

На правах рукописи



КИРГУЕВ Александр Альбертович

**ПЕТРОМАГНИТНЫЕ ТАКСОНЫ БАЗИТОВ
ВОСТОЧНОГО БОРТА ТУНГУССКОЙ
СИНЕКЛИЗЫ**

Специальность 1.6.9 - Геофизика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск – 2023

Работа выполнена в Научно-исследовательском геологическом предприятии (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО).

Научный руководитель:

Константинов Константин Михайлович

доктор геолого-минералогических наук, Департамент геофизики Института «Сибирская школа геонаук» Иркутского научно-исследовательского технического университета, Лаборатория геологии месторождений Института земной коры Сибирского отделения РАН.

Официальные оппоненты:

Гнибиденко Зинаида Никитична

доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск).

Лавренчук Андрей Всеволодович

кандидат геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Геологии и Минералогии им. В.С. Соболева (г. Новосибирск).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии алмаза и благородных металлов РАН (г. Якутск)

Защита состоится 15 ноября 2023 г. в 15-00 час. на заседании диссертационного совета Д 003.068.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), в конференц-зале.

Отзыв в двух экземплярах, оформленный в соответствии с требованиями Минобрнауки России (см. вклейку), просим направлять по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, факс (8-383) 330-28-07, e-mail: ipgg@ipgg.sbras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ИНГГ СО РАН:

<http://www.ipgg.sbras.ru/ru/education/theses/d003-068-03/kirguyev2023>

Автореферат разослан 27.07.2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.г.-м.н., доцент 8(383)3331629



Н.Н. Неведрова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объект исследования - пермотриасовые базиты оленек-велингнинского, катангского и кузьмовского интрузивных комплексов (Томшин и др., 2001; Убинин и др., 2001 ф; Салихов и др., 2005; 2008 ф), расположенные в пределах восточного фланга Тунгусской синеклизы: Алакит-Мархинский, Ыгыаттинский и Малоботуобинский районы Якутской алмазоносной провинции (ЯАП).

Предмет исследования - физические свойства базитов, которые необходимо охарактеризовать корректными среднестатистическими (дескриптивными) значениями плотностных и магнитных параметров, а также установить природу и возраст намагниченности.

Актуальность исследования. Магниторазведка является одним из основных геофизических методов поисков коренных месторождений алмазов на территории ЯАП. Именно этот метод в модификации аэромагнитной съемки зарекомендовал себя как наиболее эффективный для площадей I и II геотипов – территорий преимущественного развития раннепалеозойских пород карбонатного цоколя (Владимиров и др., 1984). На их фоне даже слабомагнитные кимберлитовые тела обнаруживались достаточно надежно по аномалиям трубчатого типа. Начиная с середины 70-х г прошлого века алмазописковые работы проводятся в пределах восточного борта Тунгусской синеклизы на площадях IV и V геотипов – территориях развития пород трапповой формации (Олейников, 1984; Траппы Сибири и Декана..., 1991). В связи с тем, что плотностные и магнитные характеристики базитов варьируют в значительных пределах (Саврасов, 1963; Сидарас, 1984; Трухин и др., 1989; Зинчук и др., 2002; Мишенин, 2002; Константинов, 2014; Киргуев и др., 2019; 2020), эффективность магниторазведки заметно снизилась. Поэтому с целью повышения качества интерпретации данных магниторазведки перед геофизиками встала задача по петромагнитному картированию траппонасыщенных территорий (Эринчек и др., 1974; Ивлиев и др., 1976; 1987; Миков и др., 1986; Блох и др., 1986; Давыденко и др., 2008 и др.). Петромагнитное картирование – сочетание магнитной съемки (телеинформация о площадном распределении магнитных масс) с площадными геологическими данными и исследованиями магнитных свойств горных пород района, региона (Печерский, Соколов, 2010). Основным продуктом петромагнитного картирования является карта (Физические свойства горных ..., 1984; Петрофизика, 1992). Ключом к дешифрированию такой карты служит петромагнитная легенда (ПМЛ), атрибутами которой являются петромагнитные группы (ПМГ). Таким образом, составленная в ходе петрофизических исследований карта

отражает пространственное распределение ПМГ горных пород различных геологических эпох, генетических типов, составов ферромагнитных минералов (породообразующих и акцессорных), влияющих на особенности распределения современной намагниченности пород (магнитной восприимчивости – χ и/или естественной остаточной намагниченности - ЕОН).

В реальности, решение задачи по формированию ПМЛ базитов ЯАП оказалось достаточно сложным, поскольку их современные магнитные свойства зависят от таких факторов, как: временная последовательность внедрения фаз и их пространственное распределение; формы проявленности в виде даек и силлов; разнообразия минералогического, химического и петрографического составов (Томшин и др., 2001; Убинин и др., 2001 ф; Салихов и др., 2005; 2008 ф); положения Сибирской платформы на моменты становления (палеогеографическое) и изучения (современное) и др. (Печерский, Диденко, 1995). ПМГ, которые закладывались в основу первых схем и легенд для восточного борта Тунгусской синеклизы, не смогли описать все многообразие траппов и их магнитных свойств (Саврасов, Камышева, 1962 ф; Камышева, Саврасов, 1965 ф; Саврасов, 1969; Давыдов, Кравчинский, 1967; Ивлиев и др., 1976; 1987; Кравчинский, 1979; Zhitkov, Savrasov, 1995; Мишенин, 2002; Коробков и др., 2013). По этой причине, для описания ряда аномальных эффектов в характере поведения намагниченности внутри базитовых тел (отклонения векторов ЕОН от нормального закона распределения (Fisher, 1953)), в ПМЛ было введено понятие петромагнитные неоднородности (ПМН) (Константинов и др., 2014). Поскольку ПМГ и ПМН представляют практически всё разнообразие магнитных свойств базитов, то их было логично объединить под общим термином: петромагнитный таксон (ПМТ) – петрографически однородная область внутри базитового тела, характеризующаяся определенными законами распределения петромагнитных параметров.

Таким образом, актуальность настоящей работы заключается в разработке методики выделения и количественного описания ПМТ, для построения современной ПМЛ базитов, корреспондирующей с геологической ситуацией и её отражением в геофизических полях.

Цель исследования - создание надёжной петрофизической (петромагнитной) основы для повышения достоверности и однозначности интерпретации геофизических данных при прогнозировании и поисках коренных источников алмазов в пределах закрытых траппами территорий IV и V алмазопроисковых геотипов Якутской алмазоносной провинции.

Научные задачи исследования:

1. Разработать методику идентификации петромагнитных

таксонов базитов восточного борта Тунгусской синеклизы;

2. Определить первичную полярность интрузивных (петромагнитных) базитовых комплексов восточного борта Тунгусской синеклизы;

3. Разработать петромагнитную легенду базитов восточного борта Тунгусской синеклизы для применения при алмазопроисследовательских работах.

Методы исследования и фактический материал. Основными методами являются комплексные петрофизические (Петрофизика, 1992; Вахромеев и др., 1997), магнито-минералогические (Буров, Ясонов, 1979; Tarling, Hroudá, 1993; Dunlop, 2002) и палеомагнитные (Храмов и др., 1982) исследования, позволяющие однозначно идентифицировать ПМТ базитов.

Графическое и аналитическое сопровождение при решении задач петрофизического и палеомагнитного направлений осуществлялось при помощи компьютерных программ Statistica, Opal, Enkin, Anisoft, «PetroStat» и «AMStat» (Боровиков, 2001; Винарский и др., 1987; Enkin, 1994; Jelinek, 1997; Константинов и др., 2018).

Фактическим материалом послужили около 2800 образцов, из которых примерно 2200 - ориентированные штуфы базитов, отобранные из 185 обнажений на 15 участках, включая 6 месторождений алмазов (Алакит-Мархинский район: трубки Айхал, Заря, Комсомольская, Краснопресненская, Сытыканская и Юбилейная), а также около 600 образцов керна 18 структурно-поисковых скважин (Салихов и др., 2008 ф).

При подготовке работы дополнительно использованы фондовые материалы петрофизических исследований Амакинской ГРЭ (Убинин и др., 2001 ф; Салихов и др., 2008 ф) и НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) (Бессмертный и др., 2012 ф, 2015 ф; Специус и др., 2019 ф), а также материалы полевых наблюдений М.И. Лелюха, С.П. Сунцовой, М.Д. Томшина К.М. Константинова и др.

Защищаемые научные результаты:

1. Разработана методика идентификации петромагнитных таксонов (ПМТ) базитов восточного борта Тунгусской синеклизы, включающая комплекс определений: объемного веса, магнитной восприимчивости, естественной остаточной намагниченности и коэффициента Кёнигсбергера. Природа ПМТ устанавливается на основе палеомагнитных (компонентный состав векторов ЕОН) и магнито-минералогических (анизотропия магнитной восприимчивости и гистерезисные параметры) исследований.

2. Установлено, что формирование интрузивных (петромагнитных) базитовых комплексов восточного борта Тунгусской

синеклизы сопровождалось сменой полярности магнитного поля Земли с прямой (при формировании оленёк-велингинского и катангского комплексов) на обратную (при становлении кузьмовского комплекса), что необходимо учитывать при геолого-геофизических и прогнозно-поисковых построениях в Западной Якутии.

3. Предложена петромагнитная легенда (ПМЛ) базитов восточного борта Тунгусской синеклизы, позволяющая надежно выделять магматические фазы и фации внедрения, повысить достоверность и однозначность интерпретации геофизических данных при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов.

Научная новизна:

1. С помощью современной аппаратуры, получен спектр петрофизических параметров базитов восточного борта Тунгусской синеклизы. На основе этих данных, сформулированы основные понятия и критерии по классификации ПМТ.

2. Предложена принципиально новая методика выделения ПМТ базитов, которая включает оптимальный комплекс методов: петрофизический, магнито-минералогический и палеомагнитный. Установлены главные и второстепенные физические параметры, определяющие таксономию базитов.

3. Решена производственная задача по определению магнитной полярности траппов из керна поисковых и разведочных скважин.

4. Предложена актуализированная версия ПМЛ базитов восточного борта Тунгусской синеклизы, которая в перспективе может быть дополнена новыми ПМТ.

5. Продемонстрированы возможности применения ПМЛ для решения вопросов классификации базитов при поисках коренных источников алмазов геофизическими методами на территориях IV и V геотипов ЯАП.

Личный вклад соискателя состоит в создании авторского варианта ПМЛ базитового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы. Для этого соискателем проведены:

- постановка цели исследования и обсуждение содержания решаемых задач;

- обзор и критический анализ имеющихся геолого-геофизических материалов по развитию пород трапповой формации Тунгусской синеклизы (Саврасов, Камышева, 1962 ф; Milanovskiy, 1976; Масайтис, 1983; Камышева и др., 1984 ф; Траппы Сибири и Декана..., 1991; Морозова и др., 1995 ф; Васильев и др., 2000; Томшин и др., 2001; Мишенин, 2002; Альмухамедов и др., 2004; Reichowa et al., 2009; Иванов, 2011; и др.);

- выбор реперных объектов (совместно с геологами) и корректный отбор ориентированных образцов в полевых маршрутах;

- комплекс лабораторных исследований с занесением необходимой информации в петрофизическую базу данных (Константинов и др., 2018);

- анализ полученных дескриптивных значений и корреляционных зависимостей петрофизических параметров с обоснованием оптимального комплекса методов идентификации ПМТ базитов;

- формулировка основных положений диссертационной работы, подготовка публикаций по теме диссертации и устных докладов на научных конференциях.

Теоретическая и практическая значимость. Работа является обобщением новой и ранее накопленной информации по породам трапповым формации восточного борта Тунгусской синеклизы. В ней предложен логично структурированный, понятный для геологов и геофизиков вариант ПМЛ, который, в перспективе может быть расширен за счёт изучения других магматических комплексов. Практическое применение ПМЛ найдёт при решении задач петромагнитного картирования и физико-геологического моделирования (ФГМ) при поисках коренных месторождений алмазов в пределах IV и V геотипов ЯАП геофизическими методами.

Апробация работы и публикации. Представленные результаты известны научному сообществу, докладывались и получили одобрение специалистов на всероссийских и международных конференциях: XXVII Всероссийской молодёжной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2017), IX Всероссийской научно-практической конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире» (Мирный, 2018), V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические и инновационно-технологические направления её повышения» (Мирный, 2018), II международной научно-практической конференции «Наука и инновационные разработки-северу» (Мирный, 2019), Палеомагнитный онлайн-семинар ИФЗ СО РАН (Москва, 2021), XXIX Всероссийской молодёжной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2021).

Результаты диссертационной работы отражены в 21 научной работе, из них 5 статей в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня научных изданий, рекомендованных Минобрнауки России для публикации результатов диссертаций и 16 публикаций в материалах международных и всероссийских научных конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы, включающего 157 источников. Объем работы – 145 страниц, в том числе включая 52 рисунка, 11 таблиц и 4 приложения.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н. К.М. Константинову, за предоставленную возможность заниматься такой важной и интересной темой; д.г.-м.н. А.В. Толстову, оказавшему огромную помощь в продвижении работы. А также коллегам, поделившимся своим огромным опытом по решению трапповой проблематики: ветерану АмГРЭ А.П. Кугаевскому, А.Е. Васильевой, к.г.-м.н. Ш.З. Ибрагимову, к.г.-м.н. Д.М. Кузиной, начальнику Амакинской ГРЭ С.Г. Мишенину, начальнику КГП ВГРЭ В.М. Морозову, Р.Ф. Салихову, С.П. Сунцовой, к.г.-м.н. М.Д. Томшину, и др. Отдельную благодарность за содействие на разных этапах профессионального роста и научного исследования хотелось бы выразить д.г.-м.н. В.М. Зуеву, д.г.-м.н. Е.В. Поспеевой, М.С. Хороших, Э.А. Фахретдинову.

Работа посвящена моей жене Муллаяровой Ларисе Сагитовне.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Во введении указываются объект и предмет исследования, доказываются актуальность, ставятся цель и научные задачи. Перечисляются методы исследования и фактический материал, послуживший его основой. Формулируются защищаемые научные результаты, объясняется научная новизна, личный вклад автора, теоретическая и практическая значимость. Дается краткая информация об апробации результатов работы.

Глава 1. Особенности петромагнитного картирования траппов

В первой главе представлен детальный обзор аналитических исследований, посвящённых решению проблемы поисков кимберлитовых тел на территориях преимущественного развития пород трапповой формации, которые являются объектом помех при проведении магниторазведки.

В **разделе 1.1** анализируется петромагнитная изученность траппов, разбираются попытки объяснения всего их разнообразия на основе количественного магнитного состояния разными авторами.

В **разделе 1.2** упор делается на геолого-геофизическую изученность развития среднепалеозойского базитового магматизма района алмазопроисковок работ.

В целом разделы посвящены критическому анализу всего имеющегося накопленного материала по развитию базитового магматизма района исследований. Проведённый анализ позволяет сделать следующие выводы. В настоящее время, на рассматриваемой площади картируются 3 базитовых комплекса: оленек-велинггинский комплекс - I фаза; катангский комплекс - II фаза; кузьмовский комплекс - III фаза (Томшин и др., 2001; Убинин, 2001 ф; и др., Салихов и др., 2005; 2008 ф). В пределах каждого комплекса выделены подфазы внедрения интрузий по основным (геологическим) и вспомогательным (петрохимическим, петрографическим и петрофизическим) признакам.

Для отнесения траппового тела к одной из трех фаз (комплексов), в основном использовались петрохимические показатели содержаний породообразующих окислов, но, для корректного решения задач поисковой геофизики, в частности грави-магниторазведки целесообразно использовать петрофизические, палеомагнитные и т.п. данные.

Практически все исследования физических свойств трапповых пород сводились к определению корректных значений и их вариаций: объемной плотности σ , магнитной восприимчивости α , ЕОН (и ее направления для ориентированных образцов), фактора Q . Всеми исследователями подтверждалось наличие нескольких разновидностей трапповых пород, статистически различающихся по значениям вышеперечисленных параметров. Однако, пределы их конвергентности настолько широки, что однозначная идентификация конкретного траппового тела крайне затруднительна (даже при использовании вспомогательных данных при непредставительной выборке).

Таким образом, возрастает необходимость создания актуализированной версии ПМЛ базитового магматизма. Для получения широкой практики, легенда (схема, модель) должна строиться на конкретных принципах, понятиях, методах исследования и пр. Поэтому, в рамках настоящих исследований, необходимо сосредоточиться на тех методах, которые позволят надежно идентифицировать ПМТ базитов *in situ* по количественным параметрам.

Глава 2. Методика петрофизических исследований

Вторая глава посвящена обоснованию выбора участков для проведения отбора образцов, описанию особенностей методики лабораторных петрофизических исследований, интерпретации полученных результатов с определением оптимального комплекса параметров для идентификации ПМТ базитов и апробации полученных результатов в реальной геологической обстановке.

В разделе 2.1 приводится описание объектов исследований.

Полевые работы проведены на 3 участках: Северный (Алаakit, Быстрый, Водораздельный, Высотный, Микродолеритовый, Моркока, Сохсолох-Мархинский, Сытыкан, Трасса, Черный, Чукука), Восточный (Усть-моркокинский, Ыгыатта) и Южный (Олгуйдах, Вилой). На первом из них изучены базиты всех трех фаз внедрения, бронирующие месторождения алмазов (трубки Айхал, Заря, Комсомольская, Краснопресненская, Сытыканская и Юбилейная), а также базиты из вертикальных структурно-картировочных скважин (кern без стрелки «устье-забой»). С особой детальностью отбирались образцы из приконтактных зон базитов разных фаз внедрения и разновидностей – долериты, туфы и др. Всего отобрано около 2800 штучков.

Раздел 2.2 посвящён методике лабораторных работ. Лабораторные работы выполнены на современной аппаратуре и оборудовании, полученные результаты внесены в петрофизическую БД (Константинов и др., 2018) и обработаны с помощью пакета компьютерных программ (Боровиков, 2001; Винарский и др., 1987; Enkin, 1994; Jelinek, 1997; Константинов и др., 2018). В отличие от ранее предложенных методик по петромагнитной классификации базитов восточного борта Тунгусской синеклизы, для выделения ПМТ применялся расширенный комплекс методов, включающий:

1. Первичные измерения параметров (объёмной плотности σ , магнитной восприимчивости α , ЕОН и др.), отражающих современное физическое состояние горных пород (Петрофизика, 1992).

2. Палеомагнитные исследования по изучению компонентного состава векторов ЕОН, характеризующие намагниченность горных пород на момент их становления (Печерский, Соколов, 2010). Для изучения характеристической (первичной) ЕОН базитов применялись пошаговые размагничивания переменным магнитным полем и температурой.

3. Магнито-минералогические исследования для определения состава минералов носителей намагниченности (МНН) (Печерский, Соколов, 2010). Исследования включают изучение магнитной текстуры (анизотропия магнитной восприимчивости - АМВ) (Tarling, Hrouda, 1993), магнитной структуры (гистерезисные параметры - ГП) и компонентного химического состава (термомагнитный анализ - ТМА) (Буров, Ясонов, 1979). Независимо от фаз внедрения, МНН относятся к титаномагнетитовой серии и псевдооднодоменному ансамблю магнитных частиц, по этой причине, они слабо выделяются на графиках ТМА, но заметно различаются по значениям ГП (например, повышенные значения характерны для долеритов 3 фазы внедрения (Константинов и др., 2014)).

Разделы 2.3 и 2.4 посвящены используемой в рамках исследований аппаратуре, а также особенностям хранения и обработки

петрофизической информации соответственно.

В разделе 2.5 описывается методика определения магнитной полярности траппов в керне поисковых скважин. Экспресс-метод основан на анализе термомагнитограмм и диаграммам Зийдервельда. Суть его заключается в установлении вязкой ЕОН (J_{nv}), которая ориентируется по направлению геомагнитного поля. У базитов обратной полярности в отличие от прямо намагниченных на графике интегральной кривой будет наблюдаться «гребень», за счет сложения антипараллельных векторов первичной J_n^0 и вязкой J_{nv} природы.

Раздел 2.6 посвящён тематическим работам по формированию образов (типов) ПМТ базитов. Основой для корректного расчета статистических характеристик ПМТ, послужили комплексные геологические (в т. ч. полевые) наблюдения вкуче с аналитическими данными по петрографии, минералогии, геохимии и пр. В разделе описывается концепция формирования ПМТ траппов. Многостадийность развития траппового магматизма Тунгусской синеклизы во времени и в пространстве требует гибкого (диалектического) подхода при создании реальной петромагнитной модели, отражающей все многообразие магнитных свойств базитов. В основу такой модели заложены ПМТ, которые могут включать ПМГ и/или ПМН (Константинов и др., 2014). Анализ имеющихся ПМЛ (глава 1) показал, что в отличие от ПМГ и ПМК для идентификации ПМТ уже недостаточно оперировать только значениями α и J_n (Камышева, Саврасов, 1965 ф; Эринчек и др., 1974; Ивлиев и др., 1976; 1987; Миков и др., 1986; Блох и др., 1986; Петрофизика, 1992; Мишенин, 2002; Коробков и др., 2013). В качестве дополнительных характеристик необходимо ввести такие уточняющие показатели, как: коэффициент Кёнигсбергера (фактор Q) и объемная плотность (σ). Принцип выделения ПМТ рассмотрен на искусственном геологическом разрезе, сложенном разными типами базитов (рисунок 1). Для этого использована технология литологического расчленения пород по комплексным данным геофизического каротажа скважин. Задача упрощается, если образцы будут ориентированы (кern по вертикальной оси). Так, по объемной плотности σ базиты резко различаются на два таксона – туфы и долериты, в то же время по значениям α и J_n выделяется четыре таксона. Однако расчеты фактора Q позволяют выделить пять таксонов. То есть мы не сможем разделить туфы и микродолериты по магнитным свойствам, но по σ это возможно.

На основании проведённых работ можно считать доказанным первый защищаемый научный результат: «Разработана методика идентификации петромагнитных таксонов (ПМТ) базитов восточного борта Тунгусской синеклизы, включающая комплекс определений:

объемного веса, магнитной восприимчивости, естественной остаточной намагниченности и коэффициента Кёнигсбергера. Природа ПМТ устанавливается на основе палеомагнитных (компонентный состав векторов ЕОН) и магнито-минералогических (анизотропия магнитной восприимчивости и гистерезисные параметры) исследований».

ЛИТОЛОГИЯ;		Объёмная плотность	Магнитная восприимчивость	Естественная остаточная намагниченность	Коэффициент Кёнигсбергера	ИТОГО
		ρ	μ	m_n	Q	
1	долериты	ПМТ1	ПМТ1	ПМТ1	ПМТ1	ПМТ1
2	долериты	ПМТ1	ПМТ1	ПМТ2	ПМТ2	ПМТ2
3	долериты	ПМТ1	ПМТ2	ПМТ2	ПМТ3	ПМТ3
4	туфы	ПМТ2	ПМТ3	ПМТ3	ПМТ4	ПМТ4
5	микродолериты	ПМТ1	ПМТ3	ПМТ3	ПМТ4	ПМТ5
6	габбро-долериты	ПМТ1	ПМТ4	ПМТ4	ПМТ5	ПМТ6

Рисунок 1 - Принципиальная схема выделения ПМТ базитов *in situ*

Глава 3. Петро- и палеомагнитная характеристика разнофазных базитов

В третьей главе приводятся результаты комплексных первичных петрофизических, магнито-минералогических и палеомагнитных исследований. На их основе, каждая разновидность базитов получила свои характерные среднестатистические значения магнитных параметров, а для магматических комплексов установлены природа и возраст намагниченности.

В разделе 3.1 установлены пределы изменений значений петрофизических параметров разнофазных базитов. Выборки ориентированных образцов, по каждой из фаз и подфаз базитов, в результате лабораторных измерений и экспериментов получили рассчитанные дескриптивные значения петрофизических параметров, результаты обработки которых сведены в (таблица 1).

Согласно полученным данным спектры скалярных плотностных и магнитных параметров базитов разных фаций могут перекрываться. В то же время классификация их по векторам ЕОН из-за наличия ПМН может быть неоднозначна. Поэтому выполненные ранее работы по петромагнитному картированию исследуемой территории (Камышева, Саврасов, 1965 ф; Ивлиев и др., 1976; 1987; Эринчек и др., 1991; Мишенин, 2002; Машак и др., 2002 ф; Коробков и др., 2013) требуют пересмотра с учётом новых накопленных данных.

Таблица 1 - Пределы изменения петрофизических параметров базитов восточного борта Тунгусской синеклизы

№ п/п	Субфация	Объёмная плотность, кг/м ³		Магнитная восприимчивость, 10 ⁻⁵ СИ		Естественная остаточная намагниченность, 10 ⁻³ А/м		Коэффициент Кёнигсбергера, ед.		Полярность
		от	до	от	до	от	до	от	до	
1	Туфовая	2000	2700		50		10		0,5	N
2	Жерловая	2700	2900	50	100		200		1,0	N
3	Контаминаты	2600	2900	100	500	100	500	1,2	2,5	N
4	Приконтактная	2900	3000	500	1500	1000	2500	2,0	4,0	N
5	Долеритовая 1 фаза	2900	3000	1500	2500	2000	5000	3,0	6,0	N
6	Долеритовая 2 фаза	2850	3000	900	2000	2300	6500	4,0	10,0	N
7	Долеритовая ПМН 2 типа (зона обжига)	2850	3000	700	1600	300	2000	0,5	3,0	N/R
8	Долеритовая 3 фаза (ПМН 1 типа)	2900	3100	1500	2000	1000	2000	1,0	2,5	N/R

Разделы 3.2 и 3.3 объединяют общую цель по установлению природы векторов первичной (характеристической) намагниченности интрузивных комплексов базитов с помощью палеомагнитных (рисунок 4) и магнито-минералогических (рисунок 2) исследований.

Ранее, из-за отсутствия убедительных доказательств, интрузивным комплексам присваивался не свойственный им возраст. Например, считалось что интрузии катангского типа могут иметь как положительную, так и отрицательную полярности векторов ЕОН (I ПМГ и II ПМГ). Наряду с этим в легенду вводились новые подразделения, такие как ангарский интрузивный комплекс (Коробков и др., 2013) и т.п. Благодаря описанным в разделах методам, базиты с одинаковыми петрофизическими характеристиками разделялись по таким признакам как: наличие или отсутствие метакристаллической компоненты ЕОН, распределение значений гистерезисных параметров, типы эллипсоидов АМВ (осадочный, даечный) и пр.

Палеомагнитные исследования показали, что у базитов оленек-велингинского и катангского комплексов векторы первичной ЕОН ориентированы положительно (рисунок 4 Б), а у кузьмовского комплекса – отрицательно (рисунок 4 Г). Как правило, силлы долеритов имеют осадочный тип АМВ (рисунок 2 А). Ранние фазы могут испытать перемагничивание полностью (рисунок 4 А) или частично (рисунок 4 В) за счет обжига со стороны поздней фазы (ПМН 2 типа), которая в свою очередь перемагничивается геомагнитным полем (ПМН 1 типа). Вязкая компонента проявляется у долеритов кузьмовского комплекса с фактором

$Q < 2$ (рисунок 4 Г). Как правило, для ранних фаз внедрения характерны пониженные гистерезисные параметры (рисунок 2 В, Г). ПМН 2 типа характеризуются метакронной ЕОН в интервалах температур 300-450 °С (рисунок 4 А, В), дайковым типом АМВ (рисунок 2 Б) и повышенными значениями гистерезисных параметров (рисунок 2 Г).

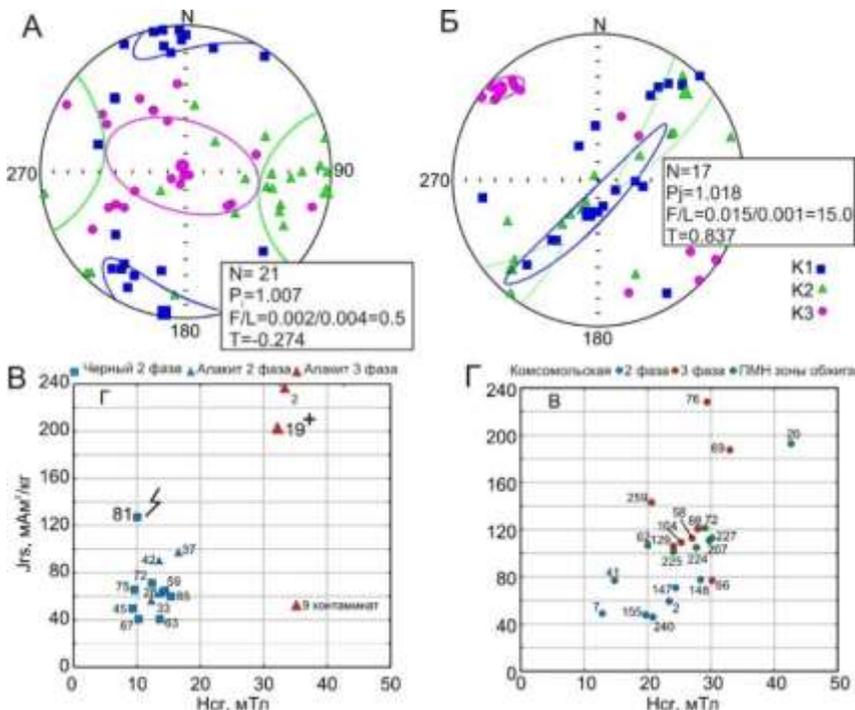


Рисунок 2 - Изучение магнитной текстуры и структуры долеритов ДААР. Анизотропия магнитной восприимчивости: А – долериты второй фазы; Б – ПМН зон обжига долеритов второй фазы. Графики зависимости гистерезисных параметров: В – маршруты рр. Алакит и Черный («+» – ПМН 3 типа (самообращение), «←» – ПМН 4 типа (удары грозových разрядов)); Г – трубка Комсомольская. Цифры – номера штуфов.

Для каждого ПМТ установлены время формирования и природа векторов ЕОН, исходя из чего, следует считать доказанным второй защищаемый научный результат: «Установлено, что формирование интрузивных (петромагнитных) базитовых комплексов восточного борта Тунгусской синеклизы сопровождалось сменой полярности магнитного поля Земли с прямой (при формировании оленёк-велингинского и

катангского комплексов) на обратную (при становлении кузьмовского комплекса), что необходимо учитывать при геолого-геофизических и прогнозно-поисковых построениях в Западной Якутии».

Глава 4. Петромагнитная легенда базитов

Четвёртая глава является результирующей, в ней демонстрируется разработанная ПМЛ и приводятся примеры её использования при решении геологоразведочных алмазопроисловых задач.

В разделе 4.1 представлена имеющаяся к настоящему времени фактография. На её основе была составлена Схема «Петромагнитных таксонов базитов верхнеалакитской вулcano-интрузивной ассоциации» (таблица 2). Строкам в таблице соответствуют петромагнитные комплексы (фазы), а столбцам – фации и субфации. В настоящее время уверенно выделяются 34 ПМТ.

Наиболее представительной является выборка по долеритовой субфации. Особенно важные данные получены по контаминатам, эндо- и экзоконтактным зонам, необходимые для установления возраста и природы намагниченности. Менее изучены жерловая и туфовая фации. В зависимости от фазы и фациальной принадлежности, каждому ПМТ были присвоено конкретное «условное обозначение».

Например, номер OV1D обозначает, что ПМТ относится к долеритовой субфации оленек-велинггинского интрузивного комплекса первой подфазы; KT2MD – относится к катангскому интрузивному комплексу второй подфазы жерловой (микродолеритовой) субфации; KT2ZT – ПМТ относится к катангскому интрузивному комплексу второй подфазы и представляет зону обжига (ПМН 2 типа) и т. д. Ячейки серого цвета обозначают ПМТ, существование которых в природе невозможно, незаполненные – ПМТ, данные по которым ожидается получить в перспективе (как новые трансурановые химические элементы в таблице Д.И. Менделеева).

Вынесенные на график J_n - α - Q фигуративные точки ПМТ образовали достаточно обособленные области распределения магнитных параметров (рисунок 3), которые целесообразно использовать для идентификации ПМТ базитов по результатам первичных измерений (Киргуев и др., 2019; 2020).

Результаты, приведенные в таблицах 1 (предельные значения петрофизических параметров) и 2 (петромагнитные таксоны) и на рисунке 3 (график распределения ПМТ), следует рассматривать в качестве ПМЛ базитов восточного борта Тунгусской синеклизы.

Таблица 2 - Петромагнитные таксоны базитов верхнеалакитской вулканотрифузивной ассоциации

№ пп	Фация	Субфация	Петромагнитный комплекс								Стратифицированные образования (алакитская свита P ₂ -T ₁ al)	
			Оленек-велиндинский				Катангский			Кузьмовский		
			1	2	3	4	1	2	3	1		2
1		Долеритовая	OV1D	OV2D	OV3D	OV4D	KT1D	KT2D	KT3D	KT1D	KT2D	
2		Габбро-долеритовая					KT2GD	KT1GD				
3	Фация пластовых и секущих интрузий	Гибридных пород - контаминатов (полная ассимиляция)						KT2K				
4		Приконтактовая (контакт с никелалеозойским карбонатным комплексом)									KZ2PZ1	
5		Приконтактовая (контакт с породами Р)	OV1PC	OV2PC				KT2PC			KZ2PC	
6		Приконтактовая (контакт с туфами алакитской свиты)						KT2AL				
7		Экзоконтактовая-1 (контакт с 2-ой фазой Оленёк)	OV1-2									
8		Экзоконтактовая-2 (контакт с 3-ей фазой Кузьмовского комплекса)	OV1ZT				KT1ZT	KT2ZT				
9		Эндоконтактовая (контакт с интрузией 1-ой фазы Оленёк-велиндинского комплекса)		OV2-1								
10		Экзоконтактовая (контакт с микродолеритами жерловой фации)		OV2VF								
11		Эндоконтактовая (контакт с 1-ой фазой оленёк-велиндинского комплекса)									KZ2F1	
12		Эндоконтактовая (контакт с 2-ой фазой оленёк-велиндинского комплекса)								KZ1F2		KT2T
13		Фация базальтовых вулканов (жерловая)	Микродолеритовая		OV2MD			KT1MD	KT2MD			
			Атакситовых микродолеритов						KA2AMD			
14		Атакситовых микродолеритов		OV2AMD				KA2AMD				
15	Туфовая	Туфовая, туфитовая									KT1T	

Примечание. Серые площадки – несуществующие ПМТ

Раздел 4.2 посвящён примерам использования ПМЛ для решения прикладных задач петромагнитного картирования и физико-геологического моделирования. Благодаря массовым измерениям петрофизических свойств и экспериментам по определению полярности векторов ЕОН удалось построить 3Д модели ВЧР участков Полигон и Моркокинский (рисунок 5), а также ряда месторождений алмаза: трубки Айхал, Заря, Комсомольская, Краснопресненская, Сытыканская и Юбилейная. Таким образом можно считать доказанным третий научный результат: «Предложена петромагнитная легенда базитов восточного борта Тунгусской синеклизы, позволяющая надежно выделять магматические фазы и фации внедрения, повысить достоверность и

однозначность интерпретации геофизических данных при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов».



Рисунок 3 - Области распределения фигуративных точек ПМТ по фациям базитов восточного борта Тунгусской синеклизы на графике $\text{In}-a-Q$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие в настоящее время средства и методы интерпретации геолого-геофизических данных при алмазопроисковых работах на территориях развития пород трапповой формации не вполне отвечают уровню поставленных задач. Результаты исследований, проведенных автором диссертации призваны улучшить качество интерпретации данных магниторазведки.

Работа является обобщением новой и ранее накопленной информации по породам трапповой формации восточного борта Тунгусской синеклизы.

Во-первых, на ее основе предложен авторский вариант петромагнитной легенды, включающий: таблицу (таблица 1), условные обозначения (таблица 2) и схему (рисунок 3) пределов изменения значений плотностных и магнитных параметров петромагнитных таксонов базитов для разных фаз и субфаз верхнеалакитской вулкано-интрузивной ассоциации.

Во-вторых, легенда предполагает также существование новых петромагнитных таксонов, которые могут обнаружиться при геологической съемке в районах развития других магматических комплексов (Красноярский край, юг ЯАП, Иркутская область). Таким образом дальнейшие перспективы развития авторского варианта легенды заключаются в том, что её можно распространить и на другие территории Сибирской платформы.

В-третьих, предложенная легенда развития базитового магматизма Тунгусской синеклизы найдет применение для решения широкого ряда научных и прикладных геологических задач, например, таких как: формирование физико-геологических моделей территорий IV и V геотипов с целью обоснования оптимального геолого-геофизического комплекса методов поисков месторождений полезных ископаемых (алмазов, золота, железа, углеводородов и др.).

В-четвёртых, качество решения алмазопроисковых задач ЯАП будет выше, если включить в комплекс ГРП петрофизический метод по петромагнитному картированию (рисунок 5) пород трапповой формации. Легенда найдёт применение при геофизическом районировании территорий с целью составления петромагнитных карт и построении палеомагнитных реконструкций с целью решения задач минерализации, геодинамики и пр.

Таким образом, актуализированный вариант петромагнитной легенды базитового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы, логично структурирован, легко читаем и понятен для геологов и геофизиков. Использование петромагнитных таксонов, в качестве

ключевых элементов легенды приведёт к повышению достоверности и однозначности интерпретации геофизических данных при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов на территориях IV и V геотипов Якутской алмазоносной провинции.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК

1. **Киргуев А.А.**, Константинов К.М. Кузина Д.М., Макаров А.А., Васильева А.Е. Петромагнитная классификация базитов восточного борта Тунгусской синеклизы. Геофизика, 2020. №3. С. 45-61.

2. **Киргуев А.А.**, Константинов К.М., Васильева А.Е. Петромагнитная легенда базитов восточного борта Тунгусской синеклизы. Природные ресурсы Арктики и Субарктики, Т. 24, №1, 2019. С. 18-32.

3. Константинов К.М., Забелин А.В., Зайцевский Ф.К., Константинов И.К., **Киргуев А.А.**, Хороших М.С. Структура и функции петромагнитной базы данных «RSEARCH» Якутской кимберлитовой провинции // Геоинформатика, 2018. № 4. С. 15-24.

4. Константинов К.М., Артемова Е.В., Константинов И.К., Яковлев А.А., **Киргуев А.А.** Возможности метода анизотропии магнитной восприимчивости в решении геолого-геофизических задач поисков коренных месторождений алмазов // Геофизика 2018, №1. - стр. 67-77.

5. Константинов К.М., **Киргуев А.А.**, Хороших М.С. Петромагнитные неоднородности стресса: прикладное следствие Виллари-эффекта / Природные ресурсы Арктики и Субарктики, Т. 24, № 2, 2018. – С. 29–38.

Публикации в материалах конференций

1. **Киргуев А.А.**, Хороших М.С., Константинов К.М. «Петромагнитная модель месторождения алмазов трубки Комсомольской (Якутская кимберлитовая провинция)». В сборнике: Строение Литосферы и Геодинамика. Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции. 2021. С. 128-130.

2. Хороших М.С., Потапов С.В., Константинов К.М., Шарыгин И.С., Фахретдинов Э.А., **Киргуев А.А.** «Магнитоминералогические исследования кимберлитов Верхнемунского поля (Якутская алмазоносная провинция)». В сборнике: Строение Литосферы и Геодинамика. Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции. 2021. С. 275-277.

3. **Киргуев А.А.**, Константинов К.М. «Палеомагнитные реконструкции сибирской платформы в конце перми начале триаса». В сб.: Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы X ВНК с межд. участием. СВФУ им. М.К. Аммосова, ИГАБМ СО РАН, АН РС(Я), ЯО РМО. 2020. С. 78-81.

4. Константинов К.М., Яковлев А.А., **Киргуев А.А.**, Хороших М.С., Макаров А.А. «Роль петро- и палеомагнитных исследований в разработке динамических физико-геологических моделей кимберлитов- и траппообразования сибирской платформы». В сборнике: Геодинамическая эволюция литосферы центрально-азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы научного совещания 2019. С. 126-128.

5. **Киргуев А.А.** «Основы петромагнитной легенды базитового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы» Сборник: «Наука и инновационные разработки - северу», 2019. С. 196-200.

6. **Kirguyev A.A.**, Konstantinov K.M., Vasilyeva A.E. «Petro-magnetic methods of the Tungus syneclyse basit classification». Журнал: «Magmatism of the Earth and Related Strategic Metal Deposits». 2019. Т. 36. С. 125-127.

7. **Киргуев А.А.**, Константинов К.М., Васильева А.Е. «Петромагнитная классификация базитов восточного борта Тунгусской синеклизы». Сборник «Проблемы геокосмоса», 2019, с. 113-118.

8. Константинов К.М., Ибрагимов Ш.З., Константинов И.К., Яковлев А.А., **Киргуев А.А.**, Томшин М.Д. «Петро- и палеомагнитные исследования докимберлитовых даек долеритов месторождений алмаза: трубок Мир и Нюрбинская». Сборник «Проблемы геокосмоса», СПбГУ, 2018 г. с. 126-131.

9. **Alexander A. Kirguyev**, Konstantin M. Konstantinov, Alexandra E. Vasilyeva. «Petro-magnetic legend of the basites of the eastern board of the Tungus syneclyse (working opinion) » // 12th Inter. Conf. and School "PROBLEMS OF GEOCOSMOS", St. Petersburg, Petrodvorets, October 8–12, 2018. Book of Abstracts p.74

10. **Киргуев А.А.**, Константинов К.М. «Петромагнитные таксоны как отражение эволюции базитового магматизма (на примере восточного борта Тунгусской синеклизы)» // материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические и инновационно-технологические направления её повышения» 29 мая – 01 июня 2018 г., Мирный, стр. 276-280.

11. Константинов К.М., **Киргуев А.А.**, Хороших М.С., Фахретдинов Э.А. «Современная петрофизическая служба АК "АЛРОСА" (ПАО)». Сб. «Эффективность геологоразведочных работ на алмазы:

прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения», АК «АЛРОСА», 2018. с. 281-285.

12. Константинов К.М., **Киргуев А.А.**, Хороших М.С., Фахретдинов Э.А. «Петрофизические исследования в решении геологических задач АК «АЛРОСА» (ПАО)». Сб. «Росгеология», с. 55-58. Иркутское геофиз. подразделение, 2018 г.

13. **Киргуев А.А.** «Принципы, понятия и методы петромагнитной классификации базитов восточного борта Тунгусской синеклизы» // IX-я ВНК для студентов, аспирантов и мол. ученых «Молодежь и науч.-тех. прогресс в совр. мире», 12-14 апреля 2018 г., СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Мирный. С. 87-93.

14. Константинов К.М., **Киргуев А.А.**, Константинов И.К., Яковлев А.А. «Палеомагнетизм кимберлитов трубки Комсомольская» Сборник «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса». Материалы совещания. 2018. С. 134-136.

15. **Киргуев А.А.**, Яковлев А.А., Константинов И.К. «Закономерности распределения значений магнитных параметров базитов восточного борта Тунгусской синеклизы» // М-лы XXVII ВМК «Строение литосферы и геодинамика», ИЗК СО РАН, Иркутск, 22-28 мая 2017 года. С. 117-118.

16. Константинов К.М., Забелин А.В., Константинов И.К., Яковлев А.А., **Киргуев А.А.** «Развитие петромагнитной базы данных Восточной Сибири». В сборнике: Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности. Материалы Международной конференции. 2015. С. 87-94.

Технический редактор Т.С. Курганова

Подписано в печать 27.07.2023

Формат 60x84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс

Печ.л. 1,0. Тираж 100. Зак. № 223

ИНГГ СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3