)	35 (1.04)	0	80	457.4/1.1
17	Сытыканская, долериты*	45	1200 (1.09)	470 (1.11)	320	45	3.7/12.8	0.82 (1.06)	570 (1.09)	930 (1.10)	330	65	11.4/6.5
18	Водораздельный, долериты	40	1005 (1.12)	3210 (1.15)	65	85	40.9/3.5	6.68 (1.07)	480 (1.12)	3705 (1.14)	45	85	50.0/3.2
19	Водораздельный, микродолериты	140	65 (1.01)	1 (1.14)	40	75	4.58/6.5	0.04 (1.12)	30 (1.01)	30 (1.01)	0	75	628.7/0.5
20	Водораздельный, туфы	55	50 (1.02)	5 (1.09)	95	85	26.0/3.8	0.16 (1.08)	25 (1.02)	30 (1.02)	0	80	779.3/0.7
Третья фаза, γβT ₁													
21	Комсомольская, долериты	180	1500 (1.02)	870 (1.05)	285	-60	11.5/3.3	1.1 (1.05)	770 (1.02)	710 (1.04)	305	0	3.4/6.8
22	Сытыканская, долериты	195	1260 (1.03)	1015 (1.04)	290	-45	6.8/4.2	1.66 (1.07)	610 (1.03)	1010 (1.03)	300	-15	3.1/7.1
23	Алакит, долериты (силл)	75	1370 (1.09)	1405 (1.11)	300	-60	3.0/11.5	2.15 (1.11)	655 (1.09)	1280 (1.11)	310	-15	2.2/15.2
24	Быстрый, долериты	30	2065 (1.02)	1020 (1.07)	330	-10	2.1/24.5	1.03 (1.09)	990 (1.02)	1230 (1.10)	340	30	3.65/16.1
25	Чукука, долериты	105	1740 (1.02)	1900 (1.13)	345	-40	1.9/14.5	2.28 (1.13)	830 (1.02)	1970 (1.13)	350	20	1.9/14.6
26	Сохолоох, долериты	50	2070 (1.02)	1020 (1.07)	330	-10	2.1/24.5	1.03 (1.09)	990 (1.02)	1230 (1.10)	340	30	3.7/16.1
		1948											

Примечание. N – количество образцов, участвующих в статистике. In, Ii, I – абсолютные значения векторов **In**, **Ii**, **I**. Dcp – среднее склонение, Jcp – среднее наклонение, k – кучность, α₉₅ – угол доверия с вероятностью 95% векторов **In** или **I** (вектор **Ii** направлен по современному геомагнитному полю). В скобках – стандартная ошибка (ξ). * – ПМН 2 типа (прогрев со стороны долеритов третьей фазы).

Долериты II фазы, трубка Айхал (N = 140)



Долериты II фазы из эндоконтакта (ПМН зоны обжига), трубка Комсомольская (N = 60)



Долериты III фазы, трубка Сытыканская (N = 195)

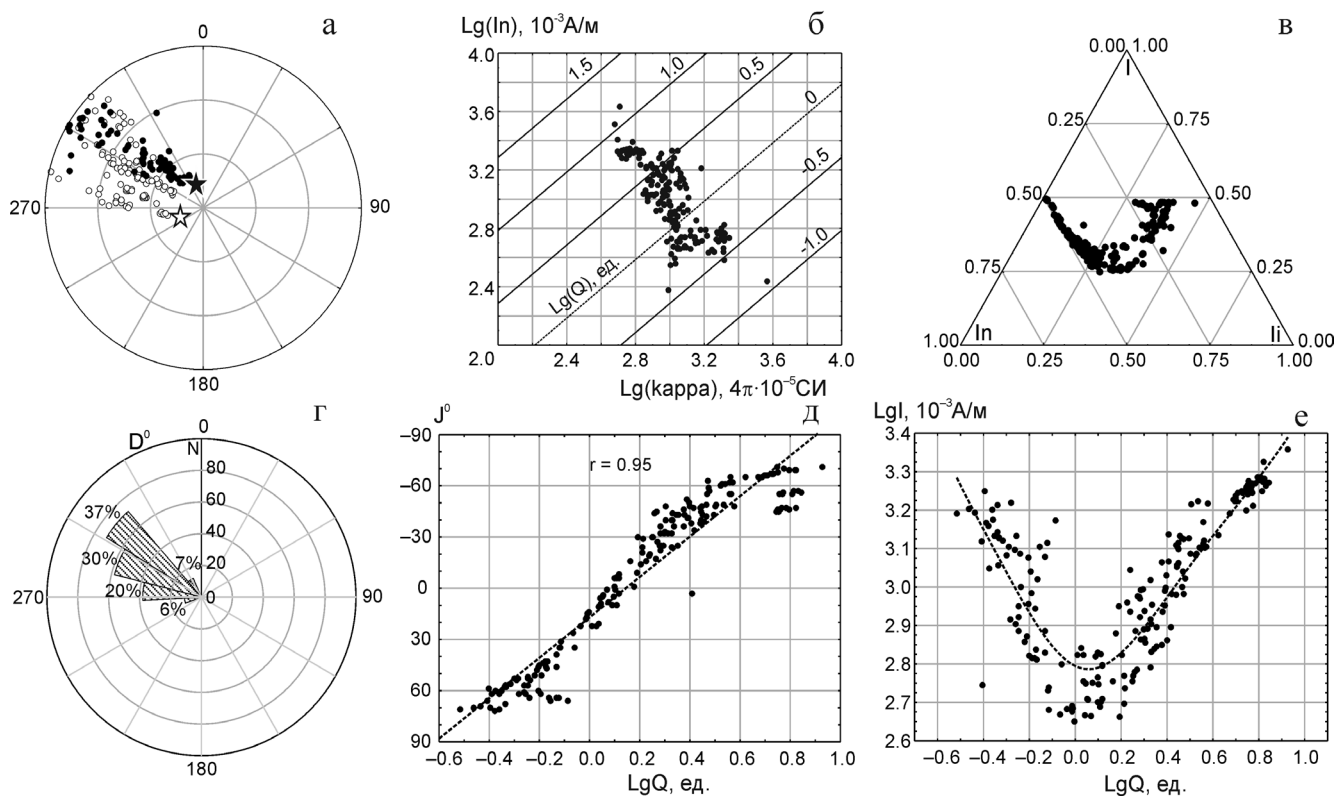


Рис. 3. Результаты статистической обработки магнитных параметров пермо-триасовых долеритов ДААР.

а – стереограмма векторов суммарной намагниченности **I**, темные (светлые) кружочки – проекции векторов **I** на положительную (отрицательную) полусферу, звездочки – древнее **Н_p** (серая и белая) на момент формирования траппов и современное **Н** (черная) направления магнитного поля; б – график зависимости $\ln - \alpha - Q$; в – тернарный график $\ln - I_i - I$; г – гистограмма склонений **D** векторов **I**; д – график зависимости наклонений **J** векторов **I** от фактора **Q**; е – график зависимости величины **I** от фактора **Q** или **In**. Другие пояснения см. в тексте.

мер, долериты и туфы карьера Комсомольский, табл. 6, рис. 3). По α они не отличаются от своих литологических аналогов (долериты и туфы, соответственно, $1200 \cdot 10^{-5}$ СИ и $40 \cdot 10^{-5}$ СИ), а по интенсивности **In** – в два и более раз меньше (соответственно, до $600 \cdot 10^{-3}$ А/м и $5 \cdot 10^{-3}$ А/м). Несмотря на достаточно компактные распределения скалярных магнитных параметров (ошибка средних значений ξ не превышает 1.11), долериты этой разновидности, по ряду причин, нельзя отнести к ПМГ. Во-первых, на тернарном графике $\ln - I_i - I$ фигуративные точки образуют распыленное облако, а, во-вторых, разброс наклонений **In** и **I** составляет около 140° (**J** изменяется от -70° до 70°). Как правило, подобные ПМТ пространственно совмещены с участками проявления базитов третьей фазы. На основе проведенного статистического анализа долеритов, отобранных непосредственно из эндоконтакта (зона обжига) второй фазы с третьей (рис. 2, обн. 2 и 11), установлены зависимости распределения параметров векторов **I** от составляющих их абсолютных значений α и **In** (или от их соотношения – фактора **Q**):

– сектор склонений **D** варьирует от 250 до 340° , что в среднем составляет $305 \pm 5^\circ$;

– наклонение **J** векторов **I** находится в прямой линейной зависимости от фактора **Q**, коэффициент корреляции $r = 0.96$ (чем выше значение фактора **Q**, тем устойчивее образец сохраняет обратную намагниченность);

– интенсивность **I** находится в параболической зависимости от фактора **Q**.

Значения α долеритов третьей фазы внедрения $\gamma\beta T_1$ варьируют от 1000 до $2000 \cdot 10^{-5}$ СИ, что превышает полученные значения по ранним фазам долеритов (табл. 6) и объясняется более высоким процентным содержанием в них магнитных минералов (табл. 2). Это предположение подтверждает и относительно повышенные значения объемной плотности $\sigma = 3000 \pm 50$ кг/м³ (табл. 1). Однако величина **In** их в 2 и более раз ниже и составляет от 850 до $1500 \cdot 10^{-3}$ А/м, **I** – от 700 до $2000 \cdot 10^{-3}$ А/м и фактора **Q** – от 1.0 до 2.5 ед. Распределение скалярных магнитных параметров достаточно компактное ($\xi < 1.13$), но в то же время для них на тернарном графике $\ln - I_i - I$ характерен существен-

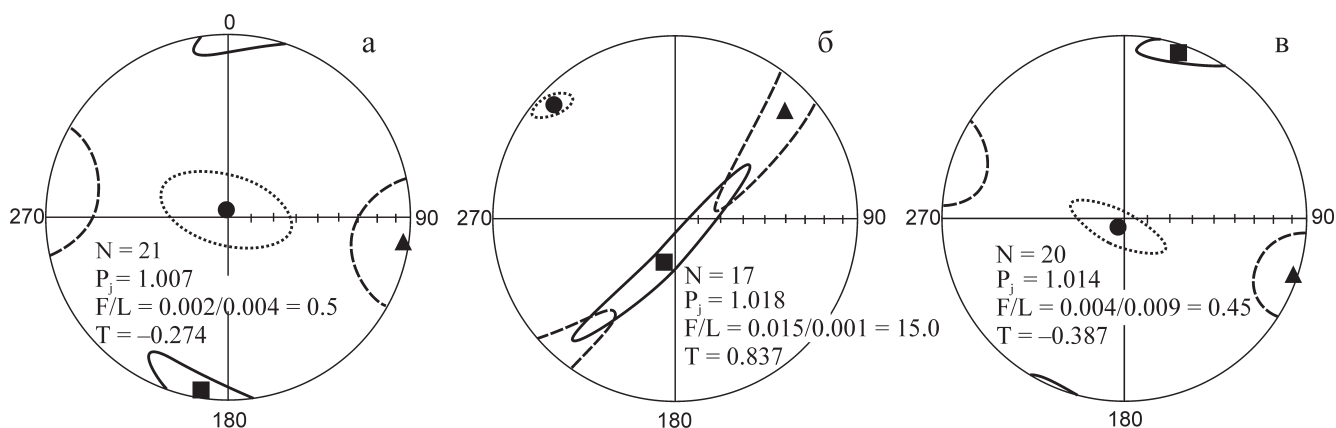


Рис. 4. Результаты изучения AMS трапов в карьере трубки Комсомольская.

а – долериты 2 фазы (гор. +650); б – ПМН зон обжига долеритов 2 фазы (гор. +650); в – долериты 3 фазы (гор. +610). Квадратики, треугольники и кружочки – средние направления длинной K_1 , средней K_2 и короткой K_3 осей эллипса AMS и соответствующие им овалы со сплошной, пунктирной и точечной линиями – эллипсы доверия с вероятностью 95%. N – число изученных образцов. Другие пояснения см. в тексте.

ный разброс фигуративных точек, а у векторов \mathbf{In} и \mathbf{I} вариации по наклонению составляют около 170° (J изменяется от -85° до 85°), кучность k не более 12.0 и овал доверия α_{95} до 25.0° и более (например, долериты карьера Сытыканский, табл. 6, рис. 3). Такой разброс значений магнитных параметров не отвечает установленным критериям однородности выборки, и, следовательно, не позволяет отнести большинство долеритов третьей фазы к категории ПМГ. Исключения могут составлять лишь долериты третьей фазы со значениями фактора $Q > 3.0$ или $\lg Q > 0.5$ (так называемые магнитожестькие или магнитоустойчивые разновидности [38]), в составе векторов ЕОН которых компонент \mathbf{In}^0 стремится к 100%. Распределения магнитных параметров аналогичны приведенным выше по ПМН зон обжига закономерностям:

– сектор склонений D варьирует от 270 до 330° , что в среднем составляет $300 \pm 5^\circ$;

– наклонение J находится в прямой линейной зависимости от фактора Q , коэффициент корреляции $r = 0.95$;

– интенсивность I находится в параболической зависимости от фактора Q .

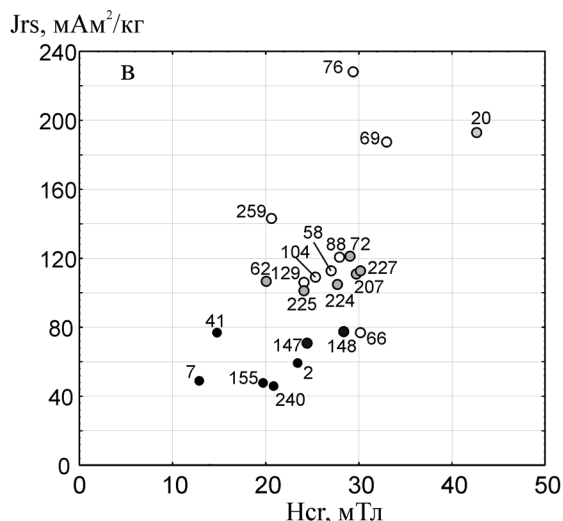
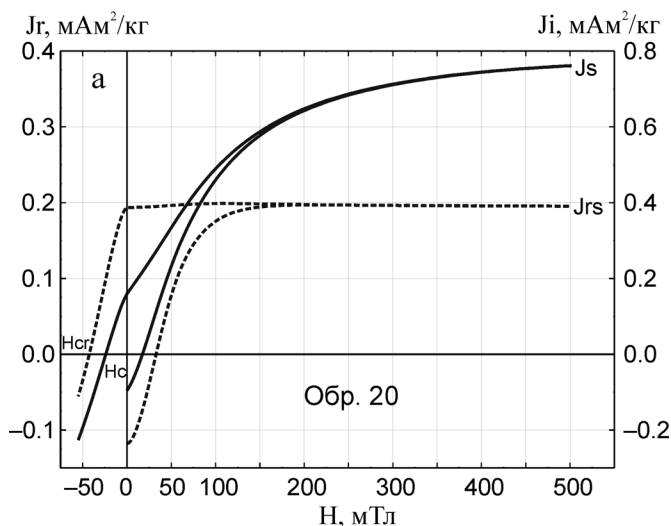
Магнито-минералогические исследования. В целом, тела базитов ДААР, независимо от фаз внедрения, по данным AMS (рис. 4) характеризуются изотропным строением: как правило, уточненная степень анизотропии P_j не превышает 5%. Для большинства силлов базитов линейная анизотропия L превышает плоскостную F в 2 и более раз, параметр формы эллипса AMS T не определен и может варьировать во всем диапазоне: от -1 до 1 . Обычно, на стереограммах плоскости магнитного расслоения, образованные большой K_1 и средней K_2 осями эллипса AMS, могут быть как субгоризонтальными (для силлов), так и субвертикальными (для даек) [50].

Согласно геохимическим исследованиям, основными носителями магнитных свойств пород трапповой формации являются титаномагнетиты (рис. 1б). По результатам магнито-структурного анализа (рис. 5а) ГП титаномагнетитов могут принадлежать широкой области распространения: от многодоменных (MD) до однодоменных (SD) частиц (рис. 5б) [39, 42]. На примерах силлов долеритов второй и третьей фаз внедрения, изученных на участках Алакит, Комсомольская и Черный, доменная структура титаномагнетитов по ГП соответствует псевдооднодоменному (PSD) ансамблю частиц, но у долеритов второй фазы она тяготеет к суперпарамагнитному (SPM) состоянию. Установлено, что титаномагнетиты третьей фазы значительно отличаются от титаномагнетитов второй фазы повышенными значениями ГП (рис. 5в и г). Из этого правила имеются исключения: например, повышенные значения ГП также характерны и для долеритов второй фазы из эндоконтакта с силлом долеритов третьей фазы. Вероятнее всего, это явление связано со структурной перестройкой титаномагнетита в зоне обжига, которая и фиксируется переходом части двухвалентного железа в трехвалентное состояние (табл. 3–5).

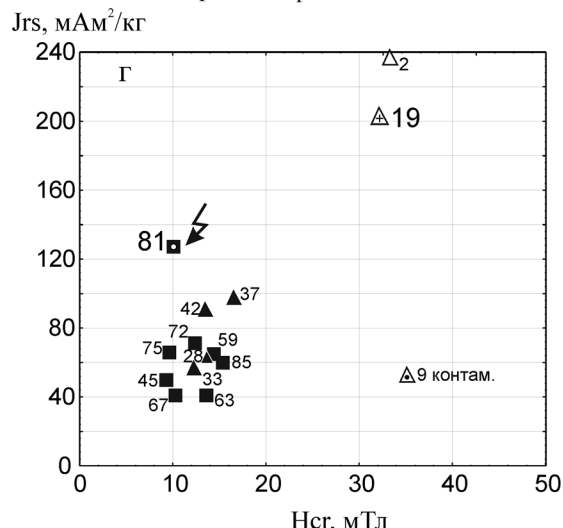
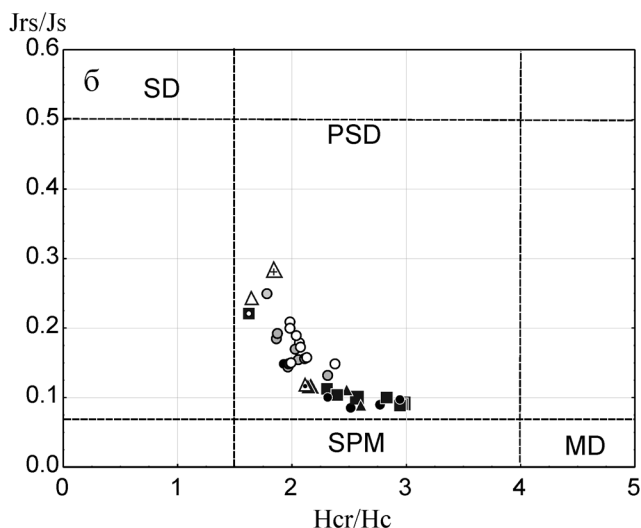
Результаты ДТМА также подтверждают, что основными минералами-носителями намагниченности долеритов ДААР являются титаномагнетиты (рис. 6) [22], относящиеся к разным генетическим классам [27]. Например, рассмотренные выше титаномагнетиты из образцов траппов карьера трубки Комсомольская (рис. 5в), независимо от условий образования, относятся к двум классам:

– со спиноподальным распадом титаномагнетита (рис. 6 а–г, образцы 2, 20, 58, 62, 69, 72, 76, 88, 104, 129, 147, 148, 207, 224, 227 и 259);

– с гетерофазным окислением титаномагнетита (рис. 6д, образцы 7, 41, 66, 155, 225 и 240).



Комсомольская: ● 2 фаза ○ 3 фаза ○ ПМН зоны обжига



■ Черный 2 фаза ▲ Алаakit 2 фаза △ Алаakit 3 фаза

Комсомольская: ● 2 фаза ○ 3 фаза ○ ПМН зоны обжига
■ Черный 2 фаза ▲ Алаakit 2 фаза △ Алаakit 3 фаза

Рис. 5. Магнито-структурные анализы долеритов ДААР.

а – магнитный гистерезис долеритов месторождения кимберлитовой трубки Комсомольская (пояснения см. в тексте); б – диаграмма Дея (SPM, SD, PSD и MD – области распределения, соответственно, суперпарамагнитных, одно-, псевдоодно- и многодоменных частиц); в и г – графики зависимости гистерезисных параметров разнофазных траппов, соответственно, перекрывающих кимберлитовую трубку Комсомольская (в) и участков Алаakit и Черный (г). Цифры – номера изученных штучков.

Как видно из приведенных фактов, титаномагнетиты разных классов могут встречаться одновременно в той или иной фазе, поэтому отражают только общее химическое состояние траппов (табл. 2). Следовательно, говорить о существовании специфических связей между определенными классами титаномагнетитов с конкретными фазами траппов и протекающими в них физико-химическими изменениями не совсем корректно (по крайней мере, на данном этапе исследований).

Анализируя приведенную выше информацию, можно констатировать (вернее подтвердить обще-

известный факт), что каждая фаза базитового магнетизма может быть намагничена *in situ* как положительно, так и отрицательно. Причем, одна часть разновидностей базитов подчиняется нормальному закону распределения как скалярных (логнормальное), так и векторных (фишеровское) параметров, а другая – нет. Первые, согласно нашим представлениям, относятся к ПМГ, а последние попадают под категорию ПМН. Учитывая факторы, влияющие на образование намагниченности в траппах ДААР (см. введение), можно предположить многообразие форм проявлений ПМН. Для того, чтобы уста-

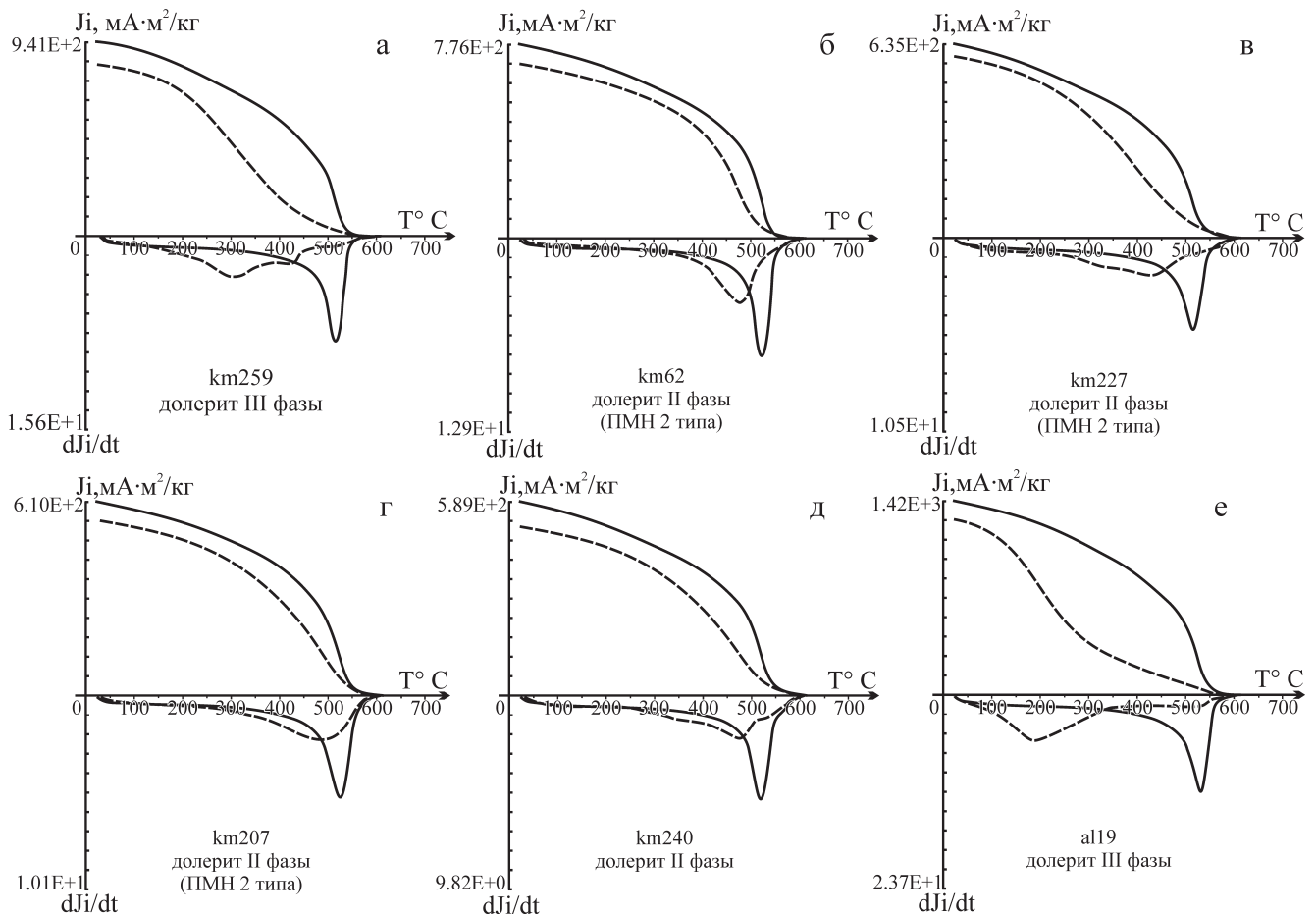


Рис. 6. Дифференциальный термомангнитный анализ перотриасовых траппов ДААР.

Сплошная/пунктирная линия – процесс первого/второго нагрева.

новить те или иные причины, определившие современные распределения значений магнитных параметров в базитах, необходимо изучить компонентный состав векторов ЕОН и обосновать их природу. С этой целью были проведены палеомагнитные исследования.

Палеомагнитные исследования ПМТ перотриасовых траппов свидетельствуют, что на территории ДААР наряду с классическими (“чистыми”) ПМГ, развиты четыре типа ПМН, характеризующиеся индивидуальными генетическими признаками.

К ПМН 1 типа принадлежат долериты третьей фазы $\gamma\beta T_1$. Как показывают палеомагнитные исследования, силлы долеритов третьей фазы внедрялись в эпоху обратной **R-полярности** магнитного поля Земли [13, 15, 47]. Современное геомагнитное поле генерирует в них вязкую In^v положительного знака, которая отразилась на магнитной стабильности векторов In . Таким образом, векторы In долеритов третьей фазы испытывают сильное перемагничивающее воздействие со стороны современного магнитного поля Земли и по этой причине практически целиком представляют со-

бой ПМН. Своему существованию ПМН 1 типа обязаны вязкой намагниченности In^v относительно низкокоэрцитивной (до 20 мТл) и низкотемпературной (до 400°C) компоненте ЕОН (рис. 7а). Магнито жесткие образцы со значениями фактора Q более 3 ед. имеют, как правило, однокомпонентный состав ЕОН. Особенностью ПМН 1 типа является то, что векторы In распределены по всему объему магматических тел в случайном порядке, а их направления зависят только от магнитной стабильности образцов (фактор Q).

К ПМН 2 типа относятся эндоконтактные зоны траппов ранних фаз внедрения, испытавших перемагничивание со стороны долеритов третьей фазы в результате прогрева. Основная роль в их формировании принадлежит метаконтактной намагниченности In^m . До настоящего времени отсутствие палеомагнитных доказательств метаконтактности природы векторов In^m в траппах ранних фаз внедрения запутывало и осложняло петромагнитную легенду базитового магматизма ДААР. Действительно, при температурном воздействии долеритов третьей фазы на траппы ранних фаз внедрения в зоне эн-

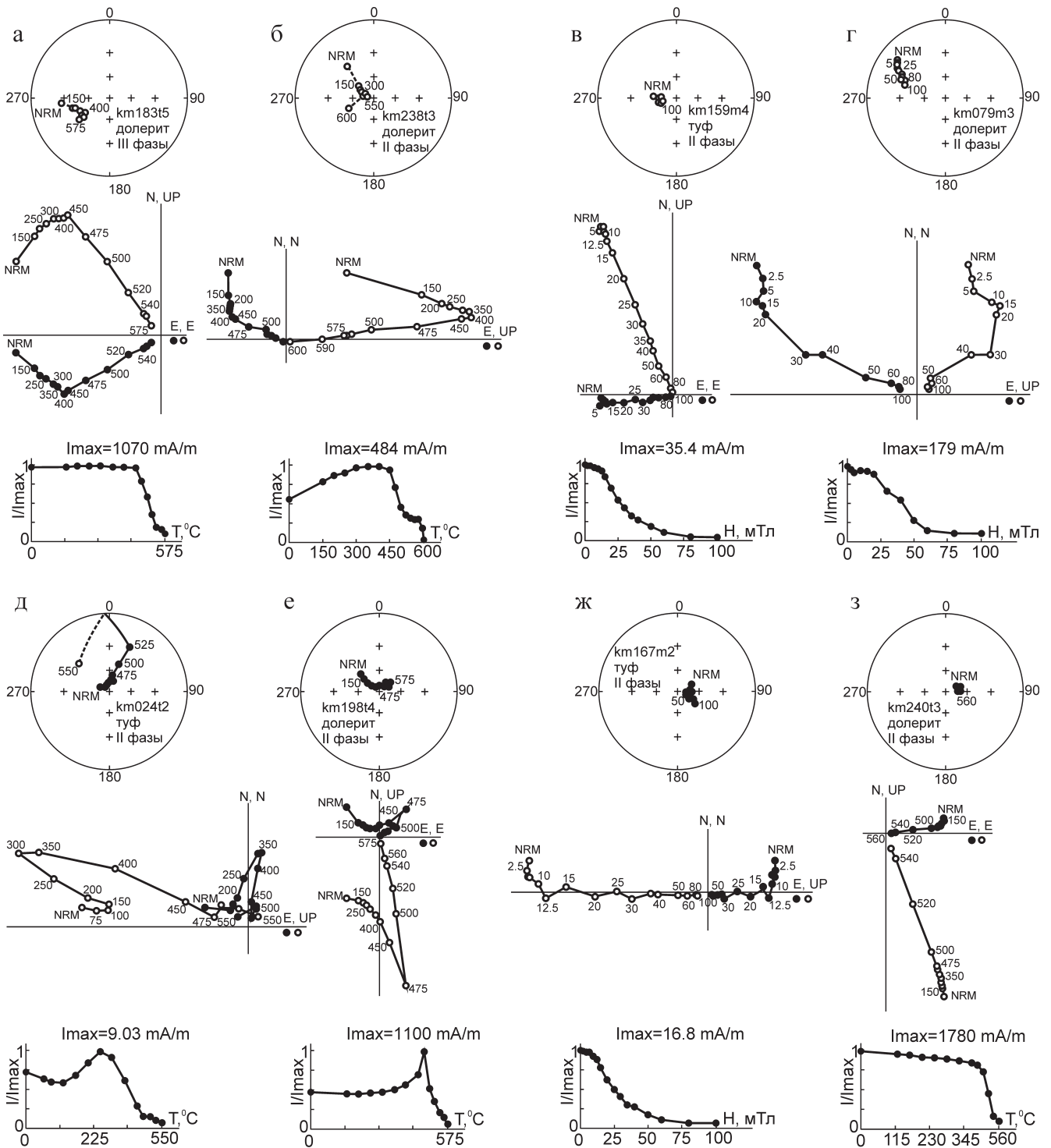


Рис. 7. Результаты лабораторных экспериментов по размагничиванию переменным магнитным полем и температурой долеритов и туфов из карьера трубки Комсомольская.

Стереодиаграмма: темные (светлые) кружочки – проекция векторов I_n на положительную (отрицательную) полусферу. *Диаграмма Зейдверельда:* темные (светлые) кружочки – проекции вектора I_n на горизонтальную (вертикальную) плоскость. Цифры – величина физического воздействия (переменное магнитное поле или температура), разрушающего исходную намагниченность NRM образца.

доконтакта последних возникают ПМН зон обжига (табл. 6). Это явление хорошо изучено в карьере трубки Комсомольской (рис. 2) [11]. В результа-

те перемагничивания долеритов $\gamma\beta P_2-T_1$ (обн. 2 и 11) и туфов βP_2-T_1a1 (обн. 2) второй фазы внедрения долеритами сила $\gamma\beta T_1$ в первых сформирова-

лась метасинхронная намагниченность \mathbf{In}^m , которая в ближней зоне полностью “стерла” первичную \mathbf{In}^0 (рис. 7). Согласно полученным данным, долериты третьей фазы внедрения обладают крутыми отрицательными направлениями \mathbf{In}^0 (рис. 7а), а туфы и долериты второй фазы – крутыми положительными \mathbf{In}^0 (рис. 7ж, з). В эндоконтактной зоне долериты и туфы второй фазы полностью перемагничены и приобрели \mathbf{In}^m по направлению \mathbf{In}^0 долеритов третьей фазы (рис. 7б, в), которые также могут быть осложнены векторами \mathbf{In}^v . Естественно, что ранее, без детального компонентного анализа векторов ЕОН, многие исследователи принимали вектор \mathbf{In}^m за вектор \mathbf{In}^0 . С удалением от контакта наклонения векторов \mathbf{In}^m постепенно становятся положительными (рис. 7г) и в итоге, на определенном расстоянии, туфы и долериты второй фазы сохраняют собственные крутые положительные векторы \mathbf{In}^0 и одновременно содержат \mathbf{In}^m (рис. 7д, е). Полученные данные рассматриваются в качестве теста обжига [36], доказывающего не геологическую, а физическую (наложенную) природу векторов \mathbf{In} ПМН траппов ранних фаз внедрения. Мощность ПМН 2 типа может составлять до 20% и более от мощности агрессивной интрузии третьей фазы. Например, у траппов второй фазы карьера трубки Комсомольская мощность ПМН зон обжига достигает 20–25 м (рис. 2, обн. 2 и 11), что важно учитывать при физико-геологическом моделировании. В противном случае, интерпретаторам придется создавать либо ложные структурно-вещественные комплексы, либо присваивать горным породам нереальные петромагнитные характеристики.

К редко встречаемым ПМН, которые имеют локальное распространение на территории ДААР, следует отнести намагниченность траппов с эффектами самообращения (3 тип) и грозовых разрядов (4 тип).

К ПМН 3 типа принадлежат долериты, в которых при застывании возникает намагниченность, прямо противоположная действующему магнитному полю. Впервые эффект самообращения ЕОН природных титаномагнетитов в траппах месторождения кимберлитовой трубки Комсомольская описан в [32–34]. Согласно настоящим исследованиям, проведенным по более чем 150 образцам долеритов из этого объекта, мы склоняемся к другой версии. Вероятнее всего, здесь имеет место не эффект самообращения ЕОН, а перемагничивание траппов второй фазы – третьей, за счет обжига (ПМН 2 типа) [11–13].

Наиболее убедительно самообращение ЕОН установлено в трапповых силлах р. Столбовая на западе Тунгусской синеклизы [4, 7]. Аналогичная ситуация встречена нами в долеритах Алакитского силла р. Алакит на северо-западе ДААР, который относится к третьей фазе (рис. 1а). По результатам палеомагнитных исследований, для Алакитского

интрузива доказана первичная ЕОН отрицательной полярности [15]. Кроме того, изученные долериты третьей фазы уч. Алакит, подобно долеритам третьей фазы трубки Комсомольская, заметно отличаются от второй фазы не только по петрологическим и геохимическим особенностям (табл. 2), но и по магнито-структурным характеристикам (рис. 5б, г): повышенные значения $H_{сг}$ – от 30 до 40 мТл и J_{rs} – от 200 до 240 $\text{мА} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$ (исключение из этого правила могут составлять контаминаты (обр. 9), отобранные вблизи контакта с песчаниками пермокарбона и характеризующиеся, по этой причине, пониженными значениями J_{rs} – от 55 до 60 $\text{мА} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$). Кроме того, у образцов Алакитского силла и, в частности, у обр. 19 (рис. 6е), так же, как и у долеритов третьей фазы трубки Комсомольская (рис. 6а), на кривых ДТМА регистрируется спиноподобный распад титаномагнетитов (микроструктуры распада магнетит–ульвошпинель). Но, несмотря на то, что, согласно геологическим, петрогеохимическим и петромагнитным данным, обр. 19 относится к третьей фазе, его исходный вектор ЕОН (NRM) имеет положительную полярность (рис. 8). По двум кубикам, выпиленным из данного образца, выполнены пошаговые лабораторные размагничивания переменным магнитным полем и температурой. В первом случае исходное положительное направление вектора ЕОН оказалось стабильным до 100 мТл, а во втором – при температуре свыше 520°C изменилось ровно на 180° и совпало с высококоэрцитивной компонентой, характерной для долеритов Алакитского силла. Вывод: положительный вектор ЕОН долеритов образовался в эпоху отрицательного магнитного поля Земли в процессе застывания силла, что присуще эффекту самообращения, но при относительно низких температурах. В данной ситуации его можно рассматривать в качестве метасинхронной \mathbf{In}^m компоненты вектора ЕОН, но не вязкой (как у ПМГ 1 типа), а термоостаточной природы. Скорее всего, здесь мы имеем дело с эффектом не полного, а частичного самообращения ЕОН [33]. В связи с тем, что ПМН 3 типа имеют хаотичное распределение в магматических телах, они схожи с ПМН 1 типа, хотя физические процессы формирования в них ЕОН, как мы видим, абсолютно разные. Возможны и другие варианты самообращения намагниченности титаномагнетитов [46], но это требует проведения более широких и детальных исследований.

К ПМН 4 типа принадлежат траппы, испытавшие удары грозовых разрядов. Данный тип ПМН установлен в долеритах второй фазы на уч. Черный, в обн. 9, которое занимает достаточно высокое гипсометрическое положение. По этой причине подобные ПМН могут образоваться во всех фазах базитов, но учитывая сильное разрушающее воздействие процессов выветривания с образовани-

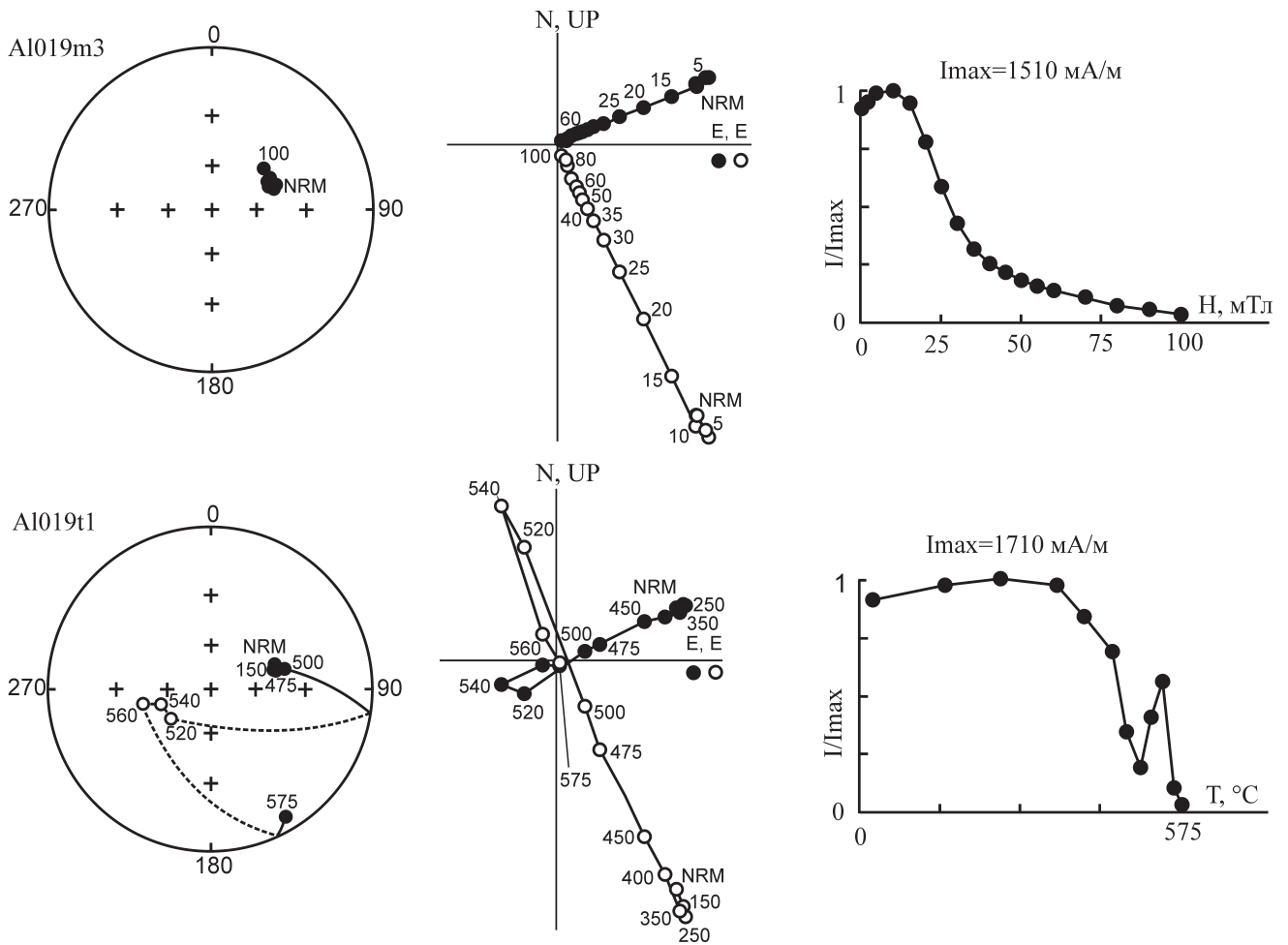


Рис. 8. Результаты лабораторных экспериментов по размагничиванию переменным магнитным полем и температурой обр. 19 из долеритов Алакитского силла третьей фазы.

Другие пояснения см. на рис. 7.

ем мощных курумных отложений траппов на водоразделах ДААР, это явление достаточно плохо изучено. Логично предположить, что своему образованию ПМН грозовых разрядов обязаны метакриной намагниченности разной природы (нормальной, идеальной, термоостаточной и т. п.) [38]. Поэтому, подобно ПМН 1 типа, они в процессе магнитных чисток чаще всего занимают соответствующие каждой фазе исходные положения (если отсутствуют помехи другой природы). Генетическими признаками ПМН 4-го типа являются: во-первых хаотичные направления векторов ЕОН *in situ* на стереограмме, а не расположения их вдоль плоскости перемагничивания (как в ПМН 1 и 2 типов); во-вторых, их абсолютные значения могут достигать несколько десятков тысяч мА/м. Последнее обстоятельство может объясняться наличием у ПМН грозовых разрядов достаточно высоких значений остаточной намагниченности насыщения J_s относительно “стерильных” образований (например, обр. 81, рис. 5б, г).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам проведенных комплексных исследований ПМТ траппов ДААР, магнитные характеристики которых изменяются в пространстве, логичнее относить к ПМГ, а во времени – к ПМН. Следует отметить, что ПМН 3 типа, связанные с эффектом самообращения векторов ЕОН, являются исключением в этой категории, поскольку формируются практически одновременно с интрузивом. ПМН – это часть геологического пространства (таксон), в котором наблюдаются изменения первоначальных магнитных характеристик горных пород в результате воздействия различных физико-химических процессов. В настоящее время роль химических процессов аргументирована только для траппов из ПМН зон обжига, в которых происходит структурное преобразование титаномagnetита. Базиты, которые подвергались подобным внешним воздействиям, использовать для геохронологических исследований не рекомендуется! Как показали

проведенные исследования, основная роль в формировании ПМН принадлежит наложенным физическим процессам. Поэтому следует ожидать, что в ПМН траппов в векторах \mathbf{In} будет преобладать не первичная \mathbf{In}^0 , а, главным образом, вязкая \mathbf{In}^v и/или метасинхронная \mathbf{In}^m компоненты. ПМН следует рассматривать как структурно-вещественные комплексы (если они занимают достаточно большой объем) физико-геологической модели, не имеющие геологической природы [11, 13]. ПМН характеризуются сложным распределением спектра магнитных параметров и имеют аморфное строение: границы их условные (размытые) и могут не совпадать с морфологией тел и геологическими (петроплотностными) границами [12]! Игнорирование ПМН как структурных элементов физико-геологической модели может отрицательно сказаться на решении научных и прикладных геологических задач.

Ниже мы будем рассматривать только ПМН 1 и 2 типов, поскольку они имеют широкое распространение на исследуемой территории. В отличие от существовавших представлений о сложном характере поведения векторов \mathbf{In} и \mathbf{I} ПМТ траппов, установлено, что их современное распределение не хаотично, а подчиняется строгим статистическим и геолого-геофизическим закономерностям, знание которых способствует решению обратной задачи магниторазведки. В отличие от ПМГ у ПМН эти закономерности более сложные, но все же поддаются однозначной интерпретации. Например, ПМН 1 и 2 типов (долериты третьей фазы трубки Сытыканская и долериты зоны обжига второй фазы в карьере трубки Комсомольская) сформировались синхронно в эпоху обратной R-полярности магнитного поля Земли, что подтверждается наличием аналогичных закономерностей в распределении значений магнитных параметров (рис. 3). Согласно нашим данным, векторы \mathbf{In} и \mathbf{I} не разбросаны по всей сфере, как это считалось ранее, а располагаются по определенной схеме. Это явление зависит от их способности противостоять постоянному воздействию геомагнитного поля. Оно склоняет векторы \mathbf{In} и \mathbf{I} вдоль плоскости, проходящей через древнее ($D_{cp} = 240^\circ$, $J_{cp} = -70^\circ$) и современное ($D = 352^\circ$, $J = 80^\circ$) направление вектора индукции в секторе $D_{cp} = 300 \pm 10^\circ$. По графикам зависимости J и lgI от фактора Q , можно с высокой степенью вероятности рассчитать, соответственно, наклонение и величину векторов \mathbf{In} и \mathbf{I} . Логично предположить, что магнитная стабильность траппов зависит от особенностей ферромагнитных минералов (титаномагнетитов), главным образом, от их химического состава и доменного состояния. Но эту проблему предстоит изучить более детально в ближайшей перспективе.

По каким же признакам, кроме геохимических (см. выше), можно отличить ПМН 1 и 2 типов, если у них совпадают законы распределения

значений магнитных параметров (рис. 3), близкие ГП (рис. 5) и аналогичные термомагнитограммы ДТМА (рис. 6)? Во-первых, в образованных “гибридах” (ПМН 2 типа), в отличие от ПМН 1 типа, компонентный состав векторов ЕОН более сложный – кроме \mathbf{In}^v , существуют векторы характеристической \mathbf{In}^{ch} , метасинхронной \mathbf{In}^m и/или первичной природы \mathbf{In}^0 . Во-вторых, ПМН 2 типа имеют зоннальное строение – векторы метасинхронной \mathbf{In}^m затухают с увеличением расстояния от эндоконтакта. В-третьих, в некоторых геологических ситуациях информация о существовании ПМН зон обжига в траппах может подчеркиваться изменениями в АМС (рис. 4). Например, базиты в карьере трубки Комсомольская представлены изотропными телами – значения уточненной степени анизотропии P_j не превышает 3%. На стереограммах плоскости магнитного расслоения (оси K_1 и K_2), для большинства изученных обнажений из силлов второй и третьей фаз, субгоризонтальны, а ось K_1 простирается по север-северо-восточному азимуту (рис. 4а, в). В то же время, на горизонте +650 в обн. 2 (рис. 2), где в силле долеритов второй фазы установлена достаточно мощная ПМН зоны обжига, плоскость магнитного расслоения субвертикальная (“дачного” типа), а параметры $T = 0.837$ и $F/L = 15.0$ относительно повышенные (рис. 4б). Здесь же с областями распространения туфов второй фазы, обладающими относительно пониженными значениями объемной плотности и намагнитченности, в плане совпадают положительная гравитационная аномалия величиной до 1.5 мГал и отрицательная магнитная аномалия интенсивностью более 1000 нТл (рис. 2)! Естественно, что этот аномальный эффект обусловлен глубинным строением месторождения [35] – резким подъемом силлы третьей фазы по оперяющим кимберлитовую трубку зонам повышенной трещиноватости с нижнего горизонта (граница сохолохской и кылахской свит) в верхний (подошва траппов второй фазы) и образованием в вышележащих структурно-вещественных комплексах (кимберлитовый отторженец, туфы и долериты) векторов \mathbf{In}^m отрицательного знака (рис. 7б–е, табл. 6) [11, 12].

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В ходе проведения комплексных петромагнитных, геологических, геохимических и др. исследований пермотриасовых траппов ДААР был получен обширный фактографический материал, интерпретация которого позволяет сделать следующие выводы:

1. На момент своего образования траппы первой $\gamma\beta P_2$ и второй $\beta_0-\gamma\beta P_2-T_1$ фаз внедрения были намагничены положительно (субсогласно современному полю), а третьей $\gamma\beta T_1$ фазы – отрицательно. За время своего существования (около 250 млн. лет) неко-

торые ПМТ траппов, в силу определенных обстоятельств, испытали существенные изменения магнитных параметров как по величине, так и по направлению.

2. В петромагнитной легенде траппов наряду с ПМГ следует выделять ПМН, которые сформировались в результате наложенных физико-химических процессов. Широким распространением пользуются ПМН базитов, испытавшие перемагничивание геомагнитным полем (ПМН 1 типа) и обжиг со стороны поздней интрузивной фазы (ПМН 2 типа). ПМН самообращения (ПМН 3 типа) и ударов грозовых разрядов (ПМН 4 типа) имеют локальное распространение. При разработке схемы и петромагнитной легенды базитового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы надо иметь в виду, что ПМН не являются геологическими образованиями (ПМГ). Остается вероятность обнаружения и других типов ПМН (например, связанные с инверсиями магнитного поля при застывании магмы в большом объеме, выветриванием и т. п.). Но это предмет будущих исследований.

3. Установлены закономерности изменения значений магнитных параметров ПМН 1 и 2 типов долеритов. Доказано, что ПМН 2 типа обязаны своему существованию поздней (третьей) интрузивной фазе.

4. ПМН разной природы характеризуются своими отличительными признаками (структурными, геохимическими, палеомагнитными, магнито-минералогическими), что позволяет идентифицировать их при петромагнитном картировании пород трапповой формации. Наиболее информативными методами доказательства присутствия и обоснования природы ПМН в траппах являются палеомагнитный и магнито-минералогический (гистерезисные параметры и анизотропия магнитной восприимчивости).

5. При физико-геологическом моделировании верхней части разреза необходимо учитывать, что при формировании ПМН 2 типа в траппах ранних фаз внедрения происходит заметное смещение петромагнитных границ. Поскольку ПМН 2 связаны с определенной геолого-тектонической обстановкой, генерирующей аномалии “структурного” типа, то их логично рассматривать в качестве петрофизического поискового критерия присутствия кимберлитовых трубок на алмазописковых территориях IV и V геотипов (разумеется, в комплексе с геофизическими, структурно-тектоническими и др. признаками). На его основе, с целью локализации перспективных на присутствие коренных месторождений алмазов (кимберлитовых трубок) участков, необходимо провести комплексный анализ гравимагнитных и тектонофизических полей в сочетании с имеющейся аналитической информацией по траппам (петрофизической, палеомагнитной, петрохимической и др.).

Проведенные комплексные исследования найдут широкое применение на стадии компьютерного моделирования и анализа магнитных полей для IV и V геотипов ДААР с целью поисков кимберлитовых трубок под траппами, при разработке Петромагнитной легенды и совершенствовании Схемы базитового магматизма Сибирской платформы и др. Так, например, установленные закономерности в характере распределения современной намагниченности ПМТ траппов (рис. 3) целесообразно использовать для определения векторов **I** неориентированных образцов долеритов из керна поисковых и разведочных скважин [12, 13]. В результате появляется возможность учета эффекта траппов и его последующая редукция (исключение) из полигенного магнитного поля с выделением аномалии от объекта поисков (кимберлитовой трубки) [16].

ПМН траппов 1 и 2 типов в магнитном отношении могут оказаться “квазипрозрачными” для обнаружения под ними кимберлитовых трубок [20]. Согласно расчетам (табл. 6), выполненным на трубках Сытыканская и Комсомольская, векторы **I** имеют субгоризонтальные наклонения $J = \pm 10^\circ$ [12, 14, 16]. Этот результат убедительно доказывает эффект “просвечивания” относительно слабомагнитных кимберлитов под относительно сильномагнитными траппами третьей фазы, зарегистрированный двухгоризонтной магнитной съемкой Ю.М. Эринчеком в 1972–1973 гг. [21, 40].

Долериты третьей фазы весьма чувствительны к окружающему их пространству, что может быть использовано для поисков кимберлитовых трубок на закрытых территориях ДААР по локальным прогнозно-поисковым признакам, которые могут быть выражены аномалиями “структурного” типа [19, 24]. Например, в зоне динамического влияния кимберлитовой трубки возможны переходы долеритов третьей фазы по разломам на более высокие горизонты, что скажется, во-первых, на увеличении гравитационного поля (среднее значения σ_{cp} долеритов составляет $3000 \pm 50 \text{ кг/м}^3$), а во-вторых, вызовет контрастные отрицательные магнитные аномалии, образованные как за счет подъема собственных магнитных масс (ПМН 1 типа), так и за счет перемагничивания вышележащих пород (ПМН 2 типа). Такая “структурная” грави-магнитная аномалия, созданная силлом третьей фазы, проявляется на северо-восточном фланге месторождения алмазов трубки Комсомольская (рис. 2) [11, 12, 16]. Поскольку геологическое строение месторождения трубки Комсомольская не является уникальным (близкая геологическая ситуация установлена и на трубке Краснопресненская) [35], то не исключена вероятность обнаружения по данному геофизическому признаку месторождений аналогичного типа и на других участках ДААР.

На основании вышеизложенного, следует обратить внимание и на то, что принятая при геологи-

ческом картировании схема траппового магматизма ДААР и всего северо-восточного замыкания Тунгусской синеклизы нуждается в существенном пересмотре и уточнении с учетом новых накопленных данных по фактическим геологическим наблюдениям, петрохимии, петромагнитным и геофизическим характеристикам.

Авторы выражают благодарность за помощь в проведенных исследованиях А.А. Антонову, Д.П. Гладкочубу, Ш.З. Ибрагимову, В.А. Кравчинскому, А.П. Кугаевскому, А.Н. Кузьменок, Л.В. Лисковой, Н.А. Садовниковой, С.П. Сунцовой, М.З. Хузину.

Работы выполнены в рамках “Программы петрофизических и палеомагнитных исследований ЯАП и прилегающих к ней территорий на 2002–2011 гг. с целью обеспечения крупномасштабных и региональных прогнозно-поисковых работ на алмазы”, принятой АК “АЛРОСА” и при ее финансовой поддержке, а так же РФФИ (грант № 09-05-98534-р-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков В.П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер, 2001. 658 с.
2. Буров Б.В., Ясонов П.Г. Введение в дифференциальный терромагнитный анализ горных пород. Казань: КГУ, 1979. 231 с.
3. Васильева А.Е., Томишин М.Д., Константинов К.М. Трапповый магматизм зоны сочленения Тунгусской синеклизы и Анабарской антеклизы // Наука и образование. 2006. № 4. С. 40–44.
4. Веселовский Р.В., Галле И., Павлов В.Э. Палеомагнетизм траппов долин рек Подкаменная Тунгуска и Котуй: К вопросу о реальности послепалеозойских относительных перемещений Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Физика Земли. 2003. № 10. С. 78–94.
5. Винарский Я.С., Житков А.Н., Кравчинский А.Я. Автоматизированная система обработки палеомагнитных данных ОПАЛ // Алгоритмы и программы. Вып. 10/99. М.: ВИЭМС, 1987. 86 с.
6. Владимирцов Б.М., Дауев Ю.М., Зубарев Б.М. и др. Месторождения алмазов СССР: методика поисков и разведки. Ч. 1. Геология месторождений алмазов СССР. М.: ЦНИГРИ, 1984. 435 с.
7. Гапеев А.К., Грибов С.К. Магнитные свойства интрузивных траппов Сибирской платформы с признаками самообращения естественной остаточной намагниченности // Физика Земли. 2008. № 10. С. 75–92.
8. Ибрагимов Ш.З., Ясонов П.Г. Оценка состава титаномагнетитов со структурами распада магнетит-ульвошпинель по данным терромагнитного анализа // Физика Земли. 1999. № 11. С. 91–96.
9. Ивлиев К.А., Камышева Г.Г., Эринчек Ю.М. Расчленение недифференцированных траппов пермотриаса по данным петромагнитных исследований и крупномасштабной аэромагнитной съемки в Алакит-Мархинском кимберлитовом поле // Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1976. С. 47–63.
10. Ивлиев К.А., Крючков А.И., Лелюх М.И. и др. Базитовый магматизм Далдыно-Алакитского алмазоносного района (северо-восточный борт Тунгусской синеклизы) // Схемы базитового магматизма железорудных и алмазоносных районов Сибирской платформы. Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1987. С. 16–18.
11. Константинов К.М., Гладков А.С. Петромагнитные неоднородности зон обжига пермотриасовых траппов месторождения трубки Комсомольская (Якутская алмазоносная провинция) // Докл. АН. 2009. Т. 427, № 2. С. 245–252.
12. Константинов К.М., Иванюшин Н.В., Мишенин С.Г. и др. Петрофизическая модель кимберлитовой трубки Комсомольская // Геофизика. 2004. № 6. С. 50–53.
13. Константинов К.М., Мишенин С.Г., Томишин М.Д. Изучение петромагнитных неоднородностей с целью поисков месторождений алмазов в Якутской алмазоносной провинции // Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов: мат-лы Междунар. конф. Т. 2. Казань: КГУ, 2007. С. 175–180.
14. Константинов К.М., Мишенин С.Г., Убинин С.Г. и др. Распределение векторов естественной намагниченности пермотриасовых траппов Далдыно-Алакитского алмазоносного района // Геофизика. 2004. № 1. С. 49–53.
15. Константинов К.М., Мишенин С.Г., Убинин С.Г. и др. Разработка петромагнитной легенды трапповых образований Якутской алмазоносной провинции // Вулканизм и геодинамика: мат-лы III Всероссийск. симпоз. по вулканологии и палеовулканологии. Т. 1. Улан-Удэ: Бурятский научный центр СО РАН, 2006. С. 33–36.
16. Константинов К.М., Новопашин А.В., Евстратов А.А. и др. Петрофизические модели коренных месторождений алмазов на территориях развития пермотриасовых траппов (Далдыно-Алакитский алмазоносный район) // Геофизика. 2012. № 6. С. 64–72.
17. Кравчинский А.Я. Палеомагнетизм и палеогеографическая эволюция континентов. Новосибирск: Наука, 1979. 264 с.
18. Кутолин В.А. Проблемы петрохимии и петрологии базальтов. Новосибирск: Наука, 1972. 208 с.
19. Лелюх М.И. Геологическое строение и особенности поисков и локального прогнозирования месторождений алмазов в закрытых районах северо-востока Тунгусской синеклизы (на примере Айхальского района). Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., ЦНИГРИ. 1988. 307 с.
20. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Л.: Недра, 1979. 351 с.
21. Миков Б.Д., Парасотка Б.С., Романов Н.Н. и др. Методические рекомендации по крупномасштабным магнитным и гравиметрическим съемкам при поисках кимберлитовых тел в условиях развития траппов Западной Якутии. Новосибирск: СНИИГиМС, 1986. 121 с.
22. Мишенин С.Г. Петромагнетизм трапповых пород северо-востока Тунгусской синеклизы. Дисс. ...

- канд. геол.-мин. наук. Казань, КГУ. 2002. 192 с.
23. *Назата Т.* Магнетизм горных пород. М.: Мир, 1965. 247 с.
 24. *Никулин В.И., Фон-дер-Флаасс Г.С., Лелюх М.И. и др.* Диагностика рудоперспективных железоносных и кимберлитовых структур на трапповых площадях по морфологическим и петрофизическим особенностям // Схемы магматизма железорудных и алмазносных районов: тез. докл. Региональн. совещ. Иркутск: ИЗК СО АН СССР. 1987. С. 25–27.
 25. *Олейников Б.В.* Геохимическая типизация платформенных базитов / Геохимия и минералогия базитов и ультрабазитов Сибирской платформы. Якутск: ЯФ СО АН СССР. 1984. С. 4–21.
 26. Петрофизика: Справочник. Кн. 2. Техника и методика исследований / Под ред. А.А. Молчанова, Н.Б. Дортман. М.: Недра, 1992. 256 с.
 27. *Печерский Д.М., Багин В.Н., Бродская С.Ю. и др.* Магнетизм и условия образования изверженных горных пород. М.: Наука, 1975. 288 с.
 28. *Саврасов Д.И.* О применении палеомагнитного метода для оценки возраста кимберлитов и траппов // Геология алмазных месторождений. Якутск: ЯФ СО АН СССР. 1963. С. 162–171.
 29. *Саврасов Д.И., Камышева Г.Г.* Направление остаточной намагниченности в кимберлитах // Мат-лы V Палеомагнитной конф. Красноярск: СО АН СССР, 1963. С. 124–129.
 30. *Томшин М.Д., Копылова А.Г., Тян О.А.* Петрохимическое разнообразие траппов восточной периферии Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 1. С. 72–82.
 31. *Томшин М.Д., Лелюх М.И., Мишенин С.Г. и др.* Схема развития траппового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы // Отечественная геология. 2001. № 5. С. 19–24.
 32. *Трухин В.И., Жиляева В.А., Зинчук Н.Н. и др.* Магнетизм кимберлитов и траппов. М.: МГУ, 1989. 168 с.
 33. *Трухин В.И., Жиляева В.А., Курочкина Е.С.* Самообращение намагниченности природных титаномагнетитов // Физика Земли. 2004. № 6. С. 42–53.
 34. *Трухин В.И., Жиляева В.А., Саврасов Д.И. и др.* Самообращение термоостаточной намагниченности горных пород кимберлитовых трубок Якутии // Физика Земли. 1984. № 11. С. 78–89.
 35. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра. 1998. 555 с.
 36. *Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др.* Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
 37. *Шипунов С.В.* Выделение компонент многокомпонентной естественной остаточной намагниченности при палеомагнитных исследованиях / Палеомагнетизм и аккреционная тектоника. Л.: ВНИГРИ, 1988. С. 173–185.
 38. *Шолпо Л.Е.* Использование магнетизма горных пород для решения геологических задач. Л.: Недра, 1977. 182 с.
 39. *Щербаков В.П., Щербакова В.В.* Критерии идентификации доменной структуры ферромагнитных зерен в минералах горных пород. // Решение геофизических задач геомагнитными методами. М.: Наука, 1980. С. 36–147.
 40. *Эринчек Ю.М., Мильштейн Е.Д., Парасотка Б.С.* Пространственно-временная структура раннеэозойских интрузивных траппов восточного борта Тунгусской синеклизы. Л.: Наука, 1991.
 41. *Akimoto S.* Magnetic properties of FeO–Fe₂O₃–TiO₂ system as a basis of rock magnetism // *J. Phys. Soc. Japan.* 1962. Suppl. B-1. V. 17. P. 84–97.
 42. *Day R., Fuller M.D., Schmidt V.A.* Hysteresis properties of titanomagnetites: grain size and composition dependence // *Phys. Earth Planet. Intern.* 1977. V. 13. P. 260–267.
 43. *Enkin R.J.* A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Sidney: Pacific Geoscience Centre, Geol. Survey Can. 1994. 16 p.
 44. *Fisher R.A.* Dispersion on a sphere. *Proc. Soc. L.* 1953. A 217. P. 295–305.
 45. *Jelinek V.* Measuring anisotropy of magnetic susceptibility on a slowly spinning specimen: Basic theory. Brno: Agico Print, 1997. № 10. 27 p.
 46. *Krása D., Shcherbakov V.P., Kunzmann T. et al.* Self-reversal of remanent magnetisation in basalts due to partially oxidised titanomagnetites // *Geophys. J. Int.* 2005. № 162(1). P. 115–136.
 47. *Kravchinsky V.A., Konstantiniv K.M., Courtillot V. et al.* Paleomagnetism of East Siberian traps and kimberlites: two new poles and paleogeographic reconstructions at about 360 and 250 Ma // *Geophys. J. Int.* 2002. № 48. P. 1–33.
 48. *McDonald G.A., Katzura T.* Chemical composition of Hawaiian Lavas // *J. Petrol.* 1964. V. 5, № 1. P. 82–133.
 49. *Saggerson E.P., Williams L.A.J.* Nguramanite from Southern Kenya and its bearing on the origin of rocks in the Northern Tanganyika alkaline district // *J. Petrol.* 1964. V. 5, № 1. P. 40–81.
 50. *Tarling D.H., Hrouda F.* The magnetic anisotropy of rocks. London: Chapman & Hall, 1993. 217 p.
 51. *Zijderveld J.D.A.* Demagnetization of rocks, analysis of results // *Methods in paleomagnetism* / D.W. Collinson, K.M. Creer, S.K. Runcorn (eds.). Amsterdam: Elsevier, 1967. P. 254–286.

Рецензент И.И. Глухих

Petromagnetic heterogeneities of the Permo-Triassic traps of the Daldyn-Alakit diamond province (Western Yakutia)

K. M. Konstantinov*, S. G. Mishenin**, M. D. Tomshin***,
V. P. Kornilova****, O. E. Kovalchuk*

*Geological Enterprise of Exploration, Diamond Mining Company ALROSA

**Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials

***Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of RAS

****Botuobinsk Geological Exploration Expedition of ALROSA

We conducted petromagnetic, lithological and geochemical studies of the Permo-Triassic traps of the Daldyn-Alakit diamond province (DADP) in Western Yakutia. Three different age phases of magmatic activity are separated out (the first – Late Permian $\gamma\beta P_2$, the second – Late Permian-Early Triassic β_0 - $\gamma\beta P_2$ - T_1 and the third – Early Triassic $\gamma\beta T_1$). It is considered that owing to the various reasons (duration of magmatic activity, a geological situation of magmatic formation, the morphology of magmatic bodies, nature of intra chamber differentiation, etc.) in a Permo-Triassic complex are formed diverse petromagnetic taxa (PMT) of the different nature and morphology. PMT of the traps which magnetic properties significantly differ from the initial data, is offered to attribute not to petromagnetic groups (PMG), but to petromagnetic heterogeneities (PMHs). Two types of petromagnetic heterogeneity groups, formed by geomagnetic field remagnetization (1) and reheating by the younger magmatic activity (2), are the most extensively developed in the DADP. Natural remnant magnetization (NRM) for the type 1 group is determined by the viscous nature of NRM, and for the type 2 group – by the variations in the anisotropy of magnetic susceptibility tensors and the increased values of hysteresis parameters of ferromagnetic minerals (titanomagnetite) additionally to viscous NRM. Similar statistical relationships established in the distribution of some magnetic parameter values, demonstrate synchronicity of the PMH of types 1 and 2 during of the reverse polarity interval. PMH related to the self-reversal of magnetization in titanomagnetites (type 3) and lightning strikes (4 type) are very rare in the DADP. PMH are formed without substantial mineralogical and chemical transformations of the traps. It makes difficult their identification without any special petromagnetic and analytical studies, which are addressed this article. PMH can be characterized by differences of structural, geochemical, and paleomagnetic nature, as well as magnetic mineralogy. Identified PMH significantly reinforce and clarify petromagnetic legend of the DADP. It improves the quality of interpretation of the magnetic survey data in order to prospect for kimberlite occurrences beneath the Siberian traps and to improve the model of the mafic magmatism of the eastern side of Tunguska syncline.

Key words: *Daldyn-Alakit diamond province, Permian-Triassic traps, petromagnetism, petromagnetic heterogeneities, titanomagnetites.*