

На правах рукописи



Кунаккузин Евгений Леонидович

**ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И МАНТИЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ
ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО БАЗИТОВОГО МАССИВА МОНЧЕТУНДРА
(СЕВЕРО-ВОСТОК ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА)**

1.6.3 – Петрология, вулканология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск - 2023 г.

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте - Обособленном подразделении Федерального исследовательского центра "Кольский научный центр Российской академии наук" (ГИ КНЦ РАН) и Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Мурманском государственном техническом университете" (ФГБОУ ВО "МГТУ").

Научный руководитель:

Баянова Тамара Борисовна, доктор геолого-минералогических наук, Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (ГИ КНЦ РАН), главный научный сотрудник, заведующая лабораторией геохронологии и изотопной геохимии №29.

Официальные оппоненты:

Арестова Наталия Александровна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии и геохронологии докембрия РАН (г. Санкт-Петербург);

Пушкарёв Евгений Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, и.о. заведующего лабораторией петрологии магматических формаций, ведущий научный сотрудник Института геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург).

Ведущая организация:


Институт геологии - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук" (г. Петрозаводск).

Защита состоится 12 мая 2023 года в 13:00 на заседании диссертационного совета 24.1.050.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, д.3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГМ СО РАН и на сайте <https://www.igm.nsc.ru/index.php/obrazov/dissovety>.

Автореферат разослан «10» апреля 2023 года.

И.о. ученого секретаря диссертационного совета
24.1.050.01, д.г.-м.н

 О.М. Туркина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Фундаментальные проблемы металлогении докембрия – древнейшего и одного из важнейших этапов развития Земли – остаются одними из актуальных вопросов современной геологии. Докембрийские структуры являются основным резервуаром многих полезных ископаемых: Cu-Ni-Co, Cr-Ti-V и Pt-Pd оруденение в расслоенных интрузиях, золоторудная минерализация в докембрийских зонах сдвиговых деформаций и редкометалльная Li-Nb-Ta минерализация, связанная с неoarхейскими пегматитами.

Палеопротерозойские базит-гипербазитовые массивы Фенноскандинавского щита на протяжении многих лет считаются перспективными на обнаружение благородной ЭПГ и Cu-Ni минерализации (Медно-никелевые..., 1985; Митрофанов и др., 1994, 2005, 2013; Додин и др., 2000, 2001; Гроховская и др., 2003, 2012; Расслоенные интрузии..., 2004а, 2004б; Alapieti et al., 1989, 1990; Halkoaho et al., 1989, 1990; Schissel et al., 2002; Пјина, Hanski, 2005; Maier, 2015; Пјина et al., 2015; Maier, Hanski, 2017; Mitrofanov et al., 2019 и др.). Этому послужили открытия месторождений в Федорово-Панском массиве и рудопоявлений в пределах Мончеплутона, горы Генеральской в Кольском регионе; Олангской группы интрузий, Бураковского массива в Карелии; и ряде массивов в Финляндии (Портимо, Пеникат, Кеми и др.). Формирование перечисленных выше массивов связано с мощным импульсом магматизма, связанного с подъемом в начале палеопротерозоя крупного мантийного плюма, и на этом основании они были объединены в обширную изверженную провинцию (Sharkov et al., 1999) или Восточно-Скандинавскую обширную базитовую изверженную провинцию (Bayanova et al., 2009; Митрофанов и др., 2013). Однако остается открытым вопрос о характере источников базитовых магм. Несмотря на то, что в общем геологическом разрезе палеопротерозойские базит-гипербазитовые интрузии схожи и представляют собой дифференцированную серию пород, исследования массива Мончетундра (Мончегорский рудный район, северо-восточная часть Фенноскандинавского щита) отразили вещественную неоднородность базитов и образование их в разное время, что свидетельствует о более сложном процессе формирования массива (Нерович и др., 2009, 2014; Борисенко и др., 2015; Кунаккузин и др., 2015; Чашин и др., 2017, 2018, 2020; Kunakuzin et al., 2020). Новые комплексные геохронологические и изотопно-геохимические исследования (U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr систематики, содержание и распределение редкоземельных элементов и элементов платиновой группы) пород массива Мончетундра позволяют выявить причины геохимической неоднородности пород и их связь с мантийными источниками.

Цели и задачи исследования. Основной целью диссертационной работы являлось изучение комплексом петрологических и изотопно-геохимических методов характера взаимоотношений между главными разновидностями пород, а также вклада различных источников родоначальных магм при формировании массива Мончетундра.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. изучение геологического строения юго-восточной части массива по данным полевых работ и керн скважин;

2. комплексная петрографическая и геохимическая характеристика пород, сравнительный анализ составов пород и характера распределения в них редких и рассеянных элементов. Выявление общих геохимических черт и различий между разновозрастными группами пород;

3. установление возраста трахитоидных и массивных габброноритов верхней зоны изотопным U-Pb методом и характера взаимоотношений между ними;

4. определение возраста метаморфических преобразований пород изотопным Sm-Nd методом;

5. изучение Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем в породах и определение их изотопно-геохимических параметров;

6. исследование распределения элементов платиновой группы в породах и их связь с вещественными характеристиками;

7. интерпретация совокупности полученных данных для определения вклада различных источников родоначальных магм в формировании массива.

Объект исследования. Для достижения поставленных целей и задач были изучены породы, слагающие юго-восточную часть массива Мончетундра на современном эрозионном срезе, а также породы нижних частей разреза из скважины МТ-70 Pt-Pd месторождения Лойпишнюн.

Фактический материал. Диссертационная работа основана на фактическом материале, собранном автором во время полевых работ на объекте исследований в период с 2011 по 2018 года, на материалах предшествующих полевых исследований сотрудников Геологического института КНЦ РАН в период с 2005 по 2008 года и на данных из литературных источников (Расслоенные интрузии..., 2004а, 2004б; Баянова, 2004, 2006, 2010; Нерович и др., 2009, 2014; Чашин и др., 2020; Вауанова et al., 2009, 2014, 2019; Pripachkin et al., 2016; и др.). Геологический материал из скважины МТ-70 был любезно предоставлен ЗАО «Герская горная компания», г. Мончегорск.

Петрографическое изучение более 100 шлифов пород проводилось с помощью поляризационных микроскопов AxioPlan 2 с фотоприставкой Carl Zeiss и ЛабоПол вар.3. Силикатные анализы 73 проб пород выполнены в химико-аналитической лаборатории Геологического института Кольского научного центра РАН (ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты). Определения содержания редких и редкоземельных элементов (53 пробы пород) проводились в Институте геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург) и Институте геологии и минералогии имени В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Определение концентраций элементов платиновой группы в породах массива Мончетундра (34 анализа пород) проводилось в центральной лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института имени А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург) методом ICP-MS. Датирование горных пород и минералов U-Pb и Sm-Nd методом, определение изотопного состава Nd, Sr и концентраций Sm, Nd, Rb и Sr (более 140 измерений) проводились в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии №29 ГИ КНЦ РАН на твердофазных масс-спектрометрах Finnigan MAT 262 (RPQ) и MI-1201T.

Построение Sm-Nd изохрон проводилось с помощью программы Isoplot 4.15 (Ludwig, 2012), построение геохимических диаграмм (TAS, AFM, REE, и т.д.) – с помощью программ GCDKit 6.0 (Janousek et al., 2006) и AFC-Modeler (Keskin, 2013). Обработка графических изображений проводилась в программе CorelDRAW X4.

Исследования проведены в рамках тем НИР и выполнены в Лаборатории геохронологии и изотопной геохимии №29 ГИ КНЦ РАН и при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 18-05-70082 «Ресурсы Арктики», 18-35-00152 мол_а, РФФ 21-17-00161 и 22-17-20002.

Личный вклад автора диссертации заключался в участии в полевых работах, отборе проб, их камеральной обработке; петрографическом изучении главных разновидностей пород; подготовке проб для дальнейших геохимических и изотопных исследований; участии в проведении части изотопных Sm-Nd и Rb-Sr измерений, обработке и интерпретации полученных геохимических и изотопных данных.

Основные защищаемые положения:

1. Согласно геологическим взаимоотношениям и геохронологическим данным породы верхней зоны массива Мончетундра были сформированы в три этапа: 2.50, 2.48-2.47 и 2.45 млрд лет. К первому этапу относится образование трахитоидных габброноритов субсинхронно с породами нижней зоны, а двум последующим - массивных габброноритов и габбро-пегматитов соответственно. Возраст метаморфических преобразований пород составляет около 2 млрд лет.

2. Гарцбургиты, нориты и пироксениты нижней и габбронориты верхней зон массива Мончетундра имели близкие по составу родоначальные расплавы, что отражается в сходстве редкоэлементного и Nd-Sr изотопного состава ($\epsilon\text{Nd}(T)$ от +3.1 до -4.1 и $I\text{Sr}(T)$ от 0.702 до 0.704). Геохимические и изотопные характеристики пород свидетельствуют о незначительной роли коровой контаминации в их генезисе.

3. Исходные расплавы для пород нижней и верхней зон массива Мончетундра были сформированы при плавлении деплетированного (плюмового) и геохимически обогащенного (литосферной мантии) источников, о чем свидетельствуют обогащение LREE, Nb-Ta минимум, повышенные Th/Nb отношения и вариации $\epsilon\text{Nd}(T)$ от положительных до отрицательных.

Научная новизна и практическая значимость. Впервые проведено комплексное петрографическое, петро-геохимическое, изотопно-геохимическое и геохронологическое изучение пород массива Мончетундра и сопоставление полученных данных по всему разрезу его юго-восточной части. Определены взаимоотношения и возраст пород верхней зоны, и возраст их метаморфических преобразований. Получены новые представительные данные по изотопному составу Nd (35 проб) и Sr (24 пробы) для пород массива, которые позволили установить характеристики мантийного источника и его изменения во времени, а также определен вклад коровой контаминации при формировании различных групп пород. Полученные научные результаты могут служить изотопно-геохимическим критерием условий и особенностей формирования базит-гипербазитовых массивов для оценки перспектив их рудоносности и быть использованы при металлогеническом анализе региона.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 175 страниц, включая 53 рисунка, 14 таблиц и 3 приложения. Список литературы состоит из 217 наименований.

Апробация. Результаты исследований представлены в 24 публикациях, из которых 4 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК. Промежуточные результаты были представлены на 20 всероссийских и международных конференциях.

Благодарности. Автор выражает особую благодарность и признательность своему научному руководителю – д.г.-м.н. Т.Б. Баяновой за руководство и поддержку при написании диссертации и академику РАН Ф.П. Митрофанову за постановку научной проблемы.

Искреннюю благодарность автор выражает к.г.-м.н. Л.И. Нерович за проведение полевых работ, предоставление научных материалов, консультации и ценные советы; д.г.-м.н. Т.В. Каулиной за консультации, плодотворные дискуссии и поддержку на всех этапах работы; д.г.-м.н. В.В. Балаганскому, к.г.-м.н. Т.В. Рундквист, к.г.-м.н. А.В. Мокрушину – за консультации и конструктивные замечания при обсуждении рукописи и мотивацию. Отдельную признательность за обсуждение результатов и ценные замечания автор выражает д.г.-м.н. О.М. Туркиной и д.г.-м.н. А.Э. Изоху (ИГМ СО РАН). Автор благодарен всем сотрудникам лаборатории геохронологии и изотопной геохимии №29 ГИ КНЦ РАН за помощь в проведении аналитических и масс-спектрометрических исследований, а также за всестороннюю поддержку: С.Н. Дьякову, В.Б. Мартынову, О.Г. Шерстенниковой, Г.М. Шерстобитовой, Н.В. Левкович, Е.А. Апанасевич, к.т.н. Д.В. Елизарову, к.г.-м.н. П.А. Серову и к.г.-м.н. Н.М. Кудряшову.

Автор признателен ЗАО «Терская горная компания» и М.С. Люлько (ФГБУ «ВИМС») за предоставление каменного материала для научных исследований. За помощь при выполнении аналитических исследований автор благодарен Л.И. Константиновой (ГИ КНЦ РАН), И.В. Николаевой (ИГМ СО РАН), В.А. Шилову, В.Л. Кудряшову (ВСЕГЕИ), а также Л.И. Коваль (ГИ КНЦ РАН) за проведение и организацию пробоподготовительных работ. За всестороннюю поддержку при написании диссертации автор благодарен Е.С. Борисенко, Е.Н. Стешенко, А.В. Гудкову и А.Н. Иванову.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновываются актуальность, цели и задачи исследования. В **первой главе** приведена краткая характеристика геологического строения северо-восточной части Фенноскандинавского щита, а также положение палеопротерозойских базитовых интрузий и связь с ними благороднометалльной минерализации. Во **второй главе** перечислены методы, использованные при геологическом, петро-геохимическом и изотопно-геохимическом изучении пород массива Мончетундра. **Третья глава** посвящена истории изучения и геологии объекта исследований, и включает результаты геолого-петрографического изучения пород юго-восточной части массива. В **четвертой главе** подробно

описаны петро-геохимические характеристики главных разновидностей пород массива (**Приложение 1**). В **пятой главе** представлены результаты изотопно-геохимических Nd-Sr исследований главных разновидностей пород массива (**Приложение 2**). В **шестой главе** рассматриваются характеры распределения элементов платиновой группы в породах как одни из геохимических параметров (**Приложение 3**). Сравнение данных характеристик с уже рассмотренными петро-геохимическими и изотопно-геохимическими параметрами. В **седьмой главе** представлены основные результаты комплексных научных исследований и приведена оценка вклада различных источников при формировании массива.

Геологическое строение юго-восточной части массива Мончетундра.

Массив Мончетундра располагается в северо-восточной части Фенноскандинавского щита и относится к Мончегорскому комплексу раннепротерозойских расслоенных интрузивов Восточно-Скандинавской базитовой обширной изверженной провинции (Шарков, 2006; Митрофанов и др., 2013; Sharkov et al., 1999). В составе комплекса выделяют два крупных интрузива: Мончегорский никеленосный гипербазит-базитовый плутон (Мончеплутон) и массив Чуна-Монче-Вольчих-Лосевых-Медвежьих тундр (Главного хребта), который является преимущественно базитовым. Массив Мончетундра является юго-восточной частью массива Главного хребта и отделен от Мончеплутона крупным Мончетундровским разломом и мощной зоной бластокатаклазитов и бластомилонитов по габбро (метагаббро) с гранат-амфиболовым парагенезисом, обнаженных на поверхности в юго-восточной части и вскрытых глубокой структурной скважиной М-1 на глубине 1030-2038 м (Расслоенные интрузии..., 2004а; Шарков и др., 2006, **Рис. 1**). Возраст заложения Мончетундровского разлома измерен в 2.0-1.9 млрд лет и связан с тектонической активизацией региона во время Свекофенского орогена (Шарков и др., 2006).

Несмотря на то, что массив сложен преимущественно базитовыми породами, более детальное изучение установило наличие вариаций пород в разрезе и их взаимоотношения, осложненные наложенными тектоническими и метаморфическими процессами. В настоящей работе на основании проведенных геолого-петрографических исследований пород в массиве выделяется:

- нижняя зона, которая изучена по данным скважины МТ-70, представленная чередованием ортопироксенитов, плагиоортопироксенитов, норитов и гарцбургитов. В юго-восточной части массива с данными породами ассоциировано месторождение ЭПГ – Лойпишнюн. Изотопные U-Pb возраста формирования пород нижней зоны, полученные по циркону, для ортопироксенитов составляют 2496.3 ± 2.7 млн лет, для норитов - 2500 ± 2 млн лет (Чашин и др., 2020) и для плагиопироксенитов - 2502.3 ± 5.9 млн лет (Bayanova et al., 2009), которые близки в пределах ошибок.

- верхняя зона, представленная на дневной поверхности, по составу является преимущественно базитовой. На основании интерпретации изотопных U-Pb данных по циркону и бадделеиту в пределах зоны устанавливаются две разновозрастные группы пород: трахитоидные габбронориты возраста 2505-2501 млн лет (Расслоенные интрузии..., 2004а) и массивные лейкогаббронориты возраста 2476-2471 млн лет (Нерович и др., 2009; Баянова и др., 2010). По

периферии зоны распространены метагаббро возраста 2521-2516 млн лет (Нерович и др., 2009, 2014; Баянова и др., 2010). Контакт габброноритов с метагаббро не установлен, что обуславливает их принадлежность к ранней габбровой серии, вероятно не относящейся к массиву.

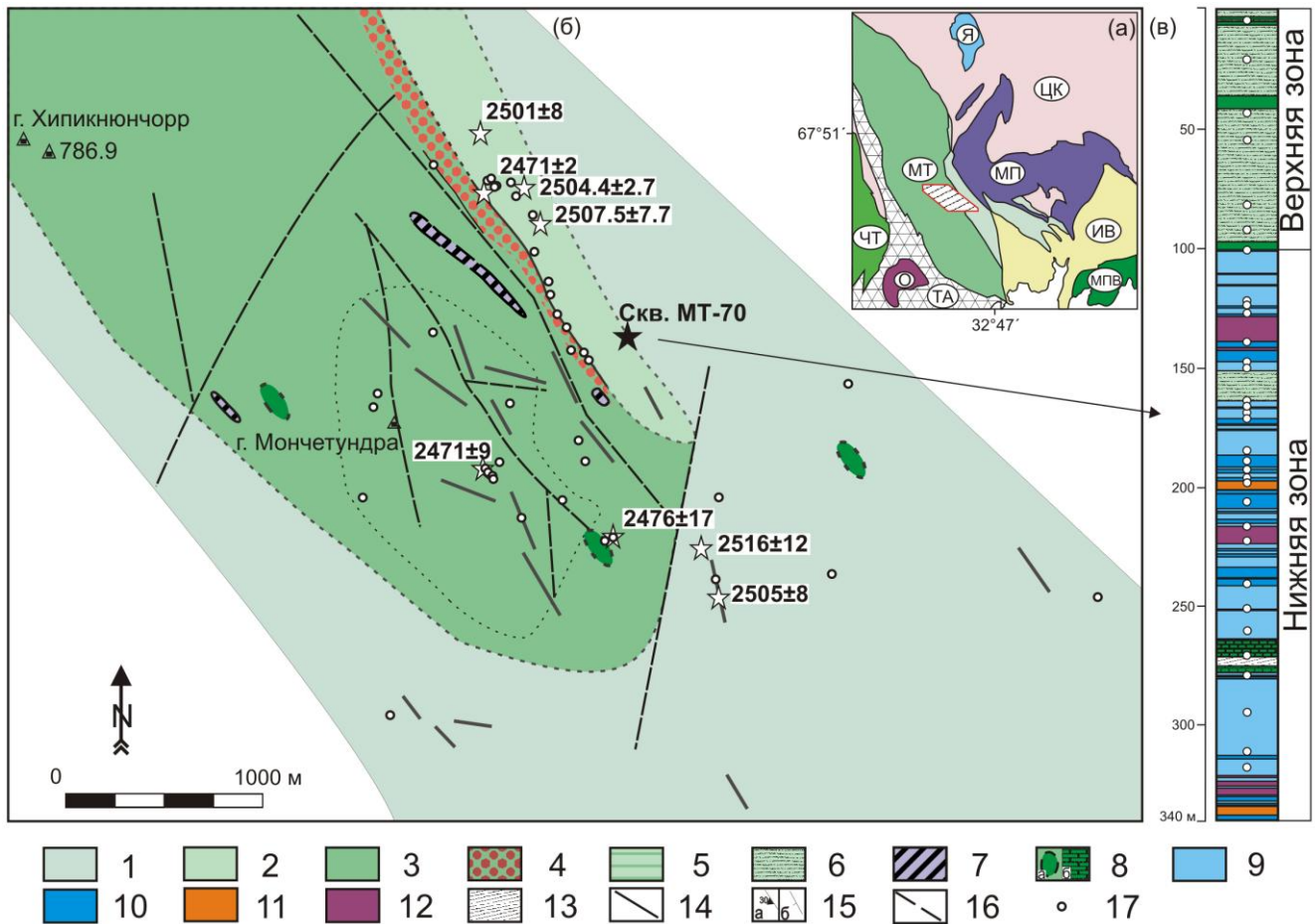


Рисунок 1. Схематическое строение Мончегорского рудного района (а) по (Расслоенные интрузии..., 2004а; Чашин и др., 2015), юго-восточной части массива Мончетундра (б) с изменениями и дополнениями по (Борисенко и др., 2015) и разрез скважины МТ-70 (в) с изменениями по (Люлько, 2009). Условные обозначения: на схеме (а) указаны: МТ – массив Мончетундра; МП – массив Мончеплутон; ЧТ – массив Чунатундра; О – Островский массив; МПВ – массив Мончеполуостров; Я – массив Ярва-Варака; ЦК – архейские породы Центрально-Кольского блока; ИВ – Имандра-Варзугская рифтогенная структура; ТА – Терско-Аллареченский зеленокаменный пояс. Условные обозначения к схеме (б) и разрезу скважины МТ-70 (в): 1 – метагаббро; 2 – трахитоидные габбронориты; 3 – массивные габбронориты; 4 – горизонт чередования массивных габброноритов и оливиновых габброноритов; 5 – расслоенность в трахитоидных габброноритах; 6 – амфиболизированные трахитоидные габбронориты; 7 – дайки меланотроктолитов (гарризитов); 8 – (а) гнездовые габбро-пегматиты и (б) габбро-пегматиты в разрезе скважины; 9 – нориты; 10 – ортопироксениты и плагиоортопироксениты; 11 – гарцбургиты; 12 – дуниты; 13 – тектоническая зона, бластомилониты по габбро; 14 – дайки габбро-долеритов; 15 – элементы залегания трахитоидности и слоистости (а) и сланцеватости (б); 16 – зоны локальных тектонических нарушений; 17 – места отбора проб.

- пегматоидные лейкогаббронориты, габбро-анортозиты и гнездовые габбро-пегматиты возраста 2456-2451 млн лет (Митрофанов и др., 1993; Нерович и др.,

2009; Баянова и др., 2010; Смолькин и др., 2022) формируют самостоятельные тела различной формы и встречаются как в верхней, так и в нижней зонах.

Разрез массива осложнен секущими жилами габбро-пегматитов (2445.1 ± 1.7 млн лет) и аплитов (1900 ± 9 млн лет), дайками долеритов и габбродолеритов (Нерович и др., 2014), меланократовых троктолитов-гарризитов различной мощности и протяженности (Чистяков, Кудряшова, 2010; Борисенко, 2015б), в нижней зоне встречаются прослой дунитов, которые, вероятнее всего, генетически не связаны с массивом (Чашин и др., 2021; Kunakuzin et al., 2020).

Петрохимическая характеристика пород массива.

В породах нижней зоны содержание MgO варьирует в широких пределах от 9.72 до 34.46 мас. %, а в породах верхней зоны - от 2.87 до 10.64 мас. %. Габбро-пегматиты характеризуются содержанием MgO от 1.04 до 9.91 мас. %, а метагаббро от 1.08 до 5.33 мас. %. Согласно вариационным диаграммам соотношения MgO к главным породообразующим оксидам (Рис. 2), в породах массива практически не наблюдается отличий в содержаниях TiO_2 (0.11-0.49 мас. %) за исключением некоторых образцов массивных габброноритов (0.62 мас. %), габбро-пегматитов (до 1.12 мас. %) и норитов (до 1.42 мас. %). При этом наблюдаются четкие тренды увеличения Al_2O_3 и Na_2O с уменьшением магнезиальности в каждой из зон, что характерно для дифференцированных серий пород.

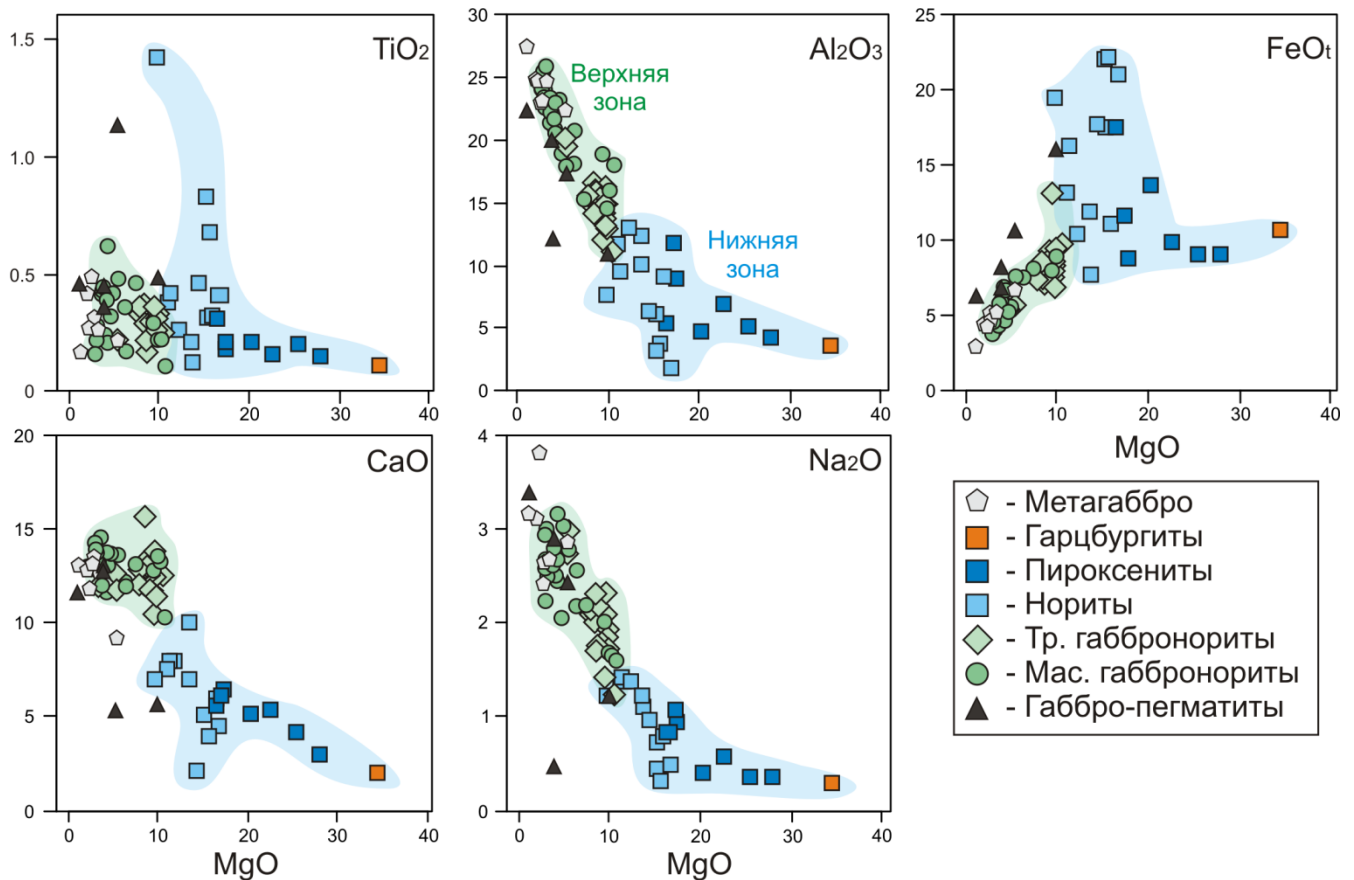


Рисунок 2. Вариационные диаграммы соотношения MgO к главным оксидам (мас. %) для пород массива Мончетундра.

По содержанию CaO породы верхней зоны (10.31-15.62 мас. %) и метагаббро (9.17-13.56 мас. %) характеризуются более высокими значениями по сравнению с породами нижней (2.02-10.07 мас. %). Можно отметить, что содержание FeO_t в породах верхней зоны закономерно снижается (3.79-10.74 мас. %) с уменьшением MgO, что в породах нижней зоны не очевидно, и при этом наблюдается широкая вариативность содержаний (до 22.29 мас. %). Данная вариативность, по всей видимости, связана со значительным количеством рудоносных сульфидов в породах нижней зоны. Два образца габбро-пегматита из скважины МТ-70, которые обогащены сульфидной минерализацией, также имеют повышенные содержания FeO_t (10.43-15.83 мас. %) по сравнению со своими аналогами из верхних частей разреза массива Мончетундра (6.40-8.41 мас. %). В целом породы массива Мончетундра по петрохимическим параметрам обнаруживают закономерности, характерные для пород базитовых интрузий, с большей вариативностью для пород нижней зоны и габбро-пегматитов. В породах каждой из зон наблюдаются тренды дифференциации. Наиболее значимые отличия верхней зоны от нижней выражаются в более высоких содержаниях мас. % CaO, Al₂O₃, Na₂O и пониженных FeO_t в первых. Отличия массивных (2.48-2.47 млрд лет) от трахитоидных (2.50 млрд лет) габброноритов выражаются в более высоких содержаниях мас. %, Al₂O₃, Na₂O и низких FeO_t. Примечательно, что самые древние породы в пределах массива – метагаббро - петрохимически являются самыми дифференцированными среди изучаемых пород.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение: *Согласно геологическим взаимоотношениям и геохронологическим данным породы верхней зоны массива Мончетундра были сформированы в три этапа: 2.50, 2.48-2.47 и 2.45 млрд лет. К первому этапу относится образование трахитоидных габброноритов субсинхронно с породами нижней зоны, а двум последующим - массивных габброноритов и габбро-пегматитов соответственно. Возраст метаморфических преобразований пород составляет около 2 млрд лет.*

Породы нижней зоны и трахитоидные габбронориты первой фазы верхней зоны имеют близкий возраст кристаллизации в пределах ошибок - около 2.50 млрд лет. При этом взаимоотношения пород нижней и верхней зон носят интрузивный характер: отмечаются секущие контакты, а также ксенолиты и крупные блоки пород нижней зоны в породах верхней (Чашин и др., 2020). В пределах верхней зоны, несмотря на хорошую степень обнаженности, очевидные интрузивные контакты устанавливались только для секущих тел габбро-пегматитов, даек долеритов и тел меланотроктолитов (гарризитов).

На юго-восточном склоне массива в районе скважины М-1 был изучен контакт между массивными (2.47 млрд лет) и трахитоидными (2.50 млрд лет) разновидностями габброноритов верхней зоны массива, который имеет сложный характер и устанавливается по наличию в последних пластовых и линзовидных тел массивных лейкогаббро (**Рис. 3**). Мощность тел варьирует от нескольких сантиметров до 1-1.5 м, общее простираение совпадает с северо-западной

ориентировкой трахитоидности вмещающих габброноритов. На отдельных участках изучены их секущие взаимоотношения: при выклинивании тел массивных лейкогаббро отмечается пересечение их контактов и общего направления трахитоидности вмещающих пород, а также встречаются маломощные апофизы. Подобные взаимоотношения характерны для секущих тел лейкогаббро и анортозитов Федорово-Панского комплекса, где они являются отличительным признаком нижнего и верхнего расслоенных горизонтов (Латыпов, Чистякова, 2000).

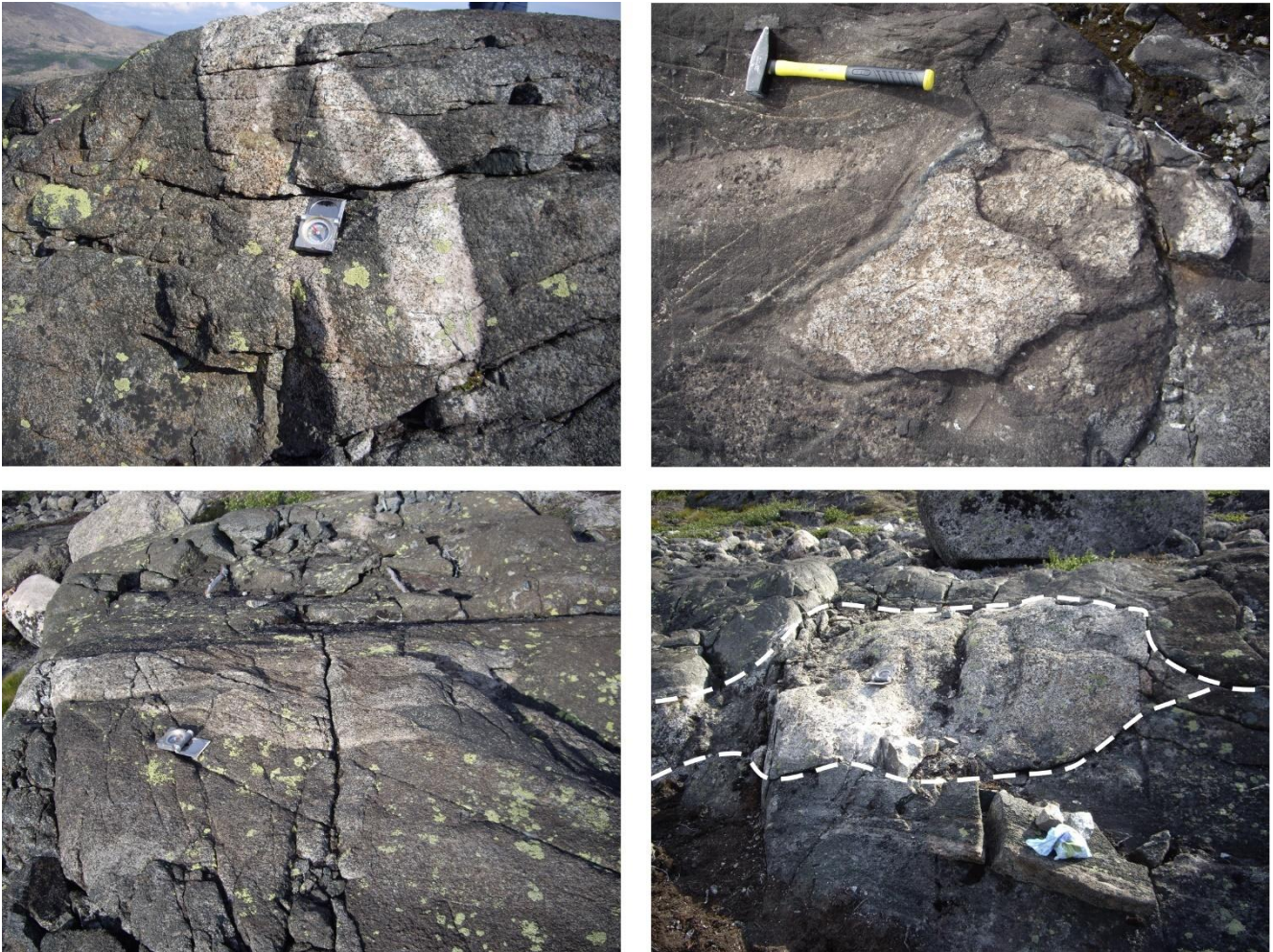


Рисунок 3. Линзовидные и пластовые тела массивных (2.47 млрд лет) лейкогаббро в трахитоидных (2.50 млрд лет) мезократовых габброноритах массива Мончетундра.

Для изотопного U-Pb ID-TIMS датирования пород и последующего сопоставления возрастных данных были отобраны представительные пробы из линзы массивных лейкогаббро и вмещающих их трахитоидных габброноритов. Полученные возрастные U-Pb ID-TIMS данные по циркону и бадделеиту для трахитоидных габброноритов отражают возраст формирования равный 2507.5 ± 7.7 и 2504.4 ± 2.7 млн лет, а для линзы массивных лейкогаббро - 2471 ± 2 млн лет. Новые возраста в пределах ошибок хорошо совпадают с ранее опубликованными, что наряду с петрографическими и петро-геохимическими данными определяет принадлежность линз лейкогаббро к породам второй интрузивной фазы верхней зоны. Таким образом, формирование данных вещественно-структурных

взаимоотношений связано с внедрением комплекса более молодых пород, которые инъецировали подстилающие трахитоидные габбронориты, что свидетельствует о фазовом соотношении между ними.

Породы верхней зоны в пределах юго-восточной части массива характеризуются хорошей сохранностью первичных структур и текстур, однако метаморфические преобразования наблюдаются вблизи зон тектонических нарушений, крупнейшей из которых является Мончетундровский разлом, отделяющий изучаемый массив от Мончеплутона. Породы массива Мончетундра неравномерно метаморфизованы до амфиболитовой фации с образованием граната, роговой обманки, изменением плагиоклаза и преобразованием титаномагнетита в магнетит и ильменит. Для изучения возраста метаморфических преобразований массивных габброноритов были отобраны две пробы в районе юго-восточной части массива. Из проб средне-крупнозернистого массивного лейкогаббронорита (№ 1/106, **Рис. 4**) и средне-крупнозернистого габбронорит-анортозита (№ 7/106, **Рис. 4**) были выделены минералы метаморфического парагенезиса (измененный плагиоклаз, гранат, ильменит и смесь граната и ильменита). Полученные новые изотопные Sm-Nd возраста по минералам метаморфического парагенезиса, равные 2020 ± 50 и 2017 ± 38 млн лет, интерпретируются как время наложенных метаморфических преобразований, при которых происходит формирование граната, ильменита, а также изменение плагиоклаза. Отрицательная величина $\epsilon_{Nd}(T)$ равная -2.2 ± 0.4 характерна для массивных габброноритов в целом (Нерович и др., 2009; Кунаккузин и др., 2015б), а величина $\epsilon_{Nd}(T)$ равная -7.6 ± 0.9 может свидетельствовать об изменении изотопного состава Nd габбронорит-анортозита в результате метаморфических преобразований, наложенных на породы.

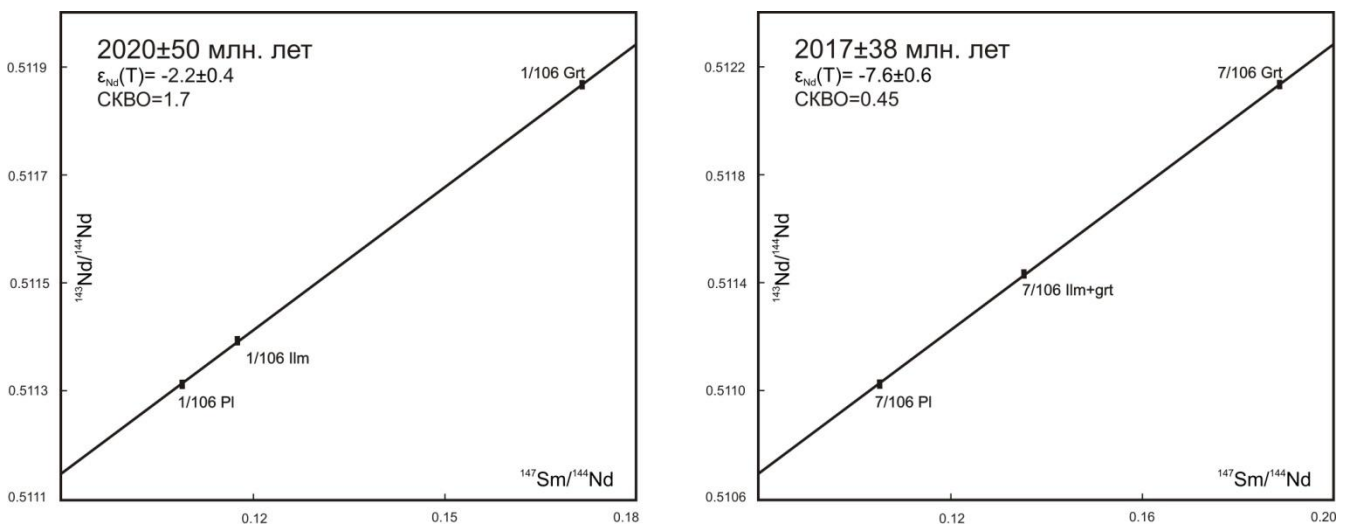


Рисунок 4. Изотопные Sm-Nd изохроны по минералам из массивного лейкогаббронорита (проба 1/106) и габбронорит-анортозита г. Мончетундра (проба 7/106).

Результаты изотопных Sm-Nd исследований по метаморфическим минералам из массивных габброноритов позволяют определить время наиболее отчетливо проявленных в породах массива метаморфических преобразований, с которыми связано формирование граната. Измеренные новые изотопные Sm-Nd возрастные данные совпадают со временем заложения Мончетундровского

разлома (Шарков и др., 2006). Можно сделать вывод, что массивные габбронориты были подвержены метаморфическим преобразованиям в период около 2.0 млрд лет назад, во время тектонической активизации северо-восточной части Фенноскандинавского щита, связанной с формированием самого крупного в данном районе Мончетундровского разлома.

Таким образом, в результате проведенных геологических, петро-геохимических и геохронологических исследований становление верхней зоны массива Мончетундра можно представить в три этапа: на первом этапе 2.50 млрд лет произошло формирование трахитоидных габброноритов, синхронных с породами нижней зоны, в которые в период 2.48-2.47 млрд лет внедрились массивные габбронориты. Заключительный этап 2.45 млрд лет соответствует формированию тел пегматоидных лейкогабброноритов и габбро-пегматитов в породах нижней и верхней зон. Метаморфические преобразования пород вблизи тектонических нарушений связаны с тектонической активизацией региона около 2.0 млрд лет.

Второе защищаемое положение: *Гарцбургиты, нориты и пироксениты нижней и габбронориты верхней зон массива Мончетундра имели близкие по составу родоначальные расплавы, что отражается в сходстве редкоэлементного и Nd-Sr изотопного состава ($\epsilon Nd(T)$ от +3.1 до -4.1 и $ISr(T)$ от 0.702 до 0.704). Геохимические и изотопные характеристики пород свидетельствуют о незначительной роли коровой контаминации в их генезисе.*

На диаграммах распределения несовместимых редких и редкоземельных элементов (**Рис. 5**) породы нижней зоны массива характеризуются схожими спектрами распределения несовместимых элементов между собой. График их распределения слабо отрицательный, что выражается в обогащении данных пород по сравнению с примитивной мантией таких элементов как Cs, Rb, Ba, и Sr, отмечается Nb-Ta и Sr максимум. Большая вариативность концентраций несовместимых элементов наблюдается в норитах.

Породы верхних частей разреза юго-восточной части массива характеризуются схожими спектрами распределения несовместимых элементов, нормированных на примитивную мантию. От трахитоидных (2.50 млрд лет) к массивным габброноритам (2.47 млрд лет) и габбро-пегматитам (2.45 млрд лет) наблюдается общее увеличение концентраций элементов. При этом увеличиваются концентрации Cs, Rb, Ba, максимумы по Sr, Eu, минимумы по Nb-Ta и Zr-Hf.

На диаграммах распределения РЗЭ (**Рис. 5**) и соотношениях геохимических параметров РЗЭ по отношению к содержанию MgO (**Рис. 6**) породы нижней зоны отражают широкий разброс степени фракционирования как ЛРЗЭ ($(La/Sm)_n = 0.5-5.8$), так и ТРЗЭ ($(Gd/Yb)_n = 0.6-1.2$), характеризуются как слабой отрицательной, так и слабой положительной аномалией Eu (0.7-1.5) (**Рис. 6А, Б, В**).

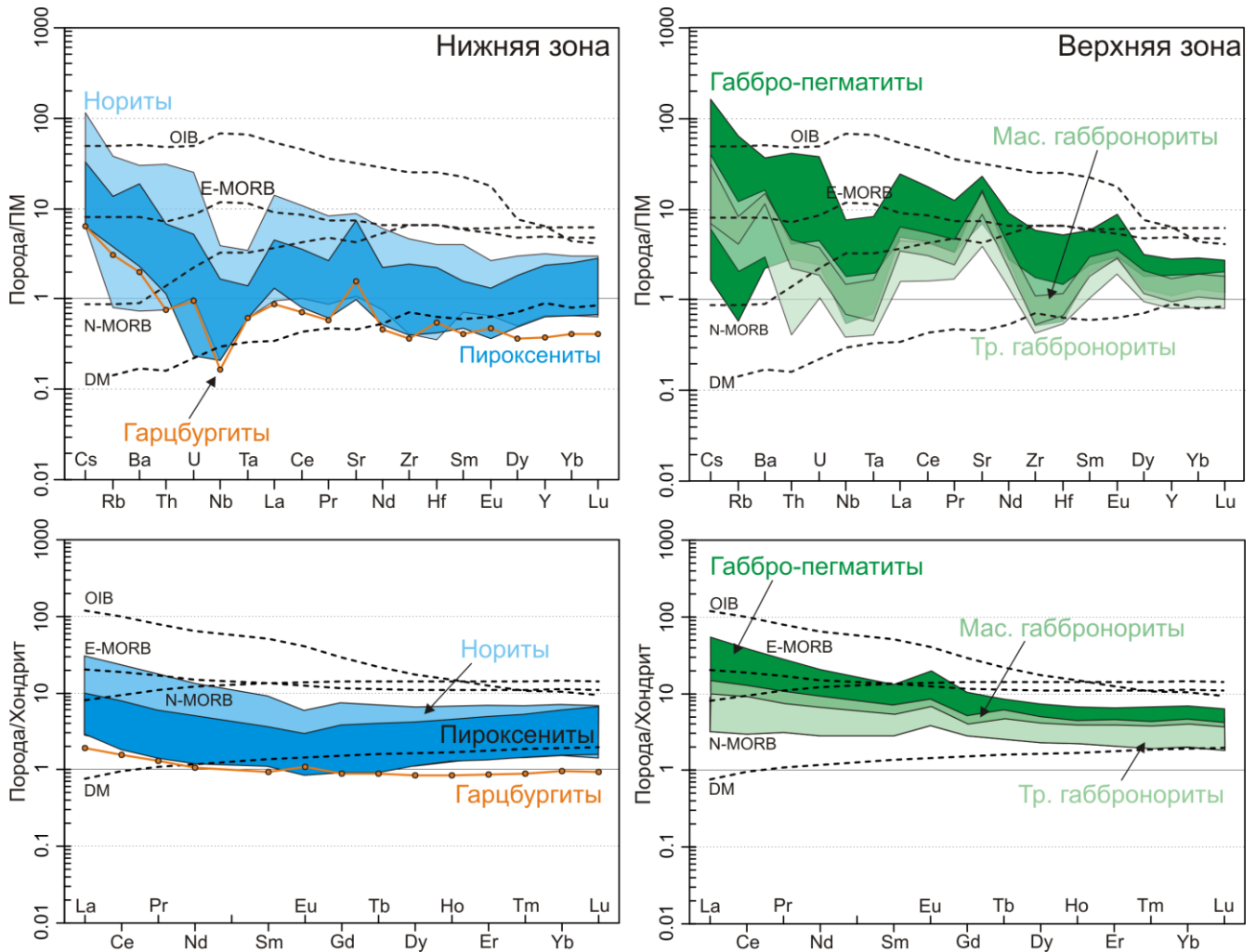


Рисунок 5. Мультиэлементные диаграммы распределения несовместимых редких и редкоземельных элементов по отношению к примитивной мантии (ПМ) (Sun & McDonough, 1989) и диаграммы распределения редкоземельных элементов по отношению к хондриту C1 (Boynnton, 1984) для пород массива Мончетундра. Для сравнения приводятся распределения несовместимых элементов в OIB, N-MORB, E-MORB, DM по (Sun & McDonough, 1989, Salters, Stracke, 2004).

В породах верхней зоны степень фракционирования РЗЭ увеличивается с уменьшением содержания MgO в большинстве случаев (**Рис. 6А, Б**). Можно отметить, что породы верхней зоны и габбро-пегматиты характеризуются положительной аномалией Eu (1.2-2.4), исключение составляет один образец габбро-пегматита без аномалии (**Рис. 6В**). Для пород верхней и нижней зоны в среднем величина Nb аномалии одинакова 0.24-0.26, при этом наблюдается широкий разброс для норитов (**Рис. 6Г**). В целом, согласно данным о редких и рассеянных элементах, можно сделать вывод что характеры их распределения находят сходство в породах нижней и верхней зон.

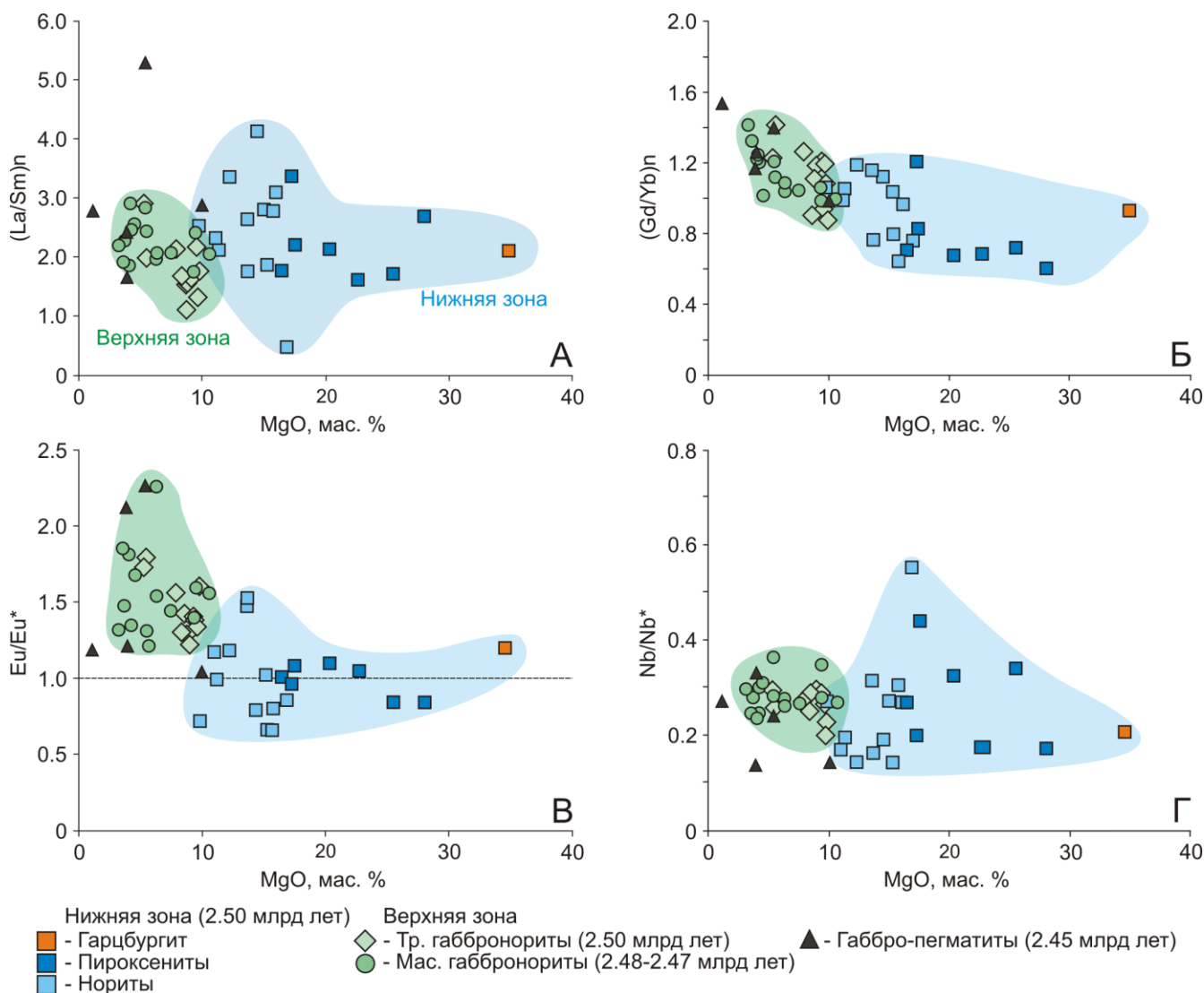


Рисунок 6. Соотношение геохимических параметров распределения РЗЭ по отношению к содержанию MgO (мас. %) для пород массива Мончетундра. Отношения элементов (La/Sm)_n и (Gd/Yb)_n нормированы к примитивной мантии по (Sun & McDonough, 1989). Величина аномалии Eu рассчитана по формуле $Eu/Eu^* = Eu_N / \sqrt{(Sm_N * Gd_N)}$, величина аномалии Nb рассчитана по формуле $Nb/Nb^* = Nb_N / \sqrt{(Th_N * La_N)}$.

Различие между верхней и нижней зонами массива Мончетундра наблюдается в характере распределения элементов платиновой группы (ЭПГ) (Рис. 7). Спектры распределения ЭПГ в трахитоидных и массивных габброноритах (Рис. 7Б) при положительном наклоне, за исключением двух образцов, отличаются от спектров пород нижней зоны выраженным минимумом по Pt, что обуславливает высокие значения отношения Pd/Pt от 10.6 до 35.1 (ср. знач. 26.7) в данной группе пород. В породах нижней зоны отношение Pd/Pt варьирует в пределах от 0.9 до 6.3 (ср. знач. 2.5), при этом зависимости от содержания суммы ЭПГ не наблюдается. Можно отметить, что в исследуемых образцах пород верхней зоны сумма ЭПГ не превышала 0.21 г/т (ср. знач. 0.17 г/т), что значительно ниже, чем в породах нижней зоны (ср. знач. 0.54 г/т), с которыми связано месторождение Лойпишнюн. Формирование месторождения обусловлено кристаллизацией остаточных расплавов, обогащенных рудными компонентами и флюидами (Чашин и др., 2020; Чашин, Иванченко, 2022). По всей видимости,

данные процессы происходили только в породах нижней зоны, что предполагает формирование разновозрастных пород нижней зоны и трахитоидных габброноритов верхней зоны в различных условиях.

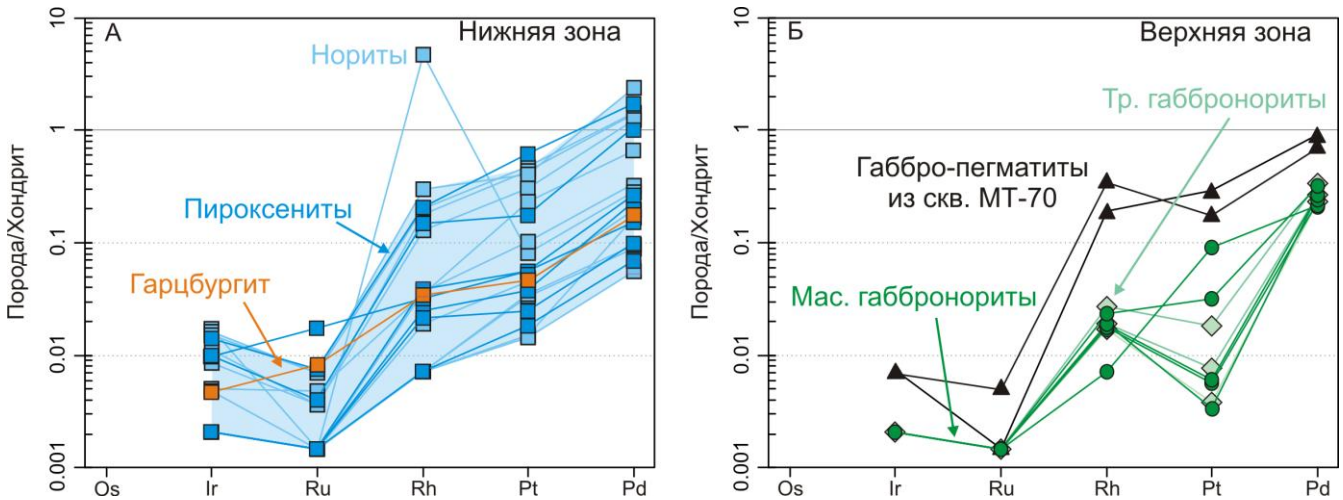


Рисунок 7. Спектры распределения содержаний ЭПГ, нормированных по хондриту (Jochum, 1996) в породах массива Мончетундра.

Породы массива Мончетундра характеризуются близкими изотопными Nd-Sr характеристиками (**Рис. 8**): значения величины $\epsilon_{Nd(T)}$ изменяются в пределах от +3.1 до -4.1, а $^{87}Sr/^{86}Sr(T)$ варьируют от 0.702 до 0.704. Согласно работам (Баянова, 2004; Чашин и др., 2008; Криволюцкая и др., 2010; Вревский, 2011; Ревяко и др., 2012; Nuhma, 1990; Hanski, 1992; Amelin, Semenov, 1995; Amelin et al., 1996; Snyder et al., 1996; Sharkov et al., 1999; Bayanova et al., 2009, 2019; Lauri et al., 2006, 2012; Hanski, 2012; Krivolutsкая, 2016; Yang et al., 2016; Mitrofanov et al., 2019 и др.) палеопротерозойские расслоенные интрузии Фенноскандинавского щита в целом характеризуются близкими первичными изотопными Nd-Sr характеристиками: значения величины $\epsilon_{Nd(T)}$ от -5 до +3, а $I_{Sr(T)}$ от 0.700 до 0.706 (**Рис. 8**). Также породы интрузий имеют схожие геохимические особенности: повышенные концентрации ЛРЗЭ и La/Sm отношения, наличие Ta-Nb минимумов и Sr максимума. На основании этих данных представляется модель формирования интрузий из долгоживущего мантийного плюма, который взаимодействовал с породами континентальной коры, что привело к появлению вариативности в изотопном составе Nd и обогащению некоторыми редкими элементами.

Полученные новые изотопно-геохимические Nd-Sr данные для пород массива Мончетундра хорошо согласуются с данными для палеопротерозойских интрузий Фенноскандинавского щита (**Рис. 8**), что предполагает схожий механизм формирования.

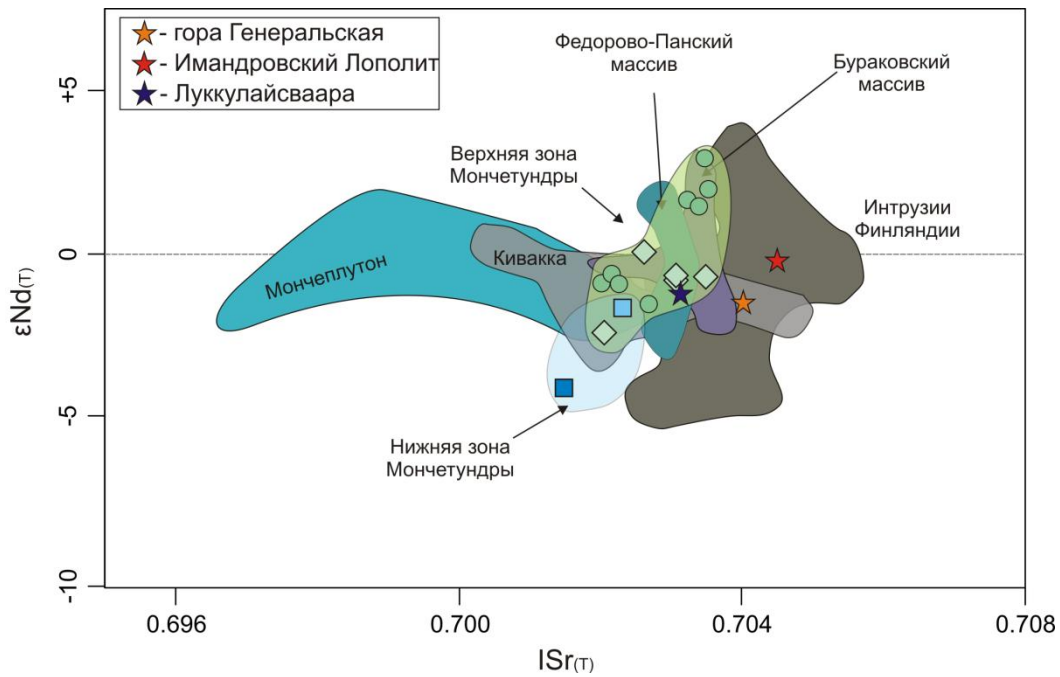


Рисунок 8. Диаграмма $\epsilon Nd(T)$ - $ISr(T)$ для палеопротерозойских массивов (2.5-2.4 млрд лет) Фенноскандинавского щита. Данные для массивов: Мончеплутон (Bayanova et al., 2009; Yang et al., 2016); Федорово-Панский массив (Bayanova et al., 2009); массив горы Генеральская (Balashov et al., 1993); Кивакка (Amelin, Semenov, 1996; Ревяко и др., 2012); Бураковский массив, Луккулайсваара (Amelin, Semenov, 1996); финские расслоенные интрузии (Bayanova et al., 2009; Bayanova et al., 2019; Mitrofanov et al., 2019).

Для определения степени вероятной коровой контаминации первичных расплавов пород массива Мончетундра была проведена выборка наименее измененных образцов: были исключены образцы с метаморфическими изменениями и рудные образцы пород нижней зоны. Также были исключены образцы метагаббро, происхождение которых является дискуссионным, и габбро-пегматиты. Положение точек составов пород массива на диаграмме $^{143}Nd/^{144}Nd$ -Nd (Рис. 9) и соотношение их с линиями смешения с составами пород Центрально-Кольского блока противоречиво. Установить единый контаминант для всех пород не представляется возможным. Низкие концентрации Nd и при этом менее радиогенный изотопный состав Nd в некоторых породах нижней зоны может указывать на контаминацию с палеоархейскими гнейсами при степени 3-4%. Два анализа пироксенитов и часть пород верхней зоны отражают минимальный вклад коровой компоненты, а для остальных пород ее степень редко превышает 20% и составляет в среднем 5-10% при использовании в качестве контаминанта неархейских пород Центрально-Кольского блока. Стоит отметить, что часть массивных габброноритов формируют область с высоким радиогенным изотопным составом Nd, характерную для дифференцированных пород, без коровой контаминации.

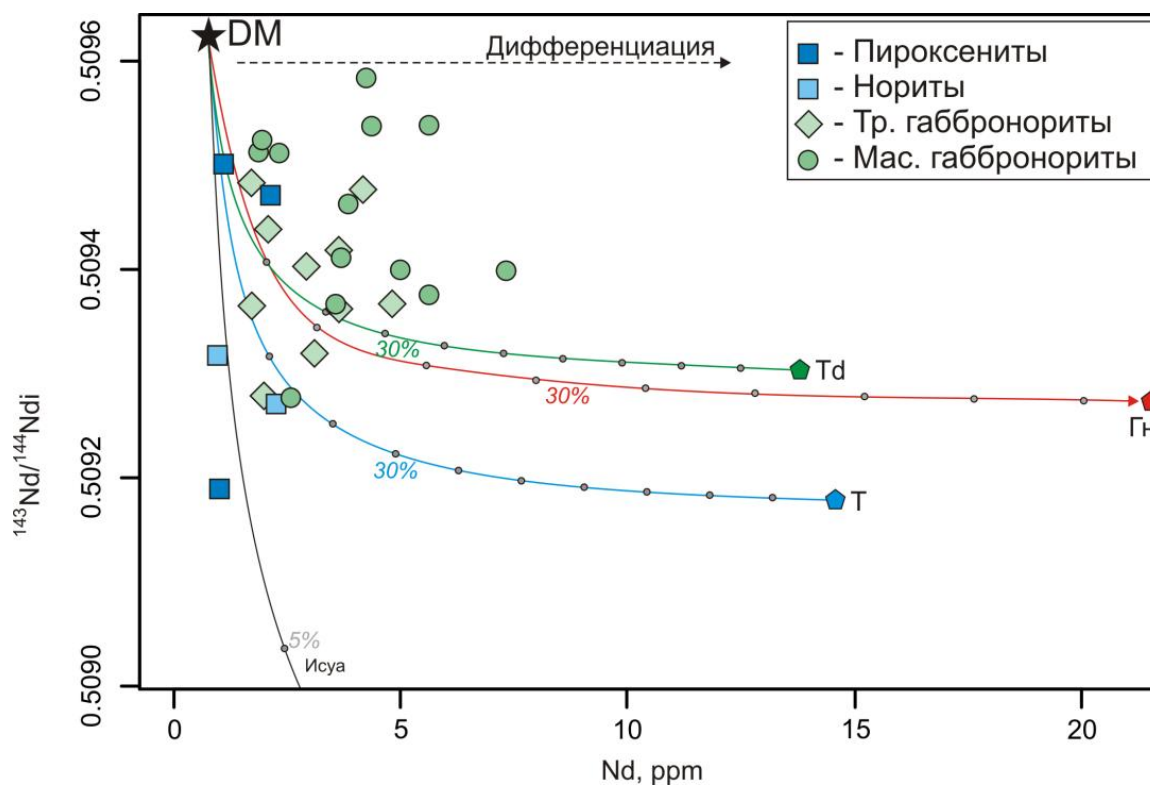


Рисунок 9. Диаграмма $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ – Nd для пород массива Мончетундра (с использованием литературных данных, указанных в Приложении 2). Линиями отмечены кривые простого двухкомпонентного смешения с коровыми породами. При построении линий были использованы уравнения 9.2 и 9.21 из (Фор, 1989). В качестве коровых контаминантов выбраны: зеленая линия (Td) – трондьемиты (Timmerman, Daly, 1995); красная линия (Гн) – гнейсы кольской серии (Мыскова, Милькевич, 2016); синяя линия (Т) – тоналиты (Timmerman, Daly, 1995); серая линия – палеоархейские гнейсы Исуа (Hamilton et al., 1983).

Таким образом, предполагаемая степень коровой контаминации в породах массива варьирует в пределах от 3% до 15%, при условии, что они произошли из деплетированного мантийного источника и ассимилировали вещество пород Центрально-Кольского блока. Однако при столь значительной степени контаминации должны проявляться изменения не только в составе редких и рассеянных элементов, но и в содержании петрогенных элементов (Puchtel et al., 1997). Следовательно, наиболее контаминированные образцы должны характеризоваться высокими $(\text{La}/\text{Sm})_n$ и низкими $(\text{Nb}/\text{Th})_n$ отношениями и при этом иметь повышенные содержания SiO_2 и пониженные FeO , MgO . В породах данных изменений не наблюдается (**Рис. 10**), и они формируют области с характерными составами для каждой группы, что наряду с низкими первичными значениями $\text{ISr}(\text{T})$ ставит под сомнение гипотезу о значительной коровой контаминации.

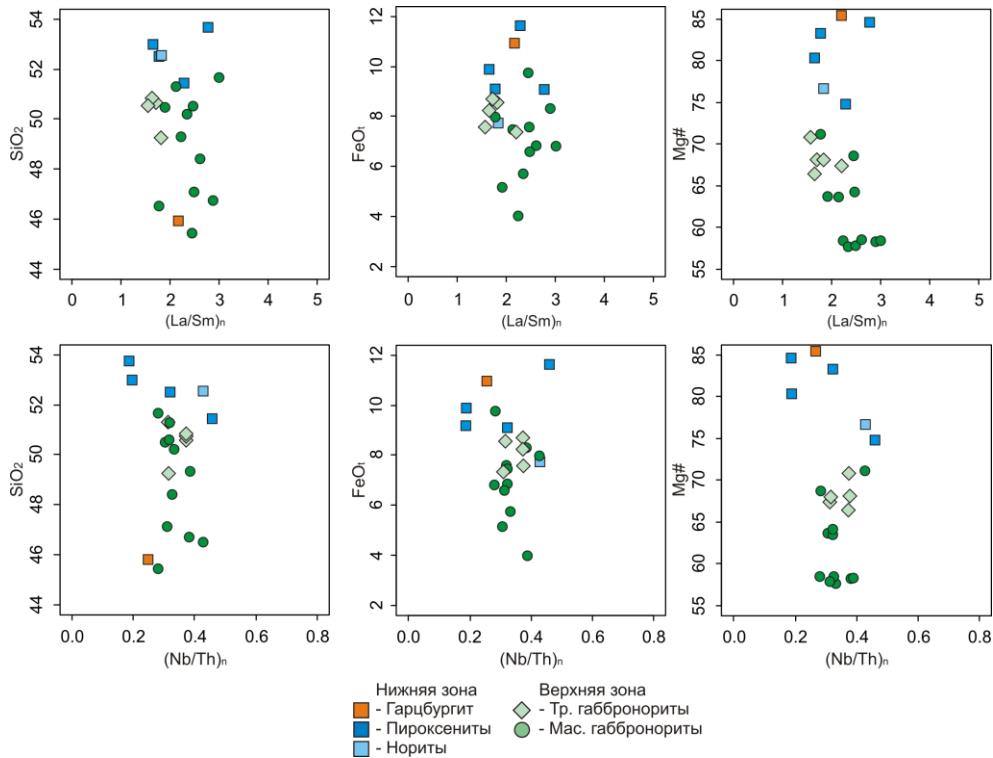


Рисунок 10. Диаграммы $\text{SiO}_2\text{-FeOt-Mg\#}$ относительно $(\text{La/Sm})_n$ и $\text{SiO}_2\text{-FeOt-Mg\#}$ относительно $(\text{Nb/Th})_n$ для пород массива Мончегундра.

Следует также отметить, что, по всей видимости, первичный состав источника был отличен от деплетированной мантии и моделирование процессов контаминации не отражает истинный вклад коровой компоненты. Таким образом, можно предположить, что породы массива произошли из более обогащенного источника относительно деплетированной мантии, и коровая контаминация, степень которой была не значительна, не являлась ключевым фактором в изменении первичного вещественного и изотопного состава исходного расплава. Наличие варьирующих изотопных Nd характеристик в породах может свидетельствовать о гетерогенности источника.

Третье защищаемое положение: *Исходные расплавы для пород нижней и верхней зон массива Мончегундра были сформированы при плавлении деплетированного (плюмового) и геохимически обогащенного (литосферной мантии) источников, о чем свидетельствуют обогащение LREE, Nb-Ta минимум, повышенные Th/Nb отношения и вариации $\epsilon\text{Nd}(T)$ от положительных до отрицательных.*

Помимо взаимодействия «плюм-континентальная кора», геохимические и изотопно-геохимические характеристики, типичные для палеопротерозойских интрузий Фенноскандинавского щита, могут быть получены в результате формирования родоначальных расплавов из литосферной мантии или при взаимодействии с ней более деплетированного мантийного источника (Смолякин и др., 2009; Егорова, 2022; Farmer, 2003; Maier, Groves, 2011; Pearce, Reagan, 2019).

На диаграмме Nb/Yb – Th/Yb (**Рис. 11А**) для пород массива Мончетундра Th/Yb и Nb/Yb отношения увеличиваются от трахитоидных габброноритов к массивным. Положение вариативных точек пироксенитов и гарцбургита находится между трахитоидными и массивными габброноритами, а точки норитов близки к трахитоидным габброноритам. Согласно работе (Pearce, Reagan, 2019) расположение точек пород массива на данной диаграмме соответствует положению между архейскими внутриплитными базитами, производными плюмовых источников, и протерозойскими внутриплитными базитами, производными литосферной мантией. Положение изученных пород массива Мончетундра может быть объяснено смешением плюмового вещества и вещества литосферной мантии в результате плавления. При этом более молодые породы, массивные габбронориты возраста 2.47 млрд лет, характеризуются более высокими Nb/Yb и Th/Yb отношениями.

На диаграмме TiO₂/Yb—Th/Yb (**Рис. 11Б**) положение точек для пород массива Мончетундра отвечает производным субдукционно-модифицированной литосферной мантии. Для пород нижней зоны характерен вертикальный тренд с сохранением значений TiO₂/Yb отношений. Для пород верхней зоны наблюдается горизонтальный тренд: при равных Th/Nb отношениях, в массивных габброноритах значение отношения TiO₂/Yb выше, чем в трахитоидных габброноритах. Подобные особенности характерны для трендов плавления пород, образованных в результате взаимодействия литосферных перидотитов и астеносферных расплавов, и пород богатых пироксеновыми фазами (Pearce et al., 2021, Appendix B2-3).

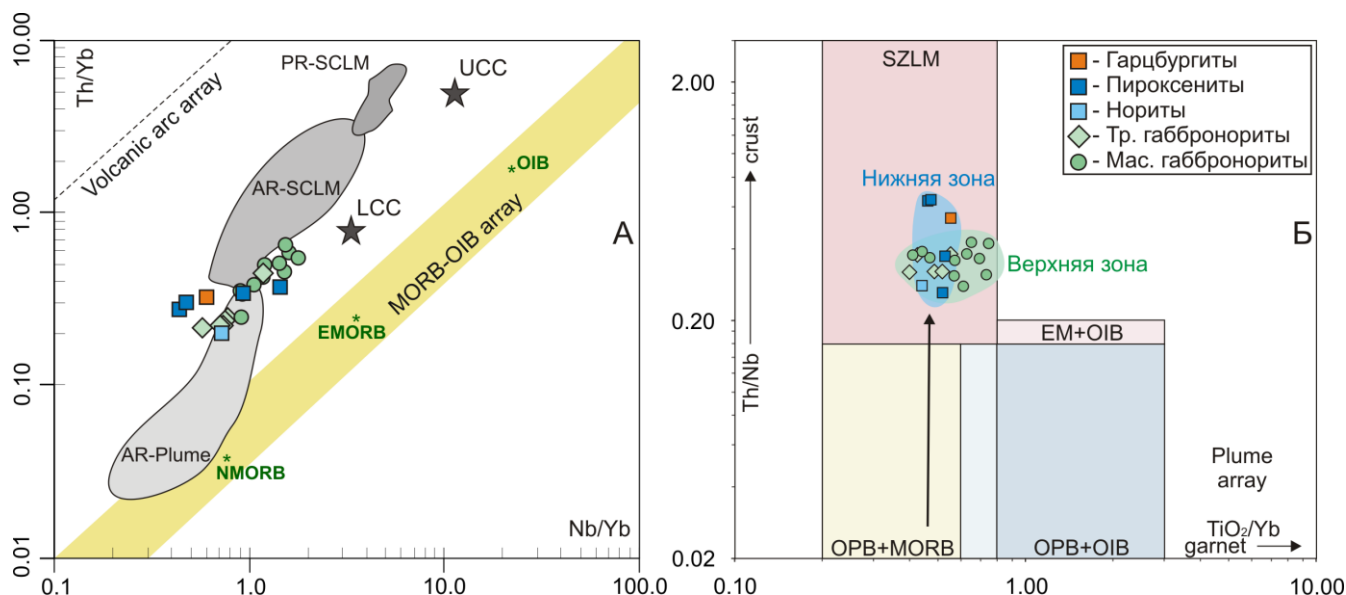


Рисунок 11. Диаграмма Nb/Yb-Th/Yb (Pearce, 2008; Pearce, Reagan, 2019) (А) и TiO₂/Yb-Th/Yb (Pearce et al., 2021) (Б) для пород массива Мончетундра. Звездами показаны составы для нижней (LCC) и верхней (UCC) континентальной коры согласно (Rudnik, Fountain, 1995); поля на диаграмме (А) согласно (Pearce, Reagan, 2019): AR-Plume – архейские внутриплитные базиты, производные плюмовыми источниками; AR-SCLM – архейские внутриплитные базиты, производные субконтинентальной литосферной мантией (СКЛМ); PR-SCLM – протерозойские внутриплитные базиты, производные СКЛМ. Аббревиатуры на диаграмме (Б): MORB – Mid-ocean ridge basalts – Базальты Срединно-океанических хребтов; OIB – Ocean island basalts – Базальты океанических островов; EM+OIB – Enriched mantle-rich OIB – Обогащенная мантия и

обогащенные OIB; OPB – Ocean plateau basalts – Базальты океанических плато; SZLM – Subduction-zone modified lithosphere mantle – Субдукционно-модифицированная литосферная мантия. Тренды *crust* – увеличение доли корового компонента в результате процессов субдукции или ассимиляции; *garnet* – увеличение доли остаточного расплава (обогащение мантийного компонента); *Plume array* – поле, характерное для плюмовых мантийных источников.

Суммировав полученные геохимические и изотопно-геохимические данные можно предположить следующую схему формирования массива Мончетундра: родоначальные расплавы для пород массива могли быть сформированы при плавлении деплетированного мантийного плюма и геохимически обогащенного источника - литосферной мантии, с последующей незначительной коровой контаминацией. Строение верхней зоны массива является результатом двухфазного внедрения базитовых магм. Более молодые массивные габбронориты верхней зоны возраста 2.47 млрд лет характеризуются более обогащенным вещественным составом, что, по всей видимости, связано с более длительным плюм-литосферным взаимодействием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Согласно новым комплексным геолого-петрологическим и изотопно-геохимическим исследованиям массив Мончетундра состоит из двух различных по составу зон, которые были сформированы в три временных этапа:

- нижняя зона, которая изучена по данным скважины МТ-70, представлена чередованием ортопироксенитов, плагиоортопироксенитов, норитов, а также гарцбургитов. Возраст формирования пород нижней зоны соответствует интервалу 2502-2496 млн лет. Породы данной зоны характеризуются варьирующими химическими и изотопно-геохимическими Nd-Sr составами, которые в некоторых случаях отражают наложенные изменения, связанные с метаморфизмом, поступлением рудоносных и, во время тектонических событий, флюидов.

- верхняя зона, представленная на дневной поверхности, по составу является преимущественно габброноритовой. На основании интерпретации геологических взаимоотношений и геохронологических U-Pb данных по циркону и бадделеиту устанавливаются две главные фазы: трахитоидные габбронориты (2507-2501 млн лет) и массивные габбронориты (2476-2471 млн лет). Возраст метаморфических преобразований пород вблизи локальных разломов соответствует 2.0 млрд лет. Массивные габбронориты характеризуются высоким содержанием Al_2O_3 , большим накоплением редких и редкоземельных элементов, что свидетельствует о происхождении пород второй фазы из более обогащенного исходного расплава по сравнению с породами первой, что, по всей видимости, связано с длительным плюм-литосферным взаимодействием.

- на заключительном этапе становления массива, согласно геологическим и геохронологическим данным (2456-2445 млн лет), формировались лейкогабброноритовые и габбро-анортозитовые пегматоидные породы,

сингенетичные гнездовые и жильные габбро-пегматиты, которые локализуются как в верхней, так и нижней зонах.

2. Породы верхней зоны отличаются от пород нижней зоны главным образом более высокими содержаниями CaO , Al_2O_3 , Na_2O и низким FeO , повышенными концентрациями высокозарядных и большинства крупноионных элементов. При этом характеризуются схожими геохимическими характеристиками, такими как наличие Nb-Ta, Zr-Hf минимумов и Sr максимума, обогащение легкими РЗЭ, а также близкими величинами изотопных Nd-Sr характеристик, что предполагает их формирование из сходных по составу источников.

3. Родоначальные расплавы для пород массива были сформированы при плавлении деплетированного мантийного источника и литосферной мантии с последующей незначительной коровой контаминацией.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. **Kunakkuzin, E.**; Borisenko, E.; Nerovich, L.; Serov, P.; Bayanova, T.; Elizarov, D. The Origin and Evolution of Ore-Bearing Rocks in the Loypishnun Deposit (Monchetundra Massif, NE Fennoscandian Shield): Isotope Nd-Sr and REE Geochemical Data. *Minerals*, 2020, 10, 286.
2. **Кунаккузин Е.Л.**, Баянова Т.Б., Нерович Л.И., Борисенко Е.С., Серов П.А., Елизаров Д.В. Новые Nd-Sr изотопно-геохимические исследования пород палеопротерозойского ЭПГ-содержащего массива Мончетундра (Фенноскандинавский щит) // Вестник МГТУ, 2015. Т. 18. № 2. С. 269-279.
3. **Кунаккузин Е.Л.**, Серов П.А., Баянова Т.Б., Нерович Л.И., Борисенко Е.С. Палеопротерозойский расслоенный ЭПГ-содержащий массив Мончетундра (Кольский полуостров): датирование Sm-Nd методом времени метаморфических преобразований основных пород // Доклады Академии наук, 2015. Т. 464. № 1. С. 71-74.
4. Борисенко Е.С., Баянова Т.Б., Нерович Л.И., **Кунаккузин Е.Л.** Палеопротерозойский базитовый массив Мончетундра (Кольский п-ов): новые геологические и геохронологические данные // Доклады Академии Наук, 2015, том 465, № 1, с. 68-72.

Материалы конференций:

1. **Кунаккузин Е.Л.**, Баянова Т.Б., Борисенко Е.С., Серов П.А., Елизаров Д.В. Изотопно-геохимические особенности базитов массива Мончетундра (Кольский полуостров) на основе новых Sm-Nd и Rb-Sr данных // Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского, 16-20 февраля 2015 г., Санкт-Петербург, ФГУП «ВСЕГЕИ», с. 444-447.
2. **Кунаккузин Е.Л.**, Серов П.А., Баянова Т.Б., Борисенко Е.С., Нерович Л.И. Возраст формирования трахитоидных габброноритов палеопротерозойского ЭПГ-содержащего массива Мончетундра (Фенноскандинавский щит): новые Sm-Nd данные // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты,

подходы и перспективы. Материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии. 2-5 июня 2015 г., Санкт-Петербург, ИГГД РАН. – СПб: Springer, 2015, с. 146 – 148.

3. Нерович Л.И., Баянова Т.Б., **Кунаккузин Е.Л.**, Базай А.В., Некипелов Д.А. Новые результаты геолого-петрографического и петрогеохимического изучения расслоенного массива Ярва-варака (Мончегорский рудный район)// XII Всероссийская (с международным участием) Ферсмановская научная сессия, посвященная 80-летию со дня рождения академика РАН Ф.П. Митрофанова, 6-7 апреля 2015 г., Апатиты, с. 141-146.

4. **Kunakkuzin E.L.**, Bayanova T.B., Nerovich L.I., Borisenko E.S., Serov P.A. Isotope-geochemical features of the Paleoproterozoic PGE-bearing Monchetundra massif mafic rocks (Fennoscandian shield)// Large Igneous Provinces, Mantle Plumes and Metallogeny in the Earth`s History (Abstract Volume). – Irkutsk: Publishing House of V.B. Sochava institute of Geography SB RAS, 2015, p. 78-80.

5. Nerovich L.I., Bayanova T.B., Borisenko E.S., Serov P.A, **Kunakkuzin E.L.** Dikes titaniferous dolerites of the Moncha Tundra massif – the real reflection of the composition of the paleoproterozoic plume Kola region// Large Igneous Provinces, Mantle Plumes and Metallogeny in the Earth`s History (Abstract Volume). – Irkutsk: Publishing House of V.B. Sochava institute of Geography SB RAS, 2015, p. 88-91.

6. **Evgeniy Kunakkuzin**, Elena Borisenko, Tamara Bayanova, Lydmila Nerovich, Pavel Serov, and Dmitry Elizarov Paleoproterozoic PGE-bearing Monchetundra massif (Fennoscandian shield): isotope-geochemical Nd-Sr features of the mafic rocks// Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-5440, 2016, EGU General Assembly 2016.

7. **Kunakkuzin E.L.**, Bayanova T.B. , Nerovich L.I. , Borisenko E.S. , Serov P.A. Isotope-geochemical Nd-Sr features of the paleoproterozoic PGE-bearing Monchetundra massif mafic rocks (Fennoscandian shield)// The 8th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference (13-24 June 2016, Novosibirsk, Russia). IGM SB RAS, IPPG SB RAS, NSU: Novosibirsk. 2016, P. 97-99.

8. **Kunakkuzin E.L.**, Bayanova T.B., Nerovich L.I., Borisenko E.S., Serov P.A.. Mantle sources of the paleoproterozoic PGE-bearing Monchetundra massif mafic rocks (Fennoscandian shield) // Ultramafic-mafic complexes:geology, structure, ore potential: materials of V International conference. – Ulan-Ude: Buryat State University Publishing Department (Gremyachinsk, 2-6 september 2017). P.314-315.

9. **Кунаккузин Е.Л.**, Серов П.А., Борисенко Е.С., Баянова Т.Б., Нерович Л.И. Изотопный состав Nd в породообразующих минералах главных разновидностей пород массива Мончетундра (северо-восток Фенноскандинавского щита) // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии. Материалы XXIX молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца и академика РАН Ф.П. Митрофанова, г. Петрозаводск, 1–5 октября 2018 г. / ред. кол. Садовничий Р.В., Медведев А.С., Рыбникова З.П. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. – С. 66-69.

10. Борисенко Е.С., Тележкин А.А., Еременко Е.Г., **Кунаккузин Е.Л.** Ассоциация минералов платиновой группы в базитах юго-восточной части массива Мончетундра // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии. Материалы XXIX молодежной научной школы-конференции,

посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца и академика РАН Ф.П. Митрофанова, г. Петрозаводск, 1–5 октября 2018 г. / ред. кол. Садовничий Р.В., Медведев А.С., Рыбникова З.П. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. – С. 159-161.

11. **Кунаккузин Е.Л.**, Борисенко Е.С., Серов П.А., Елизаров Д.В., Баянова Т.Б., Нерович Л.И. Геохимические особенности пород месторождения Лойпишнюн, массив Мончетундра (северо-восточная часть Фенноскандинавского щита)// Этапы формирования и развития протерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика. Материалы VI Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия. Санкт-Петербург, ИГГД РАН. СПб: «Свое издательство», 2019, с. 128-130.

12. **Кунаккузин Е.Л.**, Борисенко Е.С., Серов П.А., Елизаров Д.В., Баянова Т.Б., Нерович Л.И. Геохимические (Nd-Sr и REE) особенности пород нижней части разреза массива Мончетундра (Фенноскандинавский щит)// XXII Симпозиум по геохимии изотопов имени академика А.П.Виноградова (29-31 октября 2019 года). Тезисы докладов./ М: ГЕОХИ РАН, 2019, с. 57.