

На правах рукописи



Грошев Николай Юрьевич

**ДВУХФАЗНЫЙ ПЛАТИНОНОСНЫЙ МАССИВ ФЕДОРОВОЙ ТУНДРЫ
(КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ):
ГЕОЛОГИЯ И ТИПЫ МАЛОСУЛЬФИДНОГО ЭПГ-ОРУДЕНЕНИЯ**

25.00.11 - геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых,
минералогия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Апатиты – 2010

Работа выполнена в Геологическом институте
Кольского научного центра РАН (ГИ КНЦ РАН)

Научный руководитель:
академик РАН
Митрофанов Феликс Петрович

Официальные оппоненты:
доктор геолого-минералогических наук
Шарков Евгений Витальевич (ИГЕМ РАН)

доктор геолого-минералогических наук
Лихачев Александр Петрович (ЦНИГРИ РАН)

Ведущая организация: Институт геологии Карельского научного
центра РАН (г. Петрозаводск)

Защита состоится « 26 » января 2011 года в 11⁰⁰
на заседании Диссертационного совета Д 002.122.02 при Институте
геологии рудных месторождений РАН по адресу: 119017 г. Москва,
Старомонетный пер., д.35

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГЕМ РАН

Автореферат разослан « 21 » декабря 2010 года

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук



Тарасов Н.Н.

Введение

Актуальность исследований. Большая часть мировых ресурсов элементов платиновой группы (ЭПГ) сосредоточена в малосульфидных месторождениях (Додин и др., 1999; Naldrett, 2010), локализованных преимущественно в расслоенных базит-гипербазитовых массивах. За последнее десятилетие в раннепротерозойских расслоенных массивах Кольского региона разведаны и поставлены на государственный баланс четыре месторождения, выявлены десятки малосульфидных рудопроявлений платиновых металлов. Для отработки карьерами подготовлено крупнейшее на территории Фенноскандинавского щита Федоровотундровское месторождение ЭПГ (с Cu и Ni) контактового типа (Schissel et al., 2002; Корчагин, Митрофанов, 2008). Месторождение приурочено к одноименному двухфазному базит-ультрабазитовому массиву. Ранее считалось (Дубровский, Рундквист, 2008), что платинометальное оруденение в массиве Федоровой тундры связано с породами второй фазы его внедрения, первая же фаза рассматривалась как безрудная и бесперспективная. В связи с обнаружением рудопроявлений ЭПГ рифового типа в породах первой фазы возникает необходимость в пересмотре описательной геологической модели массива, разрез которого долгое время интерпретировался (Докучаева, 1994; Schissel et al., 2002 и др.) как часть разреза единого Федорово-Панского интрузива (сейчас Федорово-Панского комплекса).

Цель и задачи работы. Целью работы являлось уточнение геологического строения массива Федоровой тундры в рамках модели, предусматривающей его образование как самостоятельного интрузива, содержащего ЭПГ-оруденение различных типов, связанных с двумя интрузивными фазами.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Определить особенности геологического строения массива на представительных детальных участках и установить границы и геологические соотношения между двумя фазами внедрения.
2. Изучить разрез массива Федоровой тундры с использованием данных о кумулусных минеральных парагенезисах в породах.
3. Определить петрографические и геохимические особенности пород различных фаз внедрения.
4. Верифицировать изотопно-геохронологические U-Pb данные по массиву за счет получения новых датировок.
5. Определить геохимические и минералогические особенности ЭПГ-оруденения и выделить его типы.

Фактический материал и методы исследования.

В основу работы положены результаты исследований автора по геологии, петрографии, геохимии и минералогии пород и ЭПГ-оруденения массива Федоровой тундры, полученные в период 2006-2010 гг. при выполнении совместно с ОАО «Пана» и ЗАО «Федорово Ресорсес» разведочных работ на Федоровотундровском месторождении и собственных тематических исследований массива в целом.

При написании работы использован фактический материал, полученный лично автором. В масштабе 1:10000 закартировано 30 пог. км разреза массива, проведено детальное картирование на 4 участках в масштабе 1:100, задокументировано более 11000 пог. м керн разведочных скважин и 60 м борозд, построены карты и разрезы. Изучено 1500 шлифов, 549 аншлифов. В работе использован большой объем новых аналитических данных: около 100 определений полного химического состава пород, 15 определений редких и редкоземельных элементов (РЗЭ), 200 анализов на ЭПГ, Cu, Ni и S, 1800 определений состава минералов платиновых металлов (МПМ) на электронном микроскопе, 250 анализов минералов на микрозонде, а также определения концентраций U, Pb и соотношений изотопов в 17 фракциях цирконов. Кроме этого, автору была предоставлена возможность ознакомления с базой данных по месторождению в формате MS Access, содержащей первичную геологическую информацию о 547 разведочных скважинах и около 100 тыс. анализов на Au, Pt, Pd, Cu и Ni.

Аналитические исследования выполнялись преимущественно в профильных лабораториях ГИ КНЦ РАН (г. Апатиты). Полный силикатный анализ пород и руд выполнен в химико-аналитической лаборатории (зав. лаб. Л.И.Константинова). Определения ЭПГ и Au проводились атомно-абсорбционным методом в лаборатории анализа благородных металлов (зав. лаб. Л.В.Филиппычева). Электронно-микроскопические (Leo-1450) и микрозондовые (MS-46 Cameca) исследования выполнены в лаборатории физических методов исследования пород, руд и минералов (аналитик Е.Э.Савченко). Изотопные измерения – в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии (зав. лаб. Т.Б.Баянова) на масс-спектрометре Finnigan MAT-262. Анализ на полный спектр редких элементов, в том числе РЗЭ, выполнен методом ICP-MS в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск).

При описании кумулатов использованы следующие обозначения минералов: o – оливин, p – плагиоклаз, b – энстатит, a – авгит. Кумулятивные и интеркумулятивные минералы разделяются литерой C, для упрощения минералы интеркумулуса иногда не приводятся.

Научная новизна. Полученные в результате исследований данные позволили уточнить модель геологического строения массива, в котором были выделены расслоенная и краевая серии пород. Показано, что массив является самостоятельным интрузивом со свойственным только ему геологическим строением и характером ЭПГ-оруденения. Установлено, что абсолютный возраст пород расслоенной серии (первой фазы) интрузива является самым древним среди массивов Федорово-Панского комплекса и укладывается в интервал 2526 ± 6 – 2507 ± 11 млн. лет. Установлен временной интервал кристаллизации пород краевой серии (второй фазы): 2493 ± 8 – 2485 ± 9 млн. лет. Уточнен состав магм для первой и второй фаз внедрения массива. Показан характер распределения петрогенных, рудогенных и редкоземельных элементов по разрезу массива.

В расслоенной серии определен ряд новых стратиграфических единиц с тонким ритмичным переслаиванием пород, в двух из них установлены повышенные и

высокие содержания ЭПГ (С- и Н-риффы). Таким образом, выделен новый для массива рифовый тип ЭПГ-оруденения.

Практическая значимость работы определяется самим объектом исследования – расслоенным массивом, краевая серия которого вмещает промышленное месторождение ЭПГ. Полученные в диссертации результаты частично вошли в отчет, представленный владельцами лицензии на месторождение в ГКЗ. Одним из важнейших прямых практических результатов является выделение рифового типа малосульфидного ЭПГ-оруденения, целенаправленные поиски которого в массиве рассматриваются как перспективные.

Защищаемые положения.

1. В двухфазном базит-ультрабазитовом массиве Федоровой тундры выделяются две серии пород: *расслоенная*, слагающая его центральную часть, и *краевая*, расположенная в его нижней приконтактной части. В *расслоенной серии* развито линзовидно-ритмичное грубое и тонкое чередование пород. На основании кумулюсных минеральных парагенезисов она подразделяется на ультрамафитовую (bC, boC), нижнюю базитовую (rabC и pC) и верхнюю базитовую зоны (pC). *Краевая серия*, вмещающая Федоровогундровское Cu-Ni-платинометальное месторождение, является эруптивной брекчией с обломками ультрамафитов *расслоенной* серии и матрицей рудоносных такситовых габброноритов.

2. Совокупность геологических, геохимических и геохронологических данных позволяет считать, что *расслоенная* серия есть результат кристаллизации магмы первой интрузивной фазы (2526 ± 6 – 2507 ± 11 млн. лет), а *краевая* серия – второй интрузивной фазы массива (2493 ± 8 – 2485 ± 9 млн. лет). Магма второй фазы отличается от первой более примитивным химическим составом и более высокими содержаниями рудогенных компонентов (Cr, Cu, Ni). Различия между магмами подтверждаются данными о распределениях РЗЭ в породах.

3. В массиве развито два типа малосульфидного ЭПГ-оруденения: рифовое и контактное. Оруденение этих типов различается по своей геологической позиции, возрасту, геохимическим особенностям и вещественному составу. Рифы, являясь более древними, приурочены к определенным стратиграфическим единицам *расслоенной* серии. Они характеризуются высокими отношениями Pt/Pd (0.7 – 1.2) и отличными от контактного оруденения минеральными ассоциациями МПМ – арсенидной (С-риф) и сульфид-интерметаллидной (Н-риф). Более молодое контактное оруденение неравномерно распределено в породах *краевой* серии и характеризуется низкими отношениями Pt/Pd (0.2) и сульфид-висмутотеллуридной минеральной ассоциацией МПМ.

Публикации и апробация работы. По теме кандидатской диссертации в виде статей и тезисов конференций опубликовано 10 научных работ.

Результаты исследований докладывались и были представлены на научных конференциях памяти чл.-корр. К.О. Кратца (Петрозаводск, 2006, 2009; Апатиты 2008; Санкт-Петербург, 2010), на всероссийской научной конференции, посвященной 90-летнему юбилею члена-корреспондента РАН Г.И. Горбунова (Апатиты, 2008), на

международном совещании в рамках проекта "Стратегические минеральные ресурсы – основа устойчивого развития севера" (Рованиemi, Финляндия, 2008).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 108 наименований. Общий объем работы составляет 161 машинописная страница, включая 68 рисунков и 15 таблиц в тексте.

Благодарности. Автор считает своим приятным долгом выразить глубокую благодарность к.г.-м.н. Т.В. Рундквист и к.г.-м.н. П.В. Припачкину – без их помощи и поддержки выполнение диссертационной работы было бы невозможным. Значительная часть фактического материала получена при сотрудничестве с ОАО «Пана», возглавляемого к.г.-м.н. А.У. Корчагиным, с любезного разрешения которого этот материал был собран. В ходе работы автор имел возможность пользоваться ценными советами и консультациями к.г.-м.н. В.В. Субботина, д.г.-м.н. А.В. Волошина, к.г.-м.н. С.М. Карпова, к.г.-м.н. Н.Н. Веселовского, к.г.-м.н. М.И. Дубровского, д.г.-м.н. В.В. Балаганского, к.г.-м.н. Г.Л. Вурсия, к.г.-м.н. В.Р. Ветрина, д.г.-м.н. А.А. Арзамасцева, к.г.-м.н. Ю.Н. Нерадовского, д.г.-м.н. Ю.Л. Войтеховского, д.г.-м.н. Т.Б. Баяновой, В.В. Борисовой, к.г.-м.н. Е.А. Ниткиной, к.г.-м.н. П.А. Серова, к.г.-м.н. Д.А. Габова. Неоценимую помощь в проведении полевых работ и при обработке материалов оказали А.В. Чернявский, А.А. Тележкин, Л.С. Костенко, Г.И. Соколов, Л.И. Коваль, В.М. Rogozin, А.Ф. Трошков.

При выполнении исследований и подготовке диссертации автору постоянно оказывал разнообразную и действенную помощь научный руководитель – академик Ф.П. Митрофанов, которому автор выражает глубокую и искреннюю признательность.

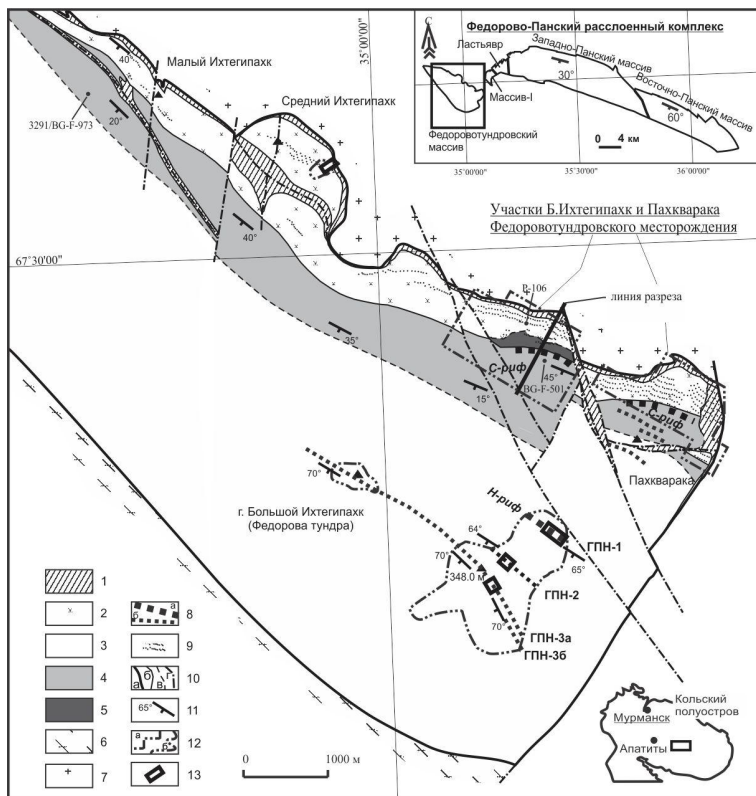
Исследования выполнялись при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 07-05-00956, офи-а № 05-05-08208, офи-м № 09-05-12028), НШ–1413.2006.5 и Государственного контракта с Федеральным агентством по науке и инновациям (№ 02.445.11.7403, № 02.515.11.5089).

Общая характеристика геологического положения и история изучения массива Федоровой тундры

Массив Федоровой тундры находится в центральной части Кольского полуострова и является самым западным интрузивом Федорово-Панского расслоенного комплекса (рис. 1). Он сложен породами преимущественно основного состава и представляет собой тело клиновидной формы, простирающееся в северо-западном направлении и падающее на юго-запад. С северо-востока он граничит с архейскими гранито-гнейсами, с юго-запада – с метавулканитами зоны Имандра-Варзуга. Обе границы массива являются тектонизированными. С северо-запада на юго-восток его видимая мощность изменяется от нескольких сотен метров до 6 км, площадь массива около 45 км².

С 30-х по 80-е гг. XX века в пределах массива проводились геологоразведочные работы на никель («никелевый» этап изучения), в результате которых в придонных его частях выявлена непромышленная вкрапленность

сульфидов меди и никеля. В 80-е гг. по инициативе Геологического института КНЦ работы были переориентированы на ЭПГ («платинометальный» этап изучения). В 2001-2007 гг. ЗАО «Федорово Ресурсес» совместно с ОАО «Пана» проводит поисково-оценочные и разведочные работы на участках Большой Ихтегипахк и Пахкварака (пробурено 417 скважин - 99,8 тыс. пог. м). В 2008 г. запасы, составляющие несколько сотен тонн благородных металлов, были поставлены на госбаланс.



1 – базиты, метаморфизованные вдоль разломов; 2 – краевая серия (такситовые нориты и габбронориты); 3-5 - расщепленная серия: 3 – верхняя базитовая зона (рС), 4 – нижняя базитовая зона (рС и рабС); 5 – ультрамафитовая зона (бС и воС); 6 – метавулканы зоны Имандра-Варзуга; 7 – архейский фундамент; 8 – уровни развития кумулатов роС и оС; 9 – минерализованных ЭПГ (рифты), 6 - не минерализованных; 9 – контактовое ЭПГ-оруденение; 10а – контур массива, 10б – границы пород, 10в – предполагаемая граница между нижней и верхней базитовыми зонами, 10г - разломы; 11 – залегание расщепленности; 12 – контуры наиболее изученных частей массива: детально разбуренные (а) и хорошо обнаженные площади (б), 13 - участки детального картирования.

Рис. 1. Геологическая карта-схема массива Федоровой тундры. Составлена автором на базе карты ОАО «Пана» (1998)

В течение «никелевого» этапа в строении массива выделялись три основных зоны (рис. 2): нижняя зона, сложенная (такситовыми) норитами и габброноритами с сульфидной вкрапленностью, средняя зона с развитым в ней грубым чередованием габброноритов и габбро и верхняя наиболее мощная зона, в которой преобладают лейкогаббро, встречаются лабрадориты. Исследователи отмечали, что в нижней зоне широко распространены угловатые и округлые обломки ультрамафитов (от ортопироксенитов до гарцбургитов). Считалось, что эти ультрамафиты представляют собой обломки кристаллизатов ранней фазы внедрения массива. Базиты, слагающие три основные зоны массива, относились к более поздней интрузивной фазе.

Геологоразведочными работами «платинометального» этапа установлено, что с сульфидной вкрапленностью (1-2 об. % сульфидов) в нижней зоне связаны повышенные содержания ЭПГ. Оказалось, что промышленных значений концентрации ЭПГ и мощности минерализованных интервалов достигают на тех участках нижней зоны, на которых вблизи ее верхней границы отмечаются кучные скопления особенно крупных обломков ортопироксенитов (до 100 м, участок Большой Ихтегипакх). Этот факт был интерпретирован в ключе установления стратиграфического контроля богатого оруденения, и в строении массива стали выделять пять развитых практически на всем его протяжении зон (рис. 2): 1) краевая зона мощностью до 100 м, сложенная метаморфизованными базитами; 2) зона такситовых габброноритов (250-300 м), содержащая ЭПГ-оруденение; 3) норитовая зона (до 200 м), 4) габброноритовая зона (200-800 м), 5) габбровная зона, слагающая большую часть массива (Schissel et al., 2002). В дальнейшем мы будем рассматривать представления о пятизонном строении массива как модель «платинометального» этапа.

Модель «платинометального» этапа была применена к массиву Федоровой тундры на основании недоказанного положения о том, что он является блоком единого Федорово-Панского интрузива, предполагаемый ненарушенный разрез которого состоит из тех же пяти зон. Эта модель содержит ряд противоречий с реально наблюдаемыми фактами. Рассмотрим главные из них, начиная с верхних частей разреза массива. Верхняя, габбровная зона, сложенная, согласно (Schissel et al., 2002), кумулатами раС, в действительности (и это видно уже из описания разреза в «никелевый» этап) состоит из лейкократовых базитов, которые априори являются кумулатами рС. Проведенное нами изучение разреза подтвердило этот очевидный факт. Из рассматриваемой модели следует, что средняя, габброноритовая зона, состоящая из *габброноритов раС*, подстилается породами норитовой зоны. Однако, по данным детальных разрезов на ключевом участке массива, в месте обнаружения нового уровня ЭПГ-оруденения (С-рифа), рифовые породы, залегающие на толще «норитов», всегда сменяются выше по разрезу не габброноритами раС, а слоем лейкогаббро рС мощностью около 80 м. Это согласуется с разрезом массива в «никелевый» этап изучения – средняя его часть описывалась тогда, как чередование лейкогаббро и габброноритов.

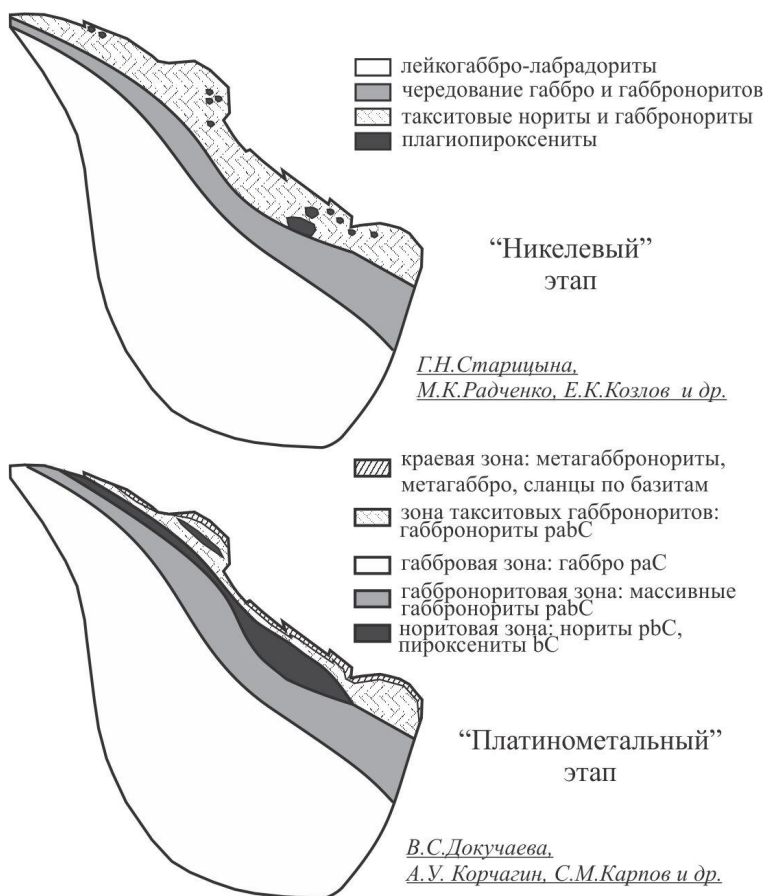


Рис. 2. Обобщенные схемы строения массива Федоровой тундры, отвечающие разным этапам его изучения

Нижние части массива по «платинометалльной» модели, в отличие от представлений исследователей предыдущего этапа, расслоены на три зоны (рис. 2). Изучение дублирующих друг друга разведочных скважин различных лет показало, что при расчленении разреза была допущена петрографическая неточность – ортопироксениты с 1996 по 2003 гг. назывались норитами, дав имя норитовой зоне массива. Это привело к тому, что среди такситовых базитов нижней краевой толщи была выделена «стратиграфическая» норитовая зона, проведенная по пироксенитам, которые в большинстве своем являются обломками (рис. 2). Кроме этого, по данным детальных разрезов выделяемая в «платинометалльной» модели краевая зона отличается от

перекрывающей ее толщи такситовых габброноритов лишь приконтактовым метаморфизмом пород, связанным с наложенной тектоникой. На это обращали внимание еще финские геологи, которые в своих кратких описаниях массива объединяли эти зоны в мощную краевую серию (Alapieti and Lahtinen, 2002).

Указанные противоречия исчезают, если рассматривать массив как самостоятельный интрузив и использовать при интерпретации новых данных уточненную модель «никелевого» этапа.

Изотопно-геохронологические U-Pb исследования цирконов показали, что абсолютный возраст пироксенитов составляет 2526 ± 6 млн. лет, возраст габбро - 2516 ± 7 млн. лет, возраст оруденелых габброноритов - 2485 ± 9 млн. лет (Ниткина, 2006). Эти данные позволили исследователям иначе сформулировать высказывавшиеся ранее представления о многофазности массива: к первой интрузивной фазе были отнесены породы трех верхних зон, ко второй - породы двух нижних зон «платинометальной» модели (Дубровский, Рундквист, 2008). Предлагаемая нами модель строения массива более точно определяет границы и взаимоотношения двух интрузивных фаз.

Обоснование защищаемых положений

1. В двухфазном базит-ультрабазитовом массиве Федоровой тундры выделяются две серии пород: *расслоенная*, слагающая его центральную часть, и *краевая*, расположенная в его нижней приконтактовой части. В *расслоенной серии* развито линзовидно-ритмичное грубое и тонкое чередование пород. На основании кумулюсных минеральных парагенезисов она подразделяется на ультрамафитовую (bC, boC), нижнюю базитовую (rabC и pC) и верхнюю базитовую зоны (pC). *Краевая серия*, вмещающая Федоровотундровское Cu-Ni-платинометальное месторождение, является эруптивной брекчией с обломками ультрамафитов *расслоенной серии* и матрицей рудоносных такситовых габброноритов.

В любом крупном интрузиве должны возникать две группы первичных структур: 1) краевая серия пород, связанная с охлаждением тела у контакта, и 2) центральная (расслоенная) серия пород, связанная с затвердеванием внутренних частей тела. Расслоенная и краевая серии отличаются тем, что в первой кристаллизация происходит на фронте кристаллизации, на всем протяжении которого температура в некоторый выделенный интервал времени практически не изменяется, а во второй расплав находится в поле резких температурных градиентов, обусловленных близостью к вмещающим породам, морфологией контактовой поверхности и наличием ксенолитов. Следствием этой разницы в процессе кристаллизации будут текстурно-структурные отличия пород *расслоенной* и *краевой* серий: для первых будет характерно равномернозернистое сложение пород, для вторых – широкие колебания зернистости, структурная такситовость.

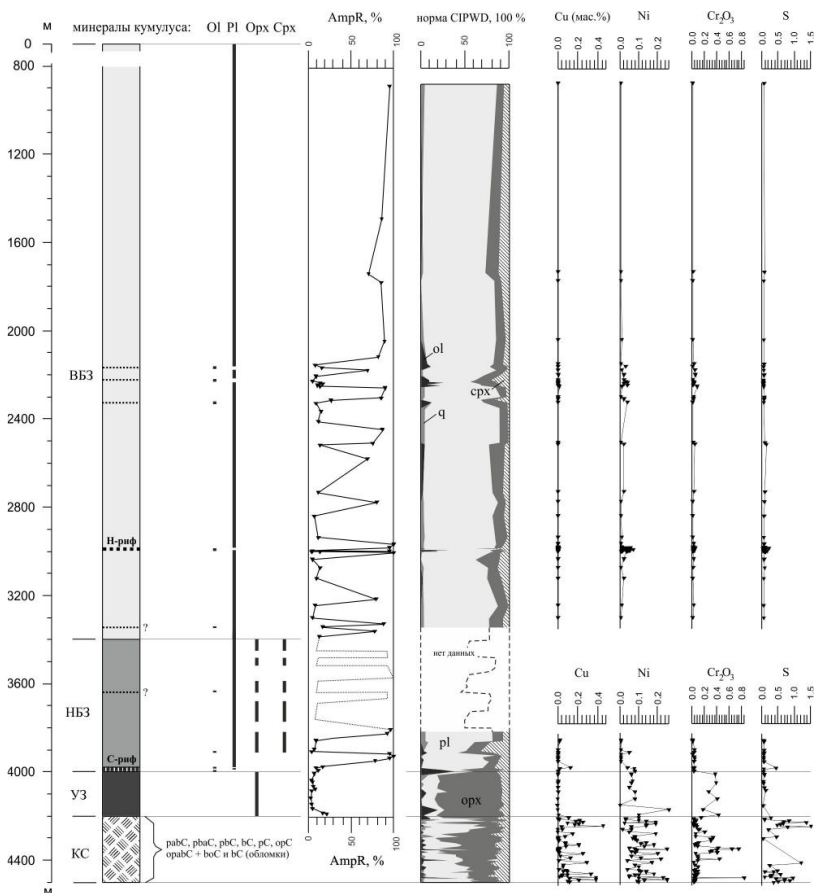


Рис. 3. Стратиграфическая колонка расслоенной серии, вариации нормативного состава пород и содержаний рудогенных элементов и серы по разрезу массива (участок Большой Ихтегипахк)

$AmpR = Amp \times 100 / (Amp + Orx + Crx)$ - степень амфиболизации пироксенов, %; КС – краевая серия.

Выделяемая сейчас **расслоенная серия** массива Федоровой тундры состоит из трех зон (рис. 1, рис. 3): ультрамафитовой, нижней базитовой и верхней базитовой. Зоны названы согласно петрохимическому составу преобладающих пород и выделяются по наиболее распространенным кумулюсным минеральным парагенезисам.

Ультрамафитовая зона (УЗ) представляет собой линзу ортопироксенитов bC, прослеженную бурением по простиранию примерно на 1 км (участок Большой Ихтегипахк). Непосредственно под этой линзой, а также по всему простиранию

краевой серии в такситовых габброноритах встречаются обломки таких же пироксенитов, помимо которых также отмечаются оливиновые пироксениты bC и гарцбургиты boC. По-видимому, обломки и линза ультрамафитов являются останцами когда-то единого сложенного породами ряда пироксенит-гарцбургит слоя, который в настоящее время практически полностью переработан внедрением магмы второй фазы. По данным детальных разрезов мощность этого слоя можно оценить в 200 – 250 м.

Нижняя базитовая зона (НБЗ) сложена мезо-лейкокатровыми габбро pC и мезократовыми габброноритами rabC, которые образуют грубое линзовидно-ритмичное чередование при мощности отдельных слоев от первых метров до нескольких десятков метров. Мощность зоны изменяется от 100 м на северо-западе до 700 – 800 м на юго-востоке массива. Резко подчиненное значение в НБЗ имеют прослои кумулатов oabC, oC и poC. Их положение в разрезе зоны изучено недостаточно. Исключением является основание НБЗ в месте ее контакта с УЗ, где был выявлен «слой» тонкого (слои от 0.3 до 2 м) линзовидно-ритмичного чередования гарцбургитов oC, троктолитов oC и poC, лейкогабброноритов и лейкогаббро pC, выделяемый как переходная подзона НБЗ (рис. 4). С породами подзоны связан новый обогащенный ЭПГ уровень – С-риф. Переходная подзона перекрыта мощным слоем (80 м) мезо-лейкокатрового габбро pC, выше которого развито определяющее НБЗ грубое чередование кумулатов rabC и pC.

Исчезновение из разреза тройных кумулатов rabC (рис. 3) маркирует переход к *верхней базитовой зоне* (ВБЗ), сложенной большей частью лейкокатровыми габброидами pC. Несмотря на то, что тип кумулата в породах ВБЗ практически не изменяется, в ее пределах также отмечается грубое линзовидно-ритмичное чередование, которое выражается в переслаивании неизмененных пород (лейкогабброноритов) и пород, претерпевших автометаморфические преобразования (лейкогаббро). На колонке это чередование фиксируется по степени амфиболлизации пироксенов (рис. 3). Мощность отдельных слоев изменяется от нескольких метров до сотен метров. Это чередование прекращается после уровня г. Большой Ихтегипахк и отметки 348.0 м (рис. 1), выше которого, вплоть до верхнего тектонического контакта массива, в разрезе отмечаются только лейкогаббро.

Роль второстепенных кумулатов в строении ВБЗ (плагиогаббуритов, меланотроктолитов oC и троктолитов poC) исследована лучше, чем для НБЗ. Породы с кумулятивным оливином встречаются в горизонтах с тонким (мощность слоев 0.1 - 5 м) линзовидно-ритмичным чередованием пород, которые были названы горизонтами повышенной неоднородности (ГПН, см. рис. 1). Их мощность варьирует от 3 до 50 м, они прослежены по простирацию на расстояние от 400 м до 3.5 км. Нами выделяется 4 таких горизонта – ГПН-1, ГПН-2, ГПН-3а, ГПН-3б. В рамках данной работы в породах ГПН-1 при полном отсутствии видимых сульфидов выявлены повышенные содержания ЭПГ (Н-риф).

Внутренняя структура расслоенной серии. Проведенный анализ залегания расслоенности в пределах выделенных уровней с тонким и контрастным чередованием пород (переходная подзона НБЗ, ГПН в ВБЗ), а также обобщение

структурных наблюдений предыдущих исследователей (Радченко, 1978) и комплекса геофизических данных (Гринченко и др., 1973) позволяет выделить в расслоенной серии два структурных яруса. В нижнем ярусе, охватывающем НБЗ и прилегающие к ней части смежных зон, по положению на детальных геологических разрезах С-рифа устанавливается блочное строение серии (рис. 4). В разных блоках расслоенность падает на юго-запад под углами, варьирующими от крутых (45-50°) до пологих (10-20°) с тенденцией к выполаживанию в юго-западном направлении. Согласно геофизическим данным в нижнем ярусе породы рассечены многочисленными продольными, диагональными и поперечными разломными нарушениями. В верхнем структурном ярусе, напротив, значимых тектонических нарушений не обнаруживается. Геологическое картирование ВБЗ выявляет в ней однообразное и очень крутое залегание расслоенности – в ГПН-1 средний угол падения пород составляет 65°, в ГПН-2 – 64°, а в ГПН-3а и -3б – 70°.

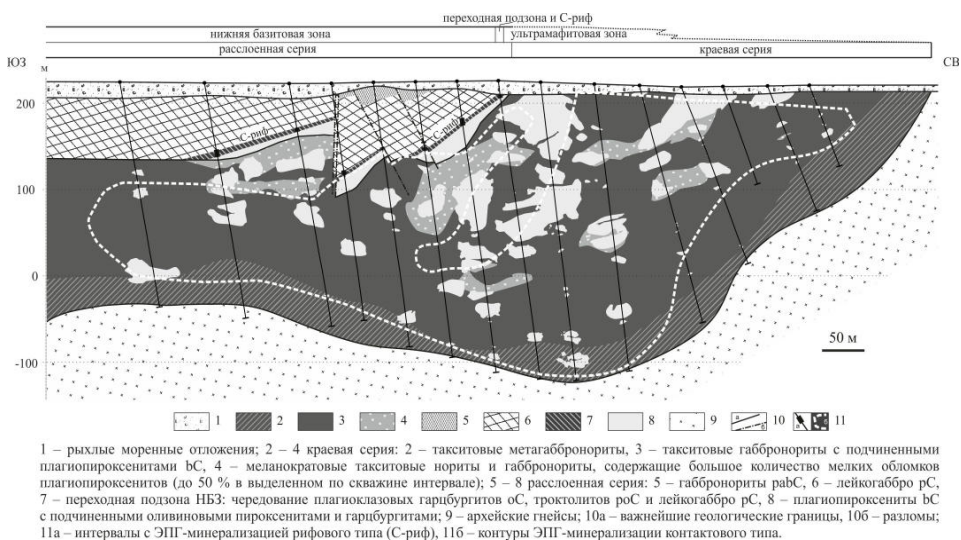


Рис. 4. Геологическое строение краевой серии и нижних зон расслоенной серии массива Федоровой тундры. Составил автор по материалам базы данных ЗАО «Федорово ресорсес»

Краевая серия слагает нижний северо-восточный край массива и протягивается на всю его длину, образуя желобообразные углубления в породах фундамента шириной до 1.5 км (рис. 1). Мощность серии колеблется от первых десятков метров на участке выклинивания массива на северо-западе до 800 – 900 м в местах углублений и в среднем составляет около 250 м. Нижний контакт массива тектонизирован, в зоне контакта породы краевой серии метаморфизованы. Контактная поверхность, как в

плане, так и на глубине имеет извилистую форму, осложненную углублениями в фундаменте.

Собственно краевая серия состоит преимущественно из такситовых базитов различного минерального состава, среди которых преобладают габбронориты. Наиболее ярким признаком пород краевой серии, позволяющим проводить ее выделение, является их такситовость. Последняя преимущественно обусловлена резкими колебаниями размеров минеральных зерен в породах. В пределах относительно небольших участков породы можно видеть габбронориты мелкозернистого, среднезернистого, крупнозернистого и пегматоидного сложения, которые закономерно чередуются между собой. Такой тип такситовости пород принято называть структурным. Помимо структурной, в породах краевой серии отмечается и конституционная такситовость, выраженная в неупорядоченном чередовании норитов, меланократовых норитов, меланократовых габброноритов, оливиновых габброноритов, троктолитов, лейкогаббро и лейкогабброноритов. Наличие такого рода неоднородности лишает смысла применение анализа кумулятивных парагенезисов для расчленения разреза серии вкrest простираения.

К существенным дополнительным признакам пород краевой серии относятся частое присутствие в них интерстициальных голубого кварца и платиноносной сульфидной вкрапленности, которые в породах расслоенной серии встречаются крайне редко.

Детальное геологическое картирование краевой серии на участке Средний Ихтегипахк и разрезы по участку Большой Ихтегипахк (рис. 4) показывают отсутствие в ней в целом расслоенного строения и характеризуют ее как эруптивную брекчию с обломками ультрамафитовых пород в матрице такситовых габброноритов. Наличие переходной подзоны с платинометальным оруденением в НБЗ, маркирующей реликтовый стратиграфический контакт между ультрамафитовой зоной массива и перекрывающими ее базитами, свидетельствует о том, что обломки пироксенитов являются закономерной частью расслоенной серии массива.

Следует отметить, что термин краевая серия в предлагаемой модели является *описательным* и не несет генетической нагрузки, которая подразумевается учением о расслоенных интрузиях. «Краевая серия» обозначает здесь мощную толщу разнообразных по составу пород, которая имеет сложное неоднородное строение, располагается в нижней приконтактной части массива и противопоставляется остальной его части с более простым расслоенным строением. Для этой толщи не характерна выраженная на всем протяжении по простираению инверсия разреза, которая определяет краевые серии в других интрузивах. Однако в ней широко развиты характерные для краевых серий (например, комплекса Портимо в Финляндии) такситовые текстуры пород и ЭПГ-оруденение контактового типа.

2. Совокупность геологических, геохимических и геохронологических данных позволяет считать, что расслоенная серия есть результат кристаллизации магмы первой интрузивной фазы ($2526 \pm 6 - 2507 \pm 11$ млн. лет), а краевая серия – второй интрузивной фазы массива ($2493 \pm 8 - 2485 \pm 9$ млн. лет). Магма второй фазы отличается от первой более примитивным химическим

составом и более высокими содержаниями рудогенных компонентов (Cr, Cu, Ni). Различия между магмами подтверждаются данными о распределениях РЗЭ в породах.

В массиве Федоровой тундры при рассмотрении его как самостоятельного геологического тела было выделено две интрузивные фазы (Дубровский, Рундквист, 2008). В предлагаемой нами модели его строения первой фазе соответствует расслоенная серия, а второй – краевая серия пород. Главным аргументом в пользу этой точки зрения является характер контакта между сериями, который, согласно следующему, является интрузивным. Повсеместно в краевой серии отмечаются эруптивные брекчии с обломками ультрамафитовых пород расслоенной серии. На одних участках массива такситовые габбронориты при переходе к НБЗ сменяются вверх по разрезу мощным (50 – 100 м) слоем кумулатов рС, на других – кумулатами рабС, что может быть объяснено различным уровнем интрузивного среза НБЗ, где развито грубое чередование рС и рабС, снизу. В плагиоклазовых кумулатах НБЗ в случае их близкого к краевой серии залегания хорошо видны секущие жильные тела такситовых норитов и габброноритов (рис. 8). Породы краевой серии срезают С-риф нижней базитовой зоны, что отмечается на детальных геологических разрезах (рис. 4).

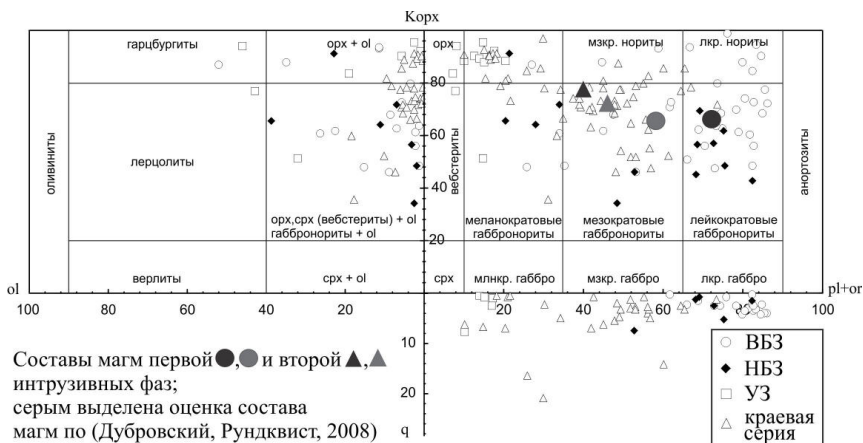
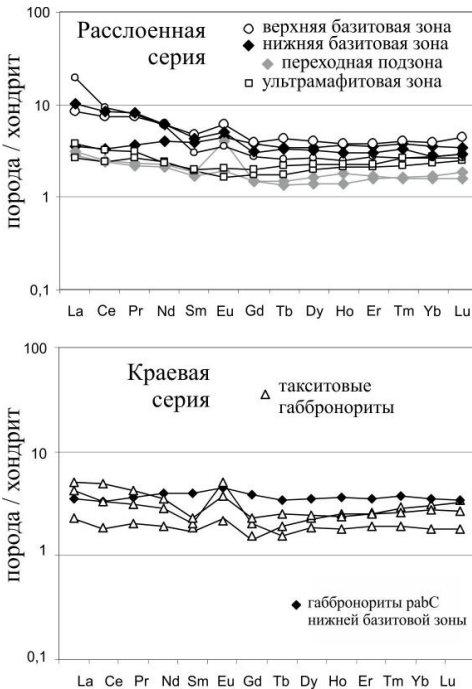


Рис. 5. Состав пород расслоенной и краевой серий, а также состав магм различных интрузивных фаз на петрохимической диаграмме М.И.Дубровского

Согласно расчетам средневзвешенного и среднего состава пород расслоенной и краевой серий, состав родоначальной магмы первой интрузивной фазы отличается от магмы второй фазы меньшим содержанием кремнезема, закисного железа, магния и большим содержанием титана, глинозема, кальция и натрия. По нормативному минеральному составу (рис. 5) магма первой фазы

соответствует лейкократовому (Feld = 72 мас.%) кварцевому габбронориту, а магма второй фазы – мезократовому (Feld = 40 мас.%) кварцевому габбронориту. Вариации содержаний рудогенных элементов по разрезу массива показаны на рис. 3. Средние содержания Cr_2O_3 , Cu и Ni в породах краевой серии составляют 0.11, 0.10 и 0.10 мас. %, соответственно, что выше средневзвешенных содержаний тех же элементов в породах расслоенной серии примерно на порядок. Таким образом, между составами магм устанавливаются более четкие различия, чем предполагалось ранее (рис. 5).

Данные о распределении РЗЭ свидетельствуют о различии составов и направлений дифференциации магм первой и второй интрузивных фаз. Снизу вверх по разрезу расслоенной серии устанавливается обогащение пород РЗЭ. Представительные породы УЗ, НБЗ и ВБЗ расслоенной серии образуют тренд роста суммарных содержаний РЗЭ при росте нормативной железистости меланократовых минералов, что говорит об образовании разреза расслоенной серии в результате дифференциации единой родоначальной магмы первой фазы. По хондрит-нормализованным распределениям РЗЭ видно (рис. 6), что для представительных пород расслоенной серии (С-риф исключаем) характерны менее выраженные европиевые максимумы (Eu/Eu^* равно 0.9-1.4 против 1.3-2.5



в краевой серии). Содержания РЗЭ в породах краевой серии немного ниже, чем в расслоенной серии (7-12 г/т против 7-22 г/т). Характер хондрит-нормализованных распределений РЗЭ габброноритов краевой серии резко отличается от распределений аналогичных по минеральному составу пород расслоенной серии массива – линия габброноритов rabC из НБЗ практически прямая, в то время как линии габброноритов краевой серии заметно изогнуты. Кроме этого, в отличие от пород расслоенной серии, в породах краевой серии не отмечается роста содержаний РЗЭ при увеличении железистости минералов.

Рис. 6. Нормализованные к хондриту (Boynnton, 1984) графики распределения РЗЭ в породах массива

Результаты изотопно-геохронологических исследований цирконов из четырех дополнительных проб вместе с уже имеющимися аналогичными

Табл. 1. Геохронологические U-Pb данные для цирконов из пород массива

№№ проб	Привязка к разрезу	Порода	Абсолютный возраст, млн. лет	Источник
43-3G	ВБЗ, ГПН-3а	оливиновый лейкогаббронорит	2507 ± 11	Грошев и др., 2009
F-4	НБЗ	лейкогаббро	2516 ± 7	Ниткина, 2006
F-10В	НБЗ, С-риф	лейкогаббро	2518 ± 9	Грошев и др., 2009
F-10D	НБЗ, С-риф	оливиновый лейкогаббронорит	2515 ± 12	Грошев и др., 2009
F-3	УЗ	пироксенит	2526 ± 6	Ниткина, 2006
F-2	Краевая серия	такситовый габбронорит	2485 ± 9	Ниткина, 2006
48-2G	Краевая серия	такситовый мелагаббронорит	2493 ± 8	Грошев и др., 2009

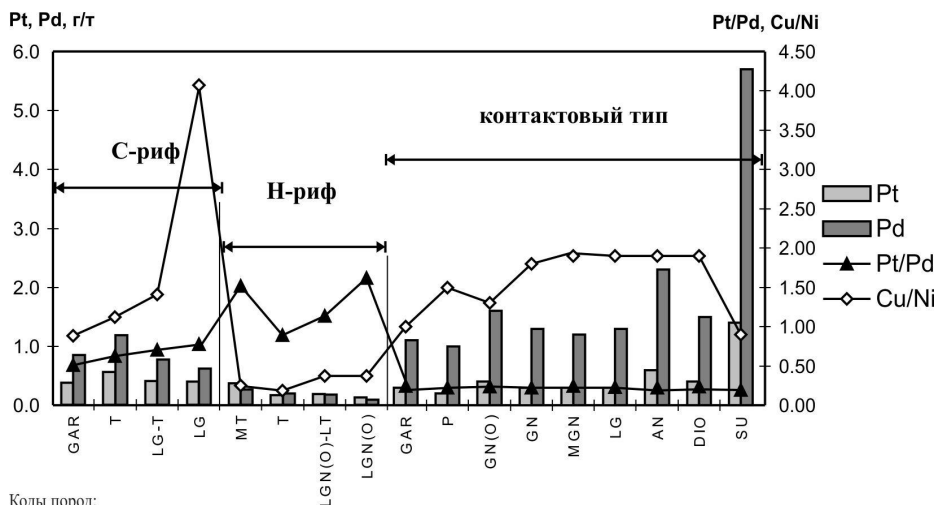
данными (табл. 1) ограничивают время формирования более древней по геологическому положению расслоенной серии интервалом 2526±6 – 2507±11 млн. лет, а более молодой краевой серии – интервалом 2493±8 – 2485±9 млн. лет.

Группа значений абсолютного возраста для пород расслоенной серии в случае датирования гозизонтов ее верхних зон (проба 43-3G, 2507±11 млн. лет) имеет пересечение с учетом погрешности метода с возрастным интервалом для пород краевой серии. Это объясняется тем, что внедрение магмы второй интрузивной фазы, вероятно, произошло в тот момент, когда нижние части расслоенной серии уже были закристаллизованы, а в верхних еще существовал расплав.

3. В массиве развито два типа малосульфидного ЭПГ-оруденения: рифовое и контактовое. Оруденение этих типов различается по своей геологической позиции, возрасту, геохимическим особенностям и вещественному составу. Рифы, являясь более древними, приурочены к определенным стратиграфическим единицам расслоенной серии. Они характеризуются высокими отношениями Pt/Pd (0.7 – 1.2) и отличными от контактового оруденения минеральными ассоциациями МПМ – арсенидной (С-риф) и сульфид-интерметаллидной (Н-риф). Более молодое контактовое оруденение неравномерно распределено в породах краевой серии и характеризуется низкими отношениями Pt/Pd (0.2) и сульфид-висмутотеллуридной минеральной ассоциацией МПМ.

Массив Федоровой тундры известен, прежде всего, благодаря развитому в его приподошвенной толще ЭПГ-оруденению контактового типа (Schissel et al., 2002). Оруденение связано с убогой (0.3 – 2 об.% сульфидов) сульфидной

вкрапленностью, содержащейся в различных по минеральному составу такситовых базитах краевой серии. Геологическое картирование краевой серии и изучение данных опробования по месторождению, свидетельствуют о том, что сульфидная минерализация распределена в пределах серии крайне неравномерно. Сульфиды располагаются в ней отдельными «струями», «линзами» и «столбами». Морфологически оруденение представлено тонкой, неравномерной интерстициальной сульфидной и сульфидно-оксидной вкрапленностью и минерализацией вкрапленно-гнездового типа с фрагментами прожилково-вкрапленных текстур. Локально, в интервалах до нескольких десятков сантиметров, распространены густовкрапленные руды. Иногда встречаются сульфидные жилы и гнезда брекчиевидного и массивного сложения.



Коды пород:

1) С-риф (выборка - 195 проб, $2ЭПГ+Au > 0.2$ г/т):

GAR – гарибургиты и меланотроктолиты; T – троктолиты; LG-T – чередование лейкогаббро и троктолитов; LG – лейкогаббро;

2) Н-риф (выборка - 35 проб, $2ЭПГ > 0.1$ г/т): MT – меланотроктолиты; T – троктолиты; LGN(O)-LT – чередование оливиновых лейкогабброноритов и лейкотроктолитов; LGN(O) – оливиновые лейкогаббронориты;

3) контактовый тип (выборка - 15056 проб, $2ЭПГ+Au > 0.5$ г/т): GAR и P – гарибургиты и ортопироксениты с жилами такситовых габброноритов; GN(O) – оливиновые габбронориты; GN – такситовые габбронориты; MGN – такситовые метагаббронориты; LG – лейкогаббро; AN – анортозиты; DIO – пироксеновые диориты; SU – густовкрапленные, массивные и брекчиевидные сульфиды в такситовых габброноритах.

Рис. 7. Средние геохимические параметры для различных типов ЭПГ-оруденения в зависимости от петрографического состава рудоносных пород

Изучение банка данных разведочного опробования оруденения на ЭПГ, Cu и Ni показывает высокую степень его геохимической однородности (рис. 7). Вне зависимости от типа рудоносной породы, от степени насыщенности пород сульфидами и независимо от уровня концентраций ЭПГ для руд устанавливается высокая степень фракционирования ЭПГ – значения отношения Pt/Pd колеблется

Табл. 2. Минеральный состав различных типов ЭПГ-оруденения массива Федоровой тундры

Минералы	С-риф (N=818)	Н-риф (N=145)	Кт (N=925)
Золото (Au,Ag,Pd)	×		×
Плагина (Pt,Cu,Pd)	×		×
Изоферроплатина (Pt,Pd) ₃ Fe		●	×
Палладий (Pd,Hg), в рифах - (Pd, Cu, Fe)	×	×	×
Серебро (Ag,Au)	×		×
Скаергардит PdCu	×		
Звягинцевит Pd ₃ Pb	×	×	
Бортниковит Pd ₄ Cu ₃ Zn		×	
Рустенбергит Pt ₃ Sn			×
Паоловит Pd ₂ Sn			×
Атокит (Pd,Pt) ₃ Sn		×	×
Паларстанид Pd ₅ (Sn,As) ₂		×	×
Брэггит (Pt,Pd,Ni)S	×	●	●
Высоцкит (Pd,Pt,Ni)S	×		×
Ирарсит (Ir,Ru,Rh,Pt)AsS	×		×
Холлингуртит (Rh,Pt,Pd)AsS	×		×
Плагарсит (Pt, Ir, Rh)AsS	×		
Сперилит PtAs ₂	●	×	×
Стилуотерит Pd ₈ As ₃	●	×	×
Палладоарсенид Pd ₂ As			×
Меньшиковит Pd ₃ Ni ₂ As ₃			×
Винцентит (Pd,Pt) ₃ (As,Sb,Te)			×
Палладобисмутарсенид Pd ₂ (As,Bi)			×
Мертиит Pd ₁₁ (Sb,As) ₄		×	×
Мончеит (Pt,Pd)(Te,Bi) ₂	×		×
Кейтконнит Pd _{3-x} Te	×	×	×
Котульскит Pd(Te,Bi)	×	×	●
Меренскиит (Pd,Pt)(Te,Bi) ₂			●
Соболевскит PdBi			×
Майчнерит (Pd,Pt)BiTe			×
Тегамит Pd ₃ HgTe ₃			×
Теларгпалит (Pd,Ag) _{3+x} Te			×
Сопчеит Ag ₄ Pd ₃ Te ₄	×		×
Фазы состава Pd _m As _n , m > n	●	×	

Примечание. Знаком ● показаны главные по относительной объемной распространенности минералы (более 10 % от суммарного объема МПМ), знаком × - второстепенные и редкие минералы; N – количество зерен.

около 0.2. По отношению Cu/Ni также можно отметить однородность оруденения. В породах с рядовой сульфидной вкрапленностью, не содержащих оливина габброноритах, метагабброноритах, лейкогаббро и анортозитах, среднее отношение Cu/Ni стабильно и равняется 1,8-1,9. Уменьшение отношения Cu/Ni в гарцбургитах, пироксенитах и оливинсодержащих габброноритах до значений 1 – 1,5 связано с тем, что к сульфидному никелю, концентрируемому в пентландите, в этих породах добавляется «силикатный» никель, входящий в состав оливина (0.06-0.19 мас. % Ni) и пироксенов (0.02-0.06 мас. % Ni).

Главными сульфидными минералами руд являются халькопирит, пирротин и пентландит. Их соотношение в среднем по руде в пересчете на 100-процентный сульфид – 41, 35 и 24 мас.%, соответственно. Во всех типах оруденелых пород агрегаты и индивиды рудных минералов имеют сложную форму, подчиненную интерстициям первичных магматических и вторичных силикатов. По результатам микронзондовых исследований сульфидов устанавливается, что одним из концентраторов Pd в рудах является пентландит, содержащий в среднем 480 г/т Pd.

В составе оруденения контактового типа диагностировано 29 МПМ и золота (табл.2). Наиболее крупными размерами из всех изученных МПМ выделяются брэггит – до 150×750, котульскит – до 120×320, соболевскит – до 150×270, золото – до 80×160, меренскиит – до 80×150, мончеит – до 100×100 и высокоцит – до 20×180 μm . Наиболее распространенными являются следующие МПМ: котульскит (44 %), брэггит (15 %) и меренскиит (10 % от суммарного объема МПМ). Этими минералами определяется сульфид-висмутотеллуридная ассоциация МПМ оруденения контактового типа. Мончеит, высокоцит, соболевскит, стиллуотерит, золото и сперрилит (от 8 до 1 % по объему) являются второстепенными. В категорию редких попадают остальные 20 минералов ЭПГ (табл. 2), в сумме занимающие около 1 % по объему от изученной выборки.

Анализ результатов геологоразведочных работ последнего десятилетия и результаты авторских поисковых работ позволяют выделить в массиве Федоровой тундры ЭПГ-оруденение рифового типа - в расслоенной серии выявлены риф Случайный (С-риф) и риф Невидимый (Н-риф).

С-риф контролируется переходной подзоной НБЗ (рис. 4, рис. 8). Данная подзона при мощности 5-10 м была подсечена в 70 разведочных скважинах, целью бурения которых являлось вскрытие оруденения краевой серии. Во всех ее пересечениях, в породах с едва заметной вкрапленностью сульфидов (до 0.3 об.%) были установлены повышенные и высокие (до 45 г/т 2ЭПГ+Au) содержания ЭПГ.

Риф практически непрерывно прослеживается по простиранию на 500-700 м на участке Б.Ихтегипахк, в виде отдельных линз отмечается на участке Пахварака. По падению риф не прослеживается более чем до глубины 100-150 м, т.к. на этом уровне он срезается породами краевой серии.

Оруденение С-рифа приурочено к граничной области между переходной подзоной и перекрывающим ее слоем лейкогаббро рС. По данным изучения базы данных более 40 % минерализованных пород представлено гарцбургитами, меланотроктолитами и троктолитами, слагающими верхние части переходной

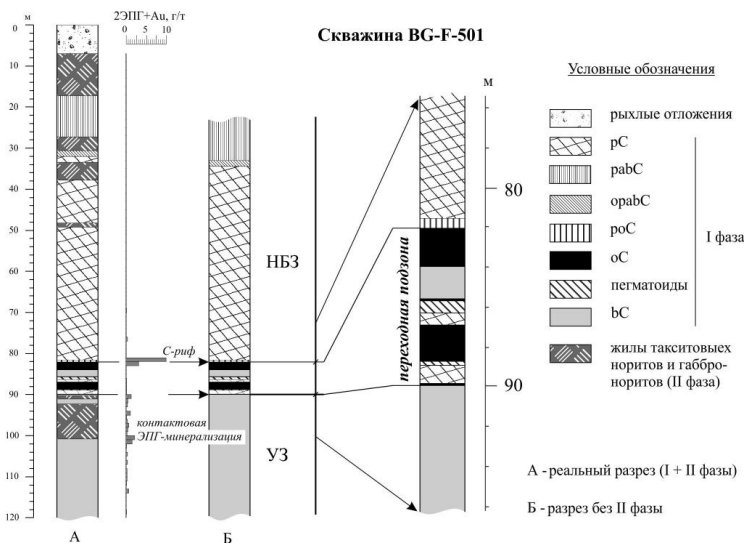


Рис.8. Положение С-рифа в разрезе расслоенной серии и строение переходной подзоны

подзоны. Остальная часть рудоносных пород представлена лейкогаббро, расположенными чуть выше верхнего контакта подзоны.

Средние суммарные содержания ЭПГ и Au (при условии выборки $2\Sigma\text{ЭПГ}+\text{Au} > 0.2$ г/т) в различных типах пород изменяются в пределах 1.1 – 1.9 г/т, средние содержания Cu варьируют от 0.02 до 0.04 мас.%, Ni – от 0.01 до 0.04 мас.%, содержания серы по единичным определениям не превышают 0.4 мас.%. Соотношение Pt и Pd в С-рифе примерно одинаковое - среднее значение отношения Pt/Pd составляет 0.7.

Главными сульфидными минералами в С-рифе, как и в рудах контактового типа, являются халькопирит, пирротин и пентландит. Однако соотношения этих минералов иное – в их балансе халькопирит (56 % в пересчете на 100-процентный сульфид) и пирротин (33 %) резко преобладают над пентландитом (11 %). Это объясняет высокое значение отношения Cu/Ni в лейкогаббро, для которого это отношение характеризует непосредственно медистый состав сульфидной фракции. По данным электронно-микроскопического изучения состава сульфидов в пентландите также отмечается примесь Pd.

В составе оруденения С-рифа диагностировано 17 минералов ЭПГ и золота (табл. 2). Наиболее крупные зерна среди МПМ С-рифа образованы стиллуотеритом - до $110 \times 130 \mu\text{m}$ и сперрилитом до $30 \times 80 \mu\text{m}$. Более 93 % от суммарного объема МПМ представлено арсенидами Pt и Pd – сперрилитом, стиллуотеритом и минеральными фазами переменного

состава Pd_mAs_n при $m > n$, которые определяют арсенидную ассоциацию МПМ этого рифа. Присутствие среди редких МПМ Cu-содержащих сплавов (платины (Pt,Cu,Pd), палладия (Pd, Cu, Fe), скаергардита PdCu) подчеркивает медистый характер сульфидной фракции.

Н-риф связан с породами первого горизонта повышенной неоднородности (ГПН-1) ВБЗ (рис. 9). ГПН-1 при мощности от 4 до 12 м прослежен в обнажениях по простиранию на 400 м. ГПН-1 представляет собой толщу тонкого линзовидно-ритмичного чередования пород, в которой среди преобладающих лейкокатовых разностей отмечаются слои более меланократовых дифференциатов – мезократовых и меланократовых троктолитов. В идеальном случае эти породы формируют вместе с лейкокатовыми разностями трехслойный ритм.

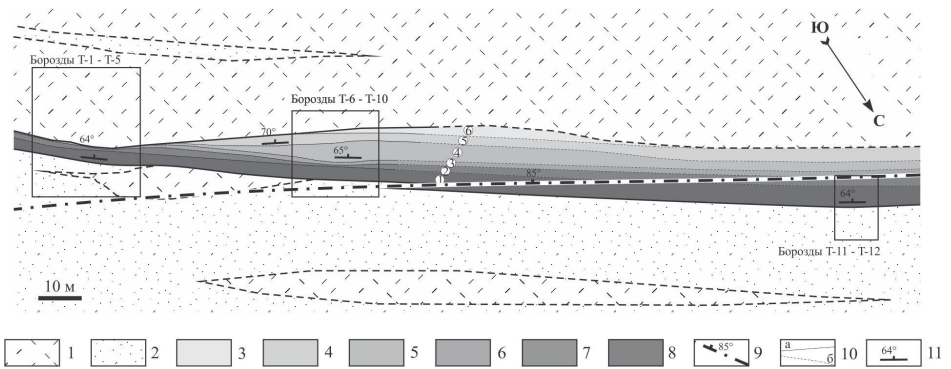


Рис. 9. Геологическая карта-схема ГПН-1 (Н-риф)

1 – лейкогаббро pC_{ab} ; 2 – лейкогаббронориты $pC(o)ab$; 3 – 8 – ритмы ГПН, цифры в кружках – номера ритмов; 9 – разлом; 10 – границы между породами и ритмами ГПН: а – установленные, б – предполагаемые; 11 – элементы залегания ритмов.

В основании ритма залегает слой троктолитов poC_{ab} (0,5 – 1 м) или меланотроктолитов oCp (0.02 – 0.3 м). Породы обладают характерной директивной текстурой, обусловленной плоскопараллельной ориентировкой слегка вытянутых зерен оливина, и отчетливо выделяются за счет ее на поверхности выветривания. Средний слой сложен оливиновыми лейкогабброноритами $pC(o)ab$ (0 – 2,5 м), в которых часто можно встретить небольшие неправильные тела лейкоотроктолитов poC_{ab} . Форелленштейновая поверхность выветривания этих пород также хорошо выделяется. Верхний слой представлен лейкогаббро pC_{ab} , реже лейкогабброноритами pC_{ab} . Как правило, данный слой виден из-за характерных для его пород автометаморфических

изменений, которые заключаются в сосюритизации плагиоклаза и амфиболизации пироксенов. Сосюритизированный плагиоклаз меняет свою окраску с темно-серой, характерной для троктолитов и лейкогабброноритов, на светло-серую или белую. Оливин в лейкогаббро встречается в виде редких единичных зерен, замещенных амфиболом.

Всего в изученном разрезе ГПН-1 выделяется до 6 ритмических единиц. Самыми выдержанными по простиранию являются 1, 2 и 3 ритмы. В ритмах могут отсутствовать те или иные их слои – в нижних ритмах, как правило, редуцирован 3-й слой, в верхних ритмах постепенно исчезают 1 и 2 слои.

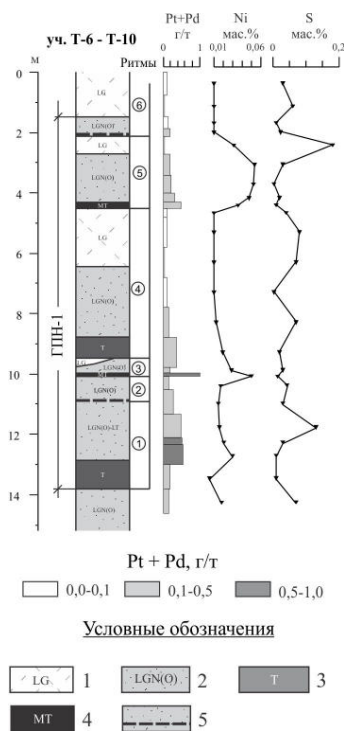


Рис. 10. Разрез ГПН-1 и вариации содержаний ЭПГ, Ni и S по данным борзодового опробования (Н-риф)

Условные обозначения: 1 – измененные рС, 2 – неизменные рС, 3 – роС, 4 – оС, 5 – прослой оС мощностью 2-3 см (вне масштаба).

По данным борзодового опробования устанавливается, что повышенные содержания ЭПГ характерны для 1 и 2 обогащенных оливином слоев ритмов (рис. 10). Суммарные содержания Pt и Pd в среднем для разных типов пород колеблются в пределах 0.2 – 0.6 г/т (рис. 7). Наиболее обогащенными ЭПГ являются граничная область между первым и вторым слоем первого ритма и первый слой третьего ритма (рис. 10). В последнем значении суммы Pt и Pd достигает максимального для рифа значения - 0.89 г/т. Среднее отношение Pt/Pd в породах рифа колеблется в различных типах пород в пределах 0.9 – 1.6 и в целом для него составляет 1.3. ЭПГ-содержащие породы полностью лишены видимых невооруженным глазом сульфидов.

До минералогических исследований складывалось впечатление, что МПМ Н-рифа должны быть приурочены к силикатам, а именно к оливину. Но изучение шлифов позволило установить крайне незначительную по объему рассеянную сульфидную вкрапленность. Сульфиды локализованы преимущественно в реакционных каймах между оливином и плагиоклазом. Размеры отдельных зерен сульфидов изменяются в пределах 2 - 400 μm при средних значениях 50-80 μm .

В составе сульфидной вкрапленности установлены следующие минералы (в порядке убывания по распространности): халькопирит, халькозин, марказит,

пирротин, виоларит, пентландит, сфалерит, миллерит. Все изучавшиеся образцы отобраны с поверхности и их сульфидная составляющая несет следы значительных гипергенных изменений. Вероятно, первичная ассоциация главных минералов включала в себя типичную для малосульфидных руд массива тройку главных сульфидов – халькопирит, пирротин и пентландит, которые заместились при выветривании халькозином, марказитом и виоларитом, соответственно. По результатам электронно-микроскопических наблюдений в Ni-содержащих сульфидах устанавливается примесь Pd. Высокая распространенность халькопирита и халькозина относительно других минералов позволяет предполагать, что первичная сульфидная фракция, также как и в С-риффе, имела обогащенный медью состав.

В породах рифа, помимо Pd-содержащих сульфидов Fe и Ni, по составу диагностировано 12 собственных минеральных видов ЭПГ (табл. 2). Более половины от общего числа выявленных зерен располагаются в сульфидах или на границах сульфидов и силикатов. Размеры зерен колеблются в пределах 0.5 – 10 μm при средних размерах 3 μm . Максимальные размеры зерен характерны для изоферроплатины и достигают $5 \times 10 \mu\text{m}$. По относительной объемной распространенности среди этих минералов преобладают сульфид платины брэггит (11 % от общего объема) и интерметаллид изоферроплатина (84 %). Поэтому минеральная ассоциация МПМ Н-риффа является сульфид-интерметаллидной. Среди редких МПМ в рифе отмечаются Cu-содержащие минералы (бортниковит $\text{Pd}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$), что также как и в С-риффе, по-видимому, является следствием обогащенности сульфидной фракции медью.

Таким образом, новый для массива рифовый тип малосульфидного ЭПГ-оруденения, представленный С- и Н-рифами, связан с тонко расслоенными горизонтами, в строении которых участвуют содержащие кумулятивный оливин породы. Сульфидная минерализация рифов крайне незначительна (до 0.3 об.% сульфидов) и часто не заметна для невооруженного глаза. Оруденение характеризуется примерно одинаковыми соотношениями Pt и Pd, в отличие от руд известных месторождений региона, в которых резко преобладает Pd. В большинстве изученных пересечений рифов концентрации Pt и Pd малы и в сумме достигают лишь первых граммов на тонну. В ряде пересечений наблюдаются и более высокие содержания с максимумом в 45 г/т (С-риф). Учитывая результаты данной (начальной) стадии изучения рифового оруденения Федоровой тундры, особенно его обогащенность высоколиквидной Pt, дальнейшие поиски руд этого типа рассматриваются как весьма перспективные.

Заключение

Выполненное автором исследование геологии, петрографии, особенностей химического состава пород, минералогии и геохимии ЭПГ-оруденения массива Федоровой тундры, а также обобщение материалов в опубликованной и фондовой литературе позволяют уточнить описательную геологическую модель массива как

самостоятельного интрузивного тела, входящего в состав Федорово-Панского комплекса. Предлагаемая модель подразумевает существование в массиве двух принципиально различных расслоенной и краевой серий пород, она непротиворечиво описывает внутреннее строение массива и определяет локализацию в нем платинометалльного малосульфидного оруденения различных типов.

В расслоенной серии, сложенной грубо чередующимися породами, выделяются ультрамафитовая, нижняя базитовая и верхняя базитовая зоны. Помимо грубой расслоенности в серии устанавливается ряд стратиграфических единиц, в которых развито тонкое ритмичное переслаивание пород. В двух из них отмечается ЭПГ-оруденение рифового типа - С-риф, приуроченный к переходной подзоне между ультрамафитовой и нижней базитовой зонами, и Н-риф, локализованный в первом горизонте повышенной неоднородности верхней базитовой зоны. Рифы имеют приблизительно равные соотношения между платиной и палладием и характеризуются низкими содержаниями серы. Минералогические исследования позволили в рифовом оруденении диагностировать 22 минерала благородных металлов, образующих две минеральные ассоциации – арсенидную и сульфид-интерметаллидную.

В расслоенной серии различаются два структурных яруса: нижний с разнообразным (от пологого до крутого) залеганием расслоенности и блоковым строением и верхний, в котором породы залегают одинаково круто. Двухъярусную структуру необходимо учитывать при дальнейших поисках в расслоенной серии оруденения рифового типа. По-видимому, вследствие влияния структурного фактора перспективы поисков кондиционного оруденения в верхнем ярусе выше, чем в пределах переработанного тектоникой нижнего яруса.

Расслоенной серии массива противопоставлена мощная толща такситовых базитов, которая описывается нами как краевая серия. По своему внутреннему строению краевая серия является эруптивной брекчией с обломками ультрамафитовых пород расслоенной серии и матрицей рудоносных такситовых габброноритов. В породах серии неравномерно распределено малосульфидное ЭПГ-оруденение контактового типа. Наиболее богатые руды располагаются на тех участках серии, где мощность залегающей выше расслоенной толщи максимальна и в ее разрезе сохранена ультрамафитовая зона. Оруденение сильно обогащено палладием, в отличие от рифовых руд. В его минеральном составе установлено 29 минералов благородных металлов, среди которых преобладают сульфиды и висмутотеллуриды Pt и Pd.

Детальное изучение геологического строения расслоенной и краевой серий, а также новые изотопно-геохронологические данные подтверждают идею о двухфазном образовании массива Федоровой тундры. В качестве первой интрузивной фазы массива рассматривается расслоенная серия – абсолютный возраст пород серии укладывается в интервале $2526 \pm 6 - 2507 \pm 11$ млн. лет. Краевая серия рассматривается как результат внедрения второй интрузивной фазы, поскольку в месте ее сочленения с расслоенной серией отмечается множество

признаков интрузивного контакта между ними. Абсолютный возраст такситовых габброноритов по данным двух определений лежит в интервале 2493 ± 8 – 2485 ± 9 млн. лет. Оценка составов магм двух фаз внедрения показывает, что они значительно отличались по содержанию петрогенных и рудогенных элементов. Данные по РЗЭ в породах также подтверждают различия в составах магм.

Таким образом, в массиве Федоровой тундры устанавливается два разновозрастных типа ЭПГ-оруденения: более древнее рифовое и относительно молодое контактовое. Оруденение различных типов образовалось в результате внедрения и кристаллизации магм двух интрузивных фаз. Экономический потенциал рифового оруденения в настоящее время изучен недостаточно. Контактное оруденение формирует крупнейшее месторождение ЭПГ на территории Фенноскандинавского щита.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

Грошев Н.Ю., Ниткина Е.А., Митрофанов Ф.П. Двухфазный механизм образования платинометаллических базитов Федоровотундровского массива на Кольском полуострове: новые геологические и изотопно-геохронологические данные // ДАН. 2009. Т427. №5. С. 669-673.

Грошев Н.Ю. О проблеме габбро в массивах перидотит-пироксенит-габброноритовой формации на примере строения верхних зон массива Федоровой тундры // Вестник МГТУ. Т12. №3. 2009. С. 503-506.

Грошев Н.Ю., Савченко Е.Э. Н-риф – новый уровень малосульфидной ЭПГ-минерализации в платиноносном массиве Федоровой тундры (Кольский полуостров) // Геология рудных месторождений (подготовлена к печати).

Грошев Н.Ю. Морфология и вещественный состав жил гранитоидов в интрузиве Панских тундр // Материалы XVII молодежной конференции, посвященной памяти К.О.Кратца. Петрозаводск, 2006. С. 129-132.

Грошев Н.Ю., Ниткина Е.А. Образование мафит-ультрамафитового платиноносного массива Федоровой тундры (Кольский полуостров): новые геологические и изотопные U-Pb данные // Материалы XIX молодежной конференции, посвященной памяти К.О.Кратца. Апатиты, 2008. С. 12-18.

Грошев Н.Ю. Флюидизация базитовых расплавов как причина расслоенности на примере строения верхних зон массива Федоровой тундры (Кольский полуостров) // Труды Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию юбилею члена-корреспондента РАН Г.И. Горбунова. Апатиты, 17-18 ноября 2008 г. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. С. 88-91.

Грошев Н.Ю. Расслоенность как результат флюидизации расплава на примере строения верхних частей разреза интрузива Федоровой тундры (Кольский полуостров) // Материалы XX российской конференции молодых ученых посвященной памяти К.О. Кратца. ИГ КарНЦ РАН, 12-15 октября – Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2009. С. 70-74.

Грошев Н.Ю. Новые данные о платиноносности Федоровотундровского массива // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Труды VII Всероссийской Ферсмановской научной сессии. Апатиты: К & М, 2010. С. 35 – 39.

Грошев Н.Ю., Корчагин А.У., Митрофанов Ф.П., Субботин В.В. Расслоенная и краевая серии платиноносного массива Федоровой тундры (Кольский полуостров) // Материалы научной сессии, посвящённой Дню российской науки. Апатиты: К & М, 2010. С. 34-41.

Грошев Н.Ю., Савченко Е.Э. Новое проявление малосульфидной ЭПГ-минерализации рифового типа в Федоровотундровском массиве (Федорово-Панский расслоенный комплекс, Кольский полуостров) // Материалы XXI молодежной конференции, посвященной памяти К.О.Кратца. С-Пб. 2010. С. 141-145.

Rundquist T.V., Arhireeva A.S., **Groshev N.Yu.** Reconstruction of cumulates in strongly metamorphosed mafic rocks in layered PGE-bearing intrusions: mineralogical and practical points of view (Kola Peninsula, Russia) // 10th International Platinum Symposium "Platinum Group Elements – from genesis to Benefication and Environmental Impact, August 8-11, 2005. – Oulu, Finland, 2005. P. 554-557.

Отпечатано в отделе ОНИР Ги КНЦ РАН
184209 г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14
Тел. / факс (81555) 77329

Тираж 100 экз.