



РИФ НЕВИДИМЫЙ — НОВЫЙ УРОВЕНЬ МАЛОСУЛЬФИДНОЙ ПЛАТИНОМЕТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В МАССИВЕ ФЕДОРОВОЙ ТУНДРЫ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ

Н.Ю.Грошев, Е.Э.Савченко (Геологический институт КНЦ РАН)

Обсуждаются результаты тематических картировочных и поисковых работ на элементы платиновой группы в верхних слабо изученных частях Федоровотундровского массива, к основанию которого приурочены известные промышленные платинометалльные руды контактового типа. В результате работ открыто новое рудопроявление Pt и Pd риф Невидимый, что позволяет выделить на территории массива рифовый тип платинометалльного оруденения. Охарактеризованы геологическое строение минерализованного горизонта, геохимические особенности и вещественный состав минерализации.

Ключевые слова: расслоенные интрузии, ритмичная расслоенность, элементы платиновой группы.

Грошев Николай Юрьевич, nikolaygroshv@gmail.com, Савченко Евгений Элланович, evsav@geoksc.apatity.ru

THE INVISIBLE REEF — THE NEW HORIZON OF LOW-SULFIDE PGE MINERALIZATION OF THE FEDOROVA TUNDRA MASSIF, KOLA PENINSULA

N.Yu.Groshev, E.Ye.Savchenko

The article represents recent results of geological mapping and prospecting for platinum group elements (PGE) in the upper poorly studied part of the Fedorova Tundra Massif, which is known due to its contact type PGE mineralization. Detection of a new PGE occurrence, called the Invisible Reef, is the main result of the work. It is firstly described geological structure of the PGE-bearing horizon, geochemical features and mineral composition of PGE mineralization.

Key words: layered intrusions, rhythmic layering, platinum group elements.

Большая часть мировых ресурсов элементов платиновой группы (ЭПГ) сосредоточена в мало-сульфидных месторождениях [8, 14], локализованных преимущественно в расслоенных базит-гипербазитовых массивах. Федоровотундровский базит-гипербазитовый массив (ФТМ) вместе с массивами Западно- и Восточно-Панских тундр входит в состав Федорово-Панского раннепротерозойского расслоенного комплекса (ФПРК), находящегося в центральной части Кольского полуострова (рис. 1). За последние десятилетия в ФПРК усилиями различных иностранных и отечественных компаний (Barrick Gold, Ural Platinum, Puma Minerals и др.) совместно с ГИ КНЦ РАН и его инновационным предприятием ОАО «Пана» разведаны месторождения и проявления ЭПГ, которые относятся к двум геолого-промышленным типам — контактовому и рифовому.

Контактовые руды располагаются вблизи нижних границ массивов, характеризуются относительно невысокими содержаниями ЭПГ, значительными мощностями и относительно небольшой протя-

женностью по простиранию. Они проявлены в краевых частях всех массивов ФПРК. Однако экономическое значение имеет только оруденение краевой серии ФТМ, в котором разведано Федоровотундровское месторождение [6, 15]. В расслоенных интрузиях мира из месторождений этого типа наиболее известны Платриф (Бушвельд, ЮАР), месторождения комплекса Ист Булл Лэйк (Канада) и комплекса Портимо (Финляндия) [12]. К этому же типу можно отнести «донные залежи» в Мончегорском расслоенном комплексе [10].

Руды рифового типа с высокими содержаниями ЭПГ при малой мощности и значительной протяженности минерализованных горизонтов локализованы в расслоенных сериях массивов. В Западно-Панском массиве прослежены Северный и Южный рифы с месторождением Киевей в пределах Северного [6]. В Восточно-Панском массиве выявлены так называемые зоны обогащения минералами платиновых металлов, обозначаемые как зоны А, В и С с месторождением Восточное Чуарвы на участке зоны В [4]. Мировые аналоги таких руд широко

известны. Это месторождения рифов Меренского (Бушвельд), *J-M* (комплекс Стиллуотер, США), финских расслоенных интрузий и др. На Кольском

полуострове к рифовому типу относится также месторождение Вуручайвенч в Мончегорском расслоенном комплексе [10].

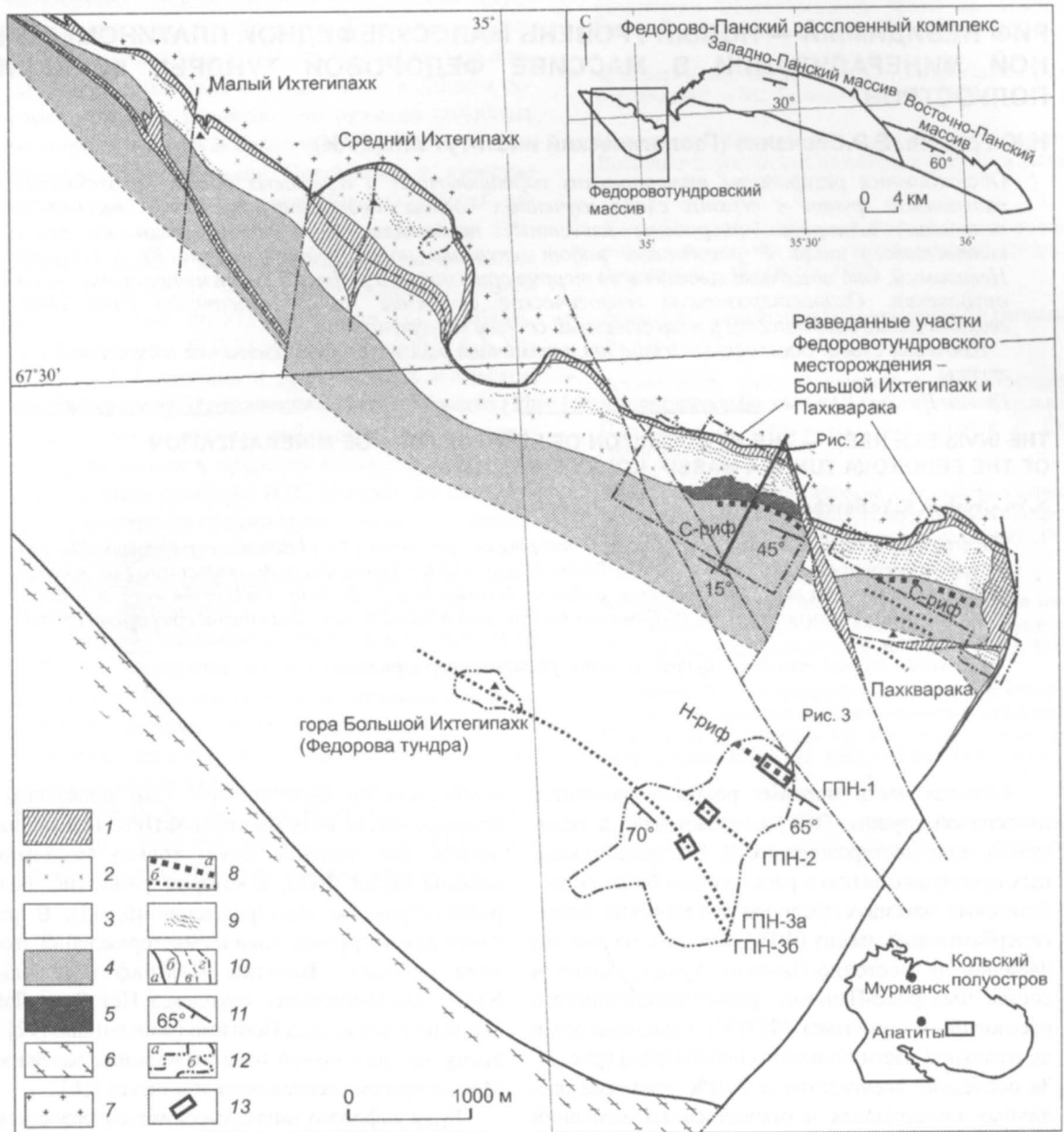


Рис. 1. Геологическая карта-схема массива Федоровой тундры, составлена в ОАО «Пана» в 1998 г., с изменениями и дополнениями Н.Ю.Грошева:

1 — рассланцованные базиты; 2 — краевая серия (такситовые нориты и габронориты); расслоенная серия: 3 — верхняя базитовая зона (плагноклазовые лейкократовые кумулаты), 4 — нижняя базитовая зона (плагноклазовые лейкократовые и мезократовые кумулаты в грубом чередовании с мезократовыми плагноклаз-энстатит-авгитовыми кумулатами), 5 — ультрамафитовая зона (энстатитовые и энстатит-оливиновые кумулаты); 6 — метавулканиты зоны Имандра-Варзуга; 7 — архейский фундамент; 8 — уровни развития оливиновых и плагноклаз-оливиновых кумулатов (а — содержащих ЭПГ, б — не минерализованных ЭПГ); 9 — контактовое ЭПГ оруденение; 10 — контур массива (а), границы пород (б), предполагаемая граница между нижней и верхней базитовыми зонами (в), разломы (г); 11 — залегание расслоенности; 12 — контуры наиболее изученных частей массива (а — детально разбуренные площади (Федоровотундровское месторождение), б — хорошо обнаженные площади); 13 — участки детального картирования

Главной задачей исследования был ответ на вопрос, волновавший многих геологов, — существуют ли платиноносные рифы в массиве Федоровой тундры, как в Западно- и Восточно-Панском массивах ФПРК. В качестве предпосылок для постановки поисковых работ в слабо изученных частях ФТМ использовались следующие два факта: 1) сосуществование в пределах одного интрузива платинометаллических руд рифового и контактового типов (примеры — Бушвельд, массив Суханко комплекса Порtimo, Западно- и Восточно-Панский массивы и др.); 2) наличие в ФТМ минерализации, которая в равной степени обогащена палладием и платиной (Pt/Pd ~1) и залегают выше обогащенных палладием контактовых руд (Pt/Pd ~0,2), по данным производственных отчетов ОАО «Пана», известным со времен первых поисковых скважин на ЭПГ. При построении детальных геологических разрезов по Федорово-тундровскому месторождению один из таких уровней удалось геометризовать (рис. 2), и он получил рабочее название риф Случайный (С-риф) [2, 3]. Этот уровень пересечен разведочными скважинами, пробуренными для вскрытия контактовых руд месторождения, и установлен как бы случайно, во многом благодаря применявшемуся при разведке сплошному опробованию керна. Характерные рудоносные породы С-рифа — мезократовые и меланократовые троктолиты, плагиогарцбургиты, в которых при отсутствии хорошо заметной сульфидной минерализации устанавливаются высокие содержания ЭПГ.

Предыдущими исследователями ФТМ [9] отдельные маломощные тела таких же пород, залегающие в монотонной толще лейкогаббро, отмечались выше по разрезу массива на протяжении >2,5 км видимой мощности, начиная от уровня С-рифа. В отчете М.К.Радченко они рассматриваются как поздние жильные образования (М.К.Радченко, 1975). Целе-направленно на ЭПГ они не опробовались. Для обнаружения ЭПГ-содержащих пород в верхних частях разреза массива нами проведены поисковые работы. Поисковым признаком при этом были не собственно сульфиды, по которым найдены практически все месторождения и проявления ЭПГ в ФПРК, а богатые оливином породы по аналогии с рифом Случайный.

В результате картировочных и поисковых работ определен ряд новых для массива тонко-расслоенных горизонтов, в строении которых участвуют богатые оливином породы. В одном из них установлены повышенные содержания ЭПГ и выделено новое рудопроявление — риф Невидимый (Н-риф).

Основные методы исследования — геологическое картирование в м-бе 1:10 000 по нескольким профилям условной топографической сети, заданной с помощью GPS-навигации, с отбором штучных проб на ЭПГ и детальное геологическое картирование в м-бе 1:100 на выделенных участках с отбором бороздовых проб. С учетом опыта подобных работ на других массивах ФПРК параметры борозд были следующие: ширина 5 см, глубина 7 см.

Содержания Au, Pt, Pd, Rh, Cu, Ni, Co и S в пробах определялись в лаборатории анализа благородных металлов и химико-аналитической лаборатории ГИ КНЦ РАН. Методы анализа: атомно-абсорбционный с пределами обнаружения для Au, Pd, Rh 0,004 г/т, Pt 0,02 г/т, Cu, Ni, Co 0,01 мас. % и весовой для S с пределом обнаружения 0,01 мас. %.

Минеральный состав изучался в аншлифах в отраженном свете и на сканирующем электронном микроскопе Leo-1450 с использованием детектора отраженных электронов при 60-кратном увеличении. Для диагностики минералов проводился точечный анализ их химического состава с использованием рентгеновского энергодисперсионного спектрометра Roentec. Микроассоциации минералов платиновых металлов и размеры их зерен определены по 100 цифровым изображениям в отраженных электронах.

Под *рифом* нами понимается маломощный (мощностью первые метры) протяженный горизонт в разрезе расслоенной серии интрузива с высокими и (или) повышенными содержаниями ЭПГ.

В работе использована классификация горных пород на основе общего модального минерального состава породы [5], в дополнение к которой породы классифицируются по типам кумулатов [11, 13]. В последнем случае для минералов использованы следующие сокращения: о — оливин, р — плагиоклаз, b — ортопироксен (энстатит), а — клинопироксен (авгит).

Интрузив Федоровой тундры представляет собой клиновидное в плане тело преимущественно основных пород, падающее на юго-запад под различными углами и простирающееся в северо-западном направлении на расстояние ~15 км (см. рис. 1). С северо-востока массив граничит с архейскими гранито-гнейсами, юго-запада — с метавулканитами зоны Имандра-Варзуга. Границы его тектонизированы, площадь составляет ~45 км², с северо-запада на юго-восток видимая мощность изменяется от сотни метров до 5,5 км, юго-восточная часть срезана Цагинским разломом.

В строении ФТМ выделяются расслоенная и краевая серии пород (см. рис. 1). Следует отметить, что термин краевая серия в данном случае является

описательным и не несет генетической нагрузки, которая подразумевается учением о расслоенных интрузиях.

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. Мощность серии колеблется от первых десятков метров на участке выклинивания массива на северо-западе до 800–900 м в местах желобообразных углублений и в среднем составляет около 250 м. На контакте с гнейсами породы серии метаморфизованы, часто наблюдается развитие по ним сланцев и бластомилонитов. Самые распространенные породы серии — такситовые базиты различного минерального состава, которые чаще всего соответствуют габброноритам. Такситовость пород обусловлена, прежде всего, резкими колебаниями размеров минеральных зерен в породах. В относительно небольших образцах отмечается незакономерное чередование габброноритов мелкозернистого, среднезернистого, крупнозернистого и пегматоидного сложения. В породах часто присутствуют интерстициальный голубой кварц (до 10 об. %) и сульфидная вкрапленность (0,5–1,5 об. %).

Вкрапленность сульфидов беспорядочно рассеяна в такситах и наиболее обильна в породах с наибольшими колебаниями по зернистости. В северо-западной части краевой серии, на участках Малый и Средний Ихтегипахк, породы с сульфидной вкрапленностью содержат небольшие количества ЭПГ, редко достигающие первых граммов на 1 т; мощности минерализованных интервалов не превышают десяти метров. В юго-восточной части серии породы с ЭПГ-содержащей сульфидной вкрапленностью образуют залежи мощностью до 200 м, содержания в первые граммы на 1 т становятся средними, а максимальные концентрации достигают первых десятков граммов на 1 т. Данное ЭПГ-оруденение относится к контактовому типу и характеризуется Pt-Pd специализацией (с существенной стоимостной долей Ni) со средним отношением Pt/Pd 0,2, средней концентрацией S 1,5 мас. % [15].

Расслоенная серия имеет видимую мощность до 4700 м и по типам кумулатов подразделяется на три зоны: ультрамафитовую (bC, boC), нижнюю базитовую (rabC и pC) и верхнюю базитовую (pC). Нижний контакт расслоенной серии — интрузивный. Здесь расслоенная серия несет следы воздействия на нее краевой серии, которое выражается в следующем [2]. Повсеместно в краевой серии отмечаются эруптивные брекчии с обломками ультрамафитовых пород расслоенной серии. На одних участках массива такситы при переходе к нижней

базитовой зоне вверх по разрезу сменяются мощным (50–100 м) слоем кумулатов pC, на других — rabC, что можно объяснить различным уровнем интрузивного среза нижней базитовой зоны снизу. В лейкократовых кумулатах pC нижней базитовой зоны, в случае их контакта с такситами, хорошо видны секущие жильные тела последних с закаленными зальбандами. Породы краевой серии срезают С-риф нижней базитовой зоны, что показано на детальном геологическом разрезе (см. рис. 2). По этому ряду признаков и геохронологическим данным [3] расслоенная серия рассматривается как более древняя первая фаза внедрения (2526–2507 млн. лет), а краевая — как наложенная вторая интрузивная фаза ФТМ (2485–2491 млн. лет).

Ультрамафитовая зона выделена на участке Большой Ихтегипахк (см. рис. 1, 2), где расслоенная серия имеет наибольшую мощность, и прослеживается по простиранию массива приблизительно на 1 км при мощности до 200 м. Вблизи границы с вышележащей нижней базитовой зоной она представлена кучным скоплением крупных (до 50–100 м) обломков пироксенитов (см. рис. 2). На других участках массива породы ультрамафитовой зоны наблюдаются в виде разрозненных обломков в матрице пород краевой серии на различном удалении от нижней базитовой зоны. Преобладающими породами являются плагиоклазовые ортопироксениты bC, помимо которых встречаются оливиновые пироксениты bC и гарбургиты obC.

Нижняя базитовая зона представлена грубым линзовидно-ритмичным чередованием лейкократовых (и мезократовых) габбро pC и мезократовых габброноритов rabC. В основании зоны выделяется уровень ЭПГ-минерализации рифового типа — С-риф [2, 3], по аналогии с которым и проводились поиски в верхних частях разреза массива.

С-риф подсечен более чем в 70 разведочных скважинах Федоровотундровского месторождения, большинство из которых расположены на южном окончании участка Большой Ихтегипахк. На детальном разрезе устанавливается контакт ультрамафитовой и нижней базитовой зон (см. рис. 2). В месте контакта массивные полевошпатовые пироксениты ультрамафитовой зоны резко сменяются вверх по разрезу ритмичным тонким чередованием гарбургитов, троктолитов, оливиновых лейкогабброноритов и лейкогаббро, которое выделяется как *переходная подзона* мощностью 5–10 м. Выше этой подзоны наблюдается обычное для нижней базитовой зоны грубое чередование лейкогаббро pC и габброноритов rabC. В породах подзоны во всех ее пересечениях отмечаются повышенные содержания ЭПГ (С-риф), в отдельных пробах

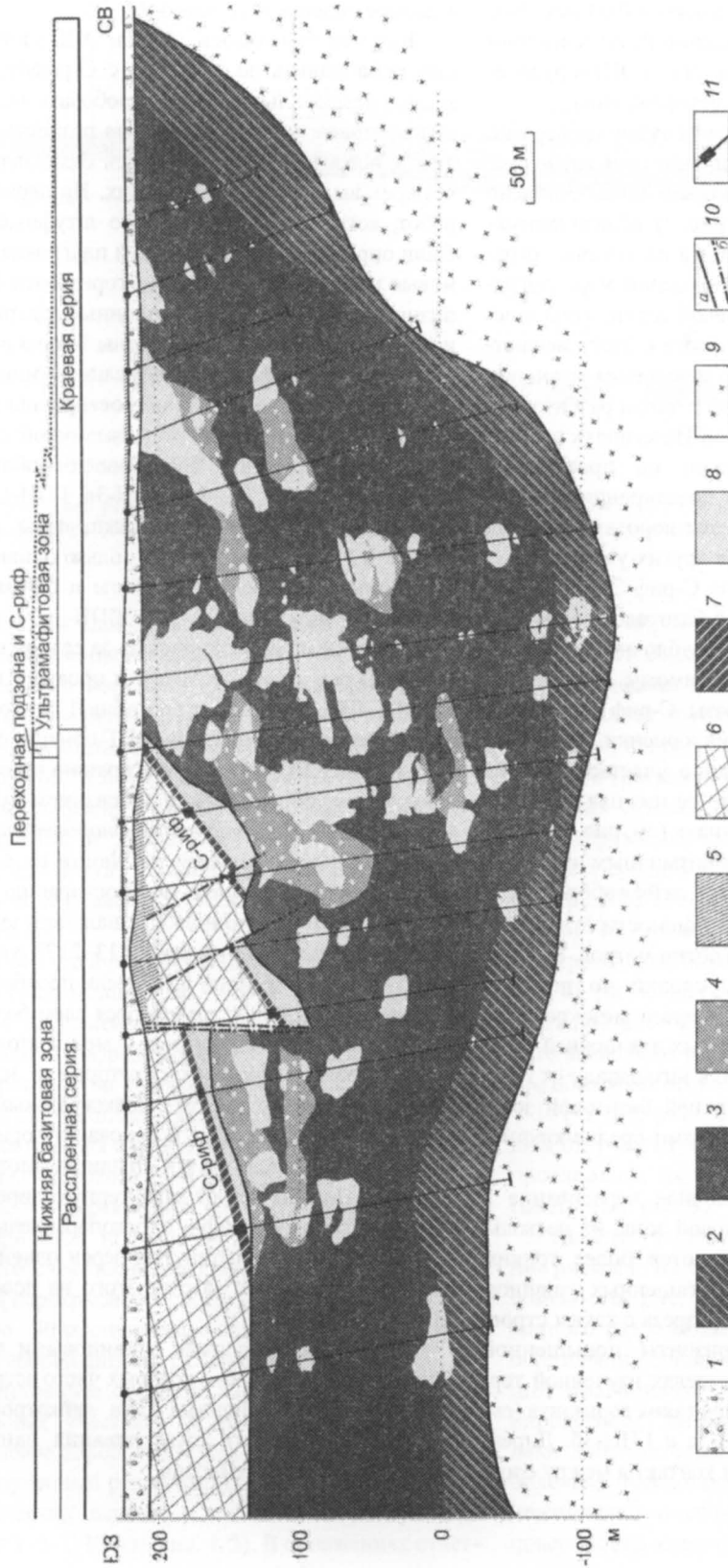


Рис. 2. Геологический разрез через нижние части массива Федоровой тундры, составил Н.Ю.Грошев по материалам ЗАО «Федорово Ресурсес» и ОАО «Пана»:

1 — рыхлые моренные отложения; оруденные породы красной серии: 2 — такситовые метагабронориты, 3 — такситовые габронориты с подчиненными плагиоироксенитами бС, 4 — меланократовые такситовые нориты и габронориты, содержащие большое количество мелких обломков плагиоироксенитов (до 50% в выделенном по скважине «слое»); расслоенная серия: 5 — габронориты рабС, 6 — лейкогабро рСаб, 7 — переходная подзона нижней базитовой зоны: чередование плагиоклазовых гарцбургитов обС, троктолитов роС и лейкогабро рС, 8 — плагиоироксениты бС с подчиненными оливинными пироксенитами бС и гарцбургитами обС; 9 — архейские гнейсы; 10 — важнейшие геологические границы (а), разломы (б); 11 — интервалы с минерализацией ЭПГ рифового типа (С-риф)

достигающие 45 г/т. Содержания S при этом не превышают 0,40 мас. % в лейкогаббро и 0,03 мас. % в гарцбургитах. Среднее отношение Pt/Pd примерно в 2–3 раза выше, чем у контактового ЭПГ-оруденения Федоровотундровского месторождения.

Переходная подзона и С-риф служат маркерами, по которым можно определить залегание грубо расчлененных пород нижней базитовой зоны. Согласно геологическим разрезам (см. рис. 2), вблизи контакта с краевой серией зона разбита на крупные ограниченные разломами блоки, в разной мере погруженные по ним в породы краевой серии. Углы залегания переходной подзоны от блока к блоку меняются от 50 до 15° с тенденцией уменьшения углов при движении на юго-запад. С-риф в таком разбитом на блоки виде на участке Большой Ихтегипахк практически непрерывно прослежен на протяжении нескольких сотен метров по простиранию и падению. По падению риф срезается породами краевой серии на глубинах ~100 м. На других участках массива (Пахкварака) похожая на С-риф ЭПГ-минерализация встречается в нижней базитовой зоне лишь по отдельным скважинам. Ввиду блочного строения зоны, обусловленного, по-видимому, внедрением магмы второй интрузивной фазы, С-риф крайне сложен для дальнейшего изучения и оценки.

Геологическое картирование участков *верхней базитовой зоны* показало, что ее нижняя часть, до уровня горы Большой Ихтегипахк (см. рис. 1), представлена грубым линзовидно-ритмичным чередованием средне-крупнозернистых лейкогаббро рС и лейкогабброноритов рС* при мощности отдельных слоев-линз первые десятки и сотни метров. Нижняя граница зоны проводится условно по первому появлению в нижней части разреза мезократовых габброноритов раbС, характерных для нижней базитовой зоны. В верхней части, к юго-западу от горы Федорова тундра, разрез верхней базитовой зоны однороден и сложен монотонными средне-крупнозернистыми лейкогаббро рС.

Грубое линзовидно-ритмичное чередование в нижней части верхней базитовой зоны на нескольких уровнях разреза осложняется более тонким переслаиванием с участием обогащенных оливином пород (троктолитов). Уровни разреза с таким строением выделяются как горизонты повышенной неоднородности (ГПН). В пределах изученной территории нами выделено четыре таких горизонта (см. рис. 1): ГПН-1, ГПН-2, ГПН-3а и ГПН-3б. Директивные текстуры в породах и контакты между слоя-

ми в их пределах имеют однообразное крутое юго-западное падение под углами 65–70°.

Как уже отмечалось, поиски ЭПГ-минерализации проводились по аналогии с С-рифом. Стояла задача максимально полно опробовать по разрезу мезократовые и меланократовые разности троктолитов, встречающиеся в верхней базитовой зоне в четырех выделенных горизонтах. На первом этапе работ, когда отбирались только штуфные пробы, были опробованы оливиновые и плагиоклаз-оливиновые кумулаты всех четырех горизонтов (проанализировано ~70 проб). Повышенные содержания Pt и Pd (>0,1 г/т Pt+Pd) обнаружены только в кумулатах ГПН-1. Штуфным опробованием минерализация прослежена на 350 м по простиранию горизонта. На втором этапе работ с различной степенью детальности проведено бороздвое опробование по разрезам ГПН-1, ГПН-2 и ГПН-3а. ГПН-1 дважды полностью пересечен бороздами, а по разрезам ГПН-2 и ГПН-3а опробованы только оливиновые и оливин-плагиоклазовые кумулаты и близко прилегающие к ним породы. Для ГПН-3б бороздвое опробование не проводилось из-за слабой обнаженности. В результате отобраны и проанализированы на ЭПГ 95 бороздовых проб общей длиной ~60 м. Повышенные концентрации ЭПГ обнаружены только в породах ГПН-1, по простиранию которого они прослежены бороздвым опробованием на 170 м.

Горизонт повышенной неоднородности 1 (риф Невидимый) при видимой мощности от 4 до 12 м прослежен в обнажениях по простиранию на 400 м (см. рис. 1). Породы горизонта падают в юго-западном направлении по азимуту 213–217°, углы падения 59–70° при среднем 65°. Среди преобладающих лейкокатовых пород отмечаются слои более меланократовых дифференциатов — мезократовых и меланократовых троктолитов, которые в идеальном случае формируют вместе с лейкокатовыми разностями трехслойный ритм. В основании горизонта залегает слой троктолитов роСаб или меланотроктолитов оСр. Породы имеют характерную директивную текстуру, обусловленную плоскопараллельной ориентировкой слегка вытянутых зерен оливина, и отчетливо выделяются за счет этого на поверхности выветривания.

Средний слой сложен оливиновыми лейкогабброноритами рС(о)аб, в которых часто встречаются небольшие неправильные тела лейкотроктолитов роСаб. Поверхность выветривания данных пород — форелленштейновья.

* Лейкогаббро — традиционно используемый термин для пород, которые, как показано ранее [1], представляют собой сосюритизированные и амфиболитизированные в результате автотематоморфизма лейкогаббронориты.

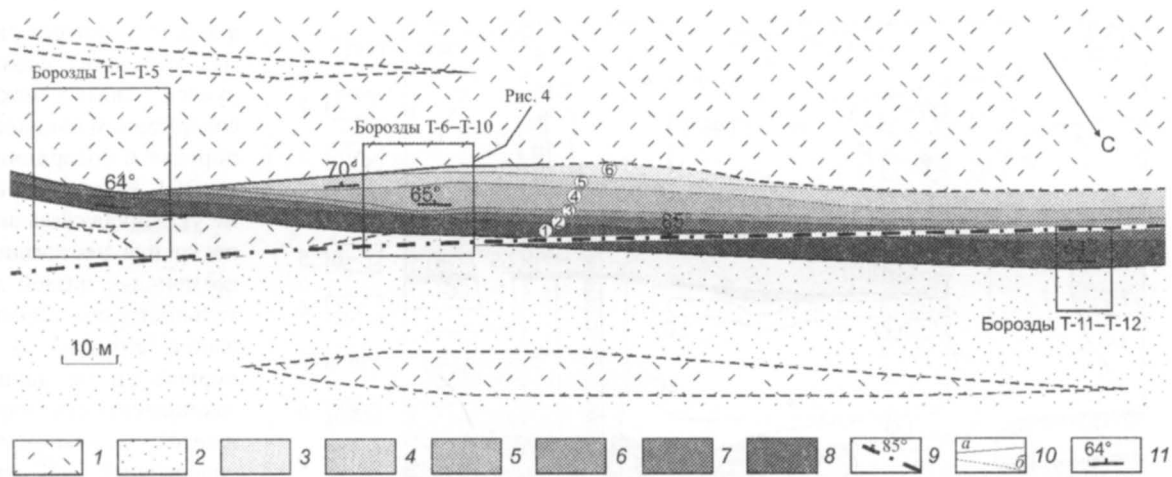


Рис. 3. Геологическая карта-схема ГПН-1:

1 — лейкогаббро рСаb; 2 — лейкогаббронориты рС(о)ab; 3–8 — ритмы ГПН; 9 — разлом; 10 — границы между породами и ритмами ГПН (а — установленные, б — предполагаемые); 11 — элементы залегания ритмов

Верхний слой представлен лейкогаббро рСаb, реже лейкогабброноритами рСаb. Как правило, он выделяется в разрезе по характерным аутометаморфическим изменениям пород, которые заключаются в сосюритизации плагиоклаза и амфиболизации пироксенов. Сосюритизированный плагиоклаз изменяет 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.

ГПН-1 подстилается толщей лейкогабброноритов рС(о)ab мощностью >100 м, в которых встречаются линзы лейкогаббро рСаb (рис. 3). В породах отмечаются разрозненные маломощные линзы и тела троктолитов неправильной формы размером до 20 см. ГПН-1 согласно залегает на этой толще пород. Нижняя граница горизонта отчетливо выделяется по подошве метрового слоя мезократовых троктолитов (рис. 4, 5) с директивной текстурой. Верхняя граница горизонта проводится условно по подошве третьего слоя последнего ритма (см. рис. 4, 5). Горизонт перекрывается слоем лейкогаббро рСаb мощностью ~40 м, сменяющимся выше по разрезу снова лейкогабброноритами рС(о)ab.

Внутреннее строение ГПН-1 изучено на трех детальных участках, на которых производилось бороздвое опробование (см. рис. 3). Наиболее полный изученный разрез горизонта состоит из шести ритмических единиц и наблюдается на участке борозд Т-6–Т-10 (см. рис. 4, 5). В обнажениях отчетливо видны три нижние ритмические единицы, верхние три ритма видны хуже и установлены по

бороздам опробования. В первых двух ритмах отсутствует верхний слой. Средний слой первого ритма содержит повышенное относительно аналогичных слоев других ритмов количество троктолитовых тел неправильной формы (см. рис. 4). Верхний слой третьей ритмической единицы в ее северо-западных сечениях редуцирован, но в юго-восточном направлении он постепенно «замещает» средний слой (см. рис. 4). На участке Т-1–Т-5 средний слой третьего ритма отсутствует (см. рис. 5). Четвертый, пятый и шестой ритмы в местах их пересечения бороздами имеют все три слоя (см. рис. 4). Наблюдается тенденция выклинивания ритмов в юго-восточном направлении за счет постепенного выпадения из разреза средних и нижних слоев, что объясняет отсутствие данных ритмов на участке Т-1–Т-5 (см. рис. 5). В северо-западном направлении от участка Т-6–Т-10 верхние ритмы не были прослежены, их границы показаны как предполагаемые (см. рис. 3).

Между участками Т-6–Т-10 и Т-11–Т-12 нижние ритмы ГПН-1 под острым углом рассечены разломом (см. рис. 3). Наиболее явным выражением данного разлома являются метасоматические преобразования оливиновых пород в виде серицитизации плагиоклаза и амфиболизации оливина и пироксенов. При картировании эти изменения создают дополнительные трудности, поскольку амфиболовые псевдоморфозы по оливину в отличие от неизмененного оливина практически незаметны на поверхности выветривания.

Средние содержания благородных металлов, Cu, Ni и S в породах, опробованных бороздвым

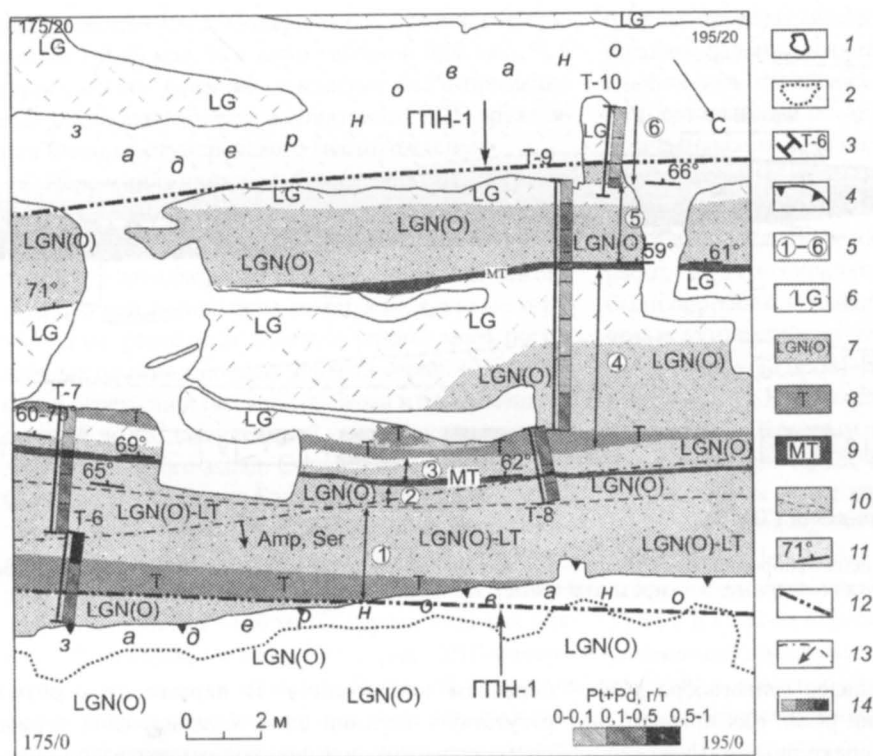


Рис. 4. Геологическое строение ГПН-1 на участке Т-6–Т-10 и результаты его опробования на ЭПГ:

1 — контуры обнажений; 2 — контуры развалов элювиально-делювиальных глыб; 3 — положение борозд и их номера; 4 — субвертикальная стенка ущелья; 5 — номера ритмических единиц; 6 — лейкогаббро; 7 — оливиновые и оливинсодержащие лейкогаббронориты с подчиненными лейкотроктолитами, особенно многочисленными в первом ритме; 8 — троктолиты; 9 — мезо-меланократовые троктолиты; 10 — прослой трахитоидных мезо-меланократовых троктолитов мощностью 2–3 см (вне масштаба); 11 — залегание директивных текстур и расчлененности; 12 — границы ГПН-1; 13 — граница распространения метасоматически измененных, серицитизированных и амфиболитизированных пород; 14 — секции бороздовых проб

способом в районе ГПН-1, приведены в табл. 1. Повышенные содержания ЭПГ характерны для всех типов пород горизонта, за исключением лейкогаббро. В большинстве проб отмечаются примерно равные соотношения Pt и Pd с небольшим преобладанием Pt. Среднее значение отношения Pt/Pd для проб с содержанием Pt и Pd >0,1 г/т составляет 1,2 при вариациях от 0,5 до 2,7. Максимальные содержания Pt (0,65 г/т), Pd (0,34 г/т), Pt+Pd (0,89 г/т) установлены в мезо-меланократовых троктолитах.

Обращают на себя внимание закономерно связанные с ритмичностью изменения содержаний Pt+Pd, наблюдаемые в 3-м, 4-м, 5-м и 6-м ритмах (см. рис. 5). В нижних богатых оливином слоях этих ритмов отмечаются максимумы концентраций Pt+Pd, в средних (с меньшим количеством оливина) содержание Pt+Pd постепенно снижается, в верхних безоливиновых — повышенные концентрации Pt+Pd не наблюдаются. Таким образом,

в верхних четырех ритмах отчетливо фиксируется связь между содержанием оливина в породах и содержаниями ЭПГ. Во втором ритме указанная связь видна крайне неотчетливо по причине низкой детальности его опробования (см. рис. 5). В первом ритме данная закономерность нарушается, и максимумы содержаний ЭПГ располагаются непосредственно над нижним слоем. Несмотря на это, в целом для пород горизонта связь между содержаниями оливина и концентрациями ЭПГ очевидна, так как средние содержания Pt+Pd возрастают в ряду пород, расположенных по увеличению количества содержащегося в них оливина (см. табл. 1).

Приведенные данные позволяют выделить в ФТМ новое рудопроявление — риф Невидимый (Н-риф), расположенный на уровне разреза верхней базитовой зоны с повышенными содержаниями Pt+Pd, локализующимися в средних и нижних слоях ритмических единиц ГПН-1.

Видимой макроскопической сульфидной минерализации, а также высоких концентраций Cu, Ni и S (см. табл. 1) в породах ГПН-1 не установлено. В этой связи возникает вопрос о форме нахождения ЭПГ в породах ГПН-1.

До минералогических исследований складывалось впечатление, что минералы платиновых металлов должны быть приурочены к силикатам, а именно к оливину. Об этом свидетельствовали намечающиеся на разрезах ГПН-1 прямая связь концентраций ЭПГ с содержаниями оливина в породах и обратная связь концентраций ЭПГ и S (см. рис. 5; табл. 1). Изучение шлифов позволило установить крайне незначительную по объему рассеянную сульфидную вкрапленность, и при детальном исследовании, несмотря на отсутствие макро-

способом в районе ГПН-1, приведены в табл. 1. Повышенные содержания ЭПГ характерны для всех типов пород горизонта, за исключением лейкогаббро. В большинстве проб отмечаются примерно равные соотношения Pt и Pd с небольшим преобладанием Pt. Среднее значение отношения Pt/Pd для проб с содержанием Pt и Pd >0,1 г/т составляет 1,2 при вариациях от 0,5 до 2,7. Максимальные содержания Pt (0,65 г/т), Pd (0,34 г/т), Pt+Pd (0,89 г/т) установлены в мезо-меланократовых троктолитах.

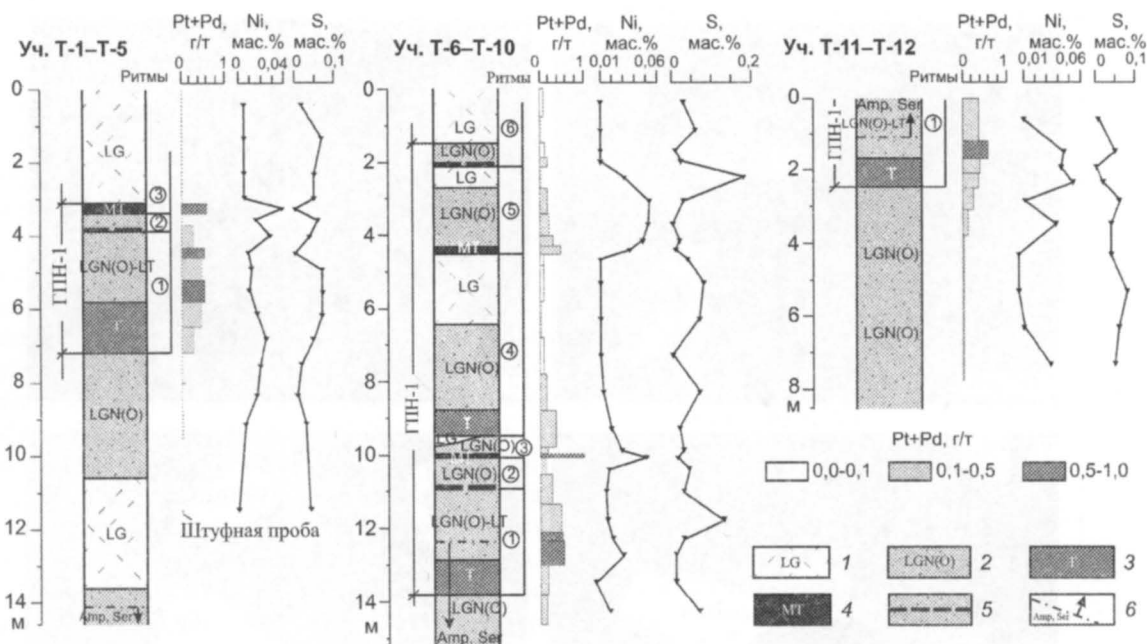


Рис. 5. Составные разрезы через ГПН-1 по различным участкам бороздового опробования с вариациями содержания Pt+Pd, Ni и S:

усл. обозн. см. рис. 4, соответственно, зн. 6–10 и 13

скопических сульфидов, ассоциация минералов платиновых металлов с сульфидами проявилась.

Среди рудных минералов в изученных шлифах пород, содержащих оливин, преобладают оксиды Fe и Ti, представленные мелкими зернами магнетита и ильменита, образовавшиеся в основном при вторичных и реакционных изменениях оливина. Эти минералы распространены в породах с той же равномерностью, что и оливины. Сульфиды же образуют тонкую редкую крайне неравномерно рассеянную вкрапленность, по объему явно уступающую оксидной минерализации. Типичное местоположение вкрапленности — реакционные

каймы между кумулятивными оливином и плагиоклазом (рис. 6, а, б, г, д). В интеркумулятивных пироксенах вкрапленность более редкая. Размеры отдельных зерен сульфидов изменяются в пределах 2–400 μm при средних значениях 50–80 μm.

Установлены следующие минералы сульфидной вкрапленности (в порядке убывания по распространенности) — халькопирит, халькозин, марказит, пирротин, виоларит, пентландит, сфалерит, миллерит. Все изучавшиеся образцы отобраны с поверхности, и сульфиды в них несут следы значительных гипергенных изменений. Вполне вероятно, что первичная ассоциация главных минера-

1. Средние содержания благородных металлов, меди, никеля и серы в породах ГПН-1 по данным бороздового опробования, г/т

Типы пород	Au	Pt	Pd	Cu	Ni	S	2ЭПГ	2ЭПГ*	Pt/Pd	Число проб
MT	0,005	0,4	0,3	94	438	210	0,6	0,89	1,5	5
T	0,004	0,2	0,2	50	332	330	0,4	0,44	0,9	5
LGN(O)	0,003	0,3	0,1	60	230	360	0,3	0,56	1,3	25
LG	0,003	<0,1	<0,1	70	130	640	<0,1	0,10	-	12

Примечание. MT — мезо-меланократовые троктолиты, T — троктолиты, LGN(O) — оливиновые лейкогаббронориты с подчиненными лейкотроктолитами, LG — лейкогаббро. Кроме указанных элементов, в пробах определялись Au, Rh и Co; они не образуют концентраций, существенно превышающих порог обнаружения. 2ЭПГ* — максимальные содержания для каждой группы пород.

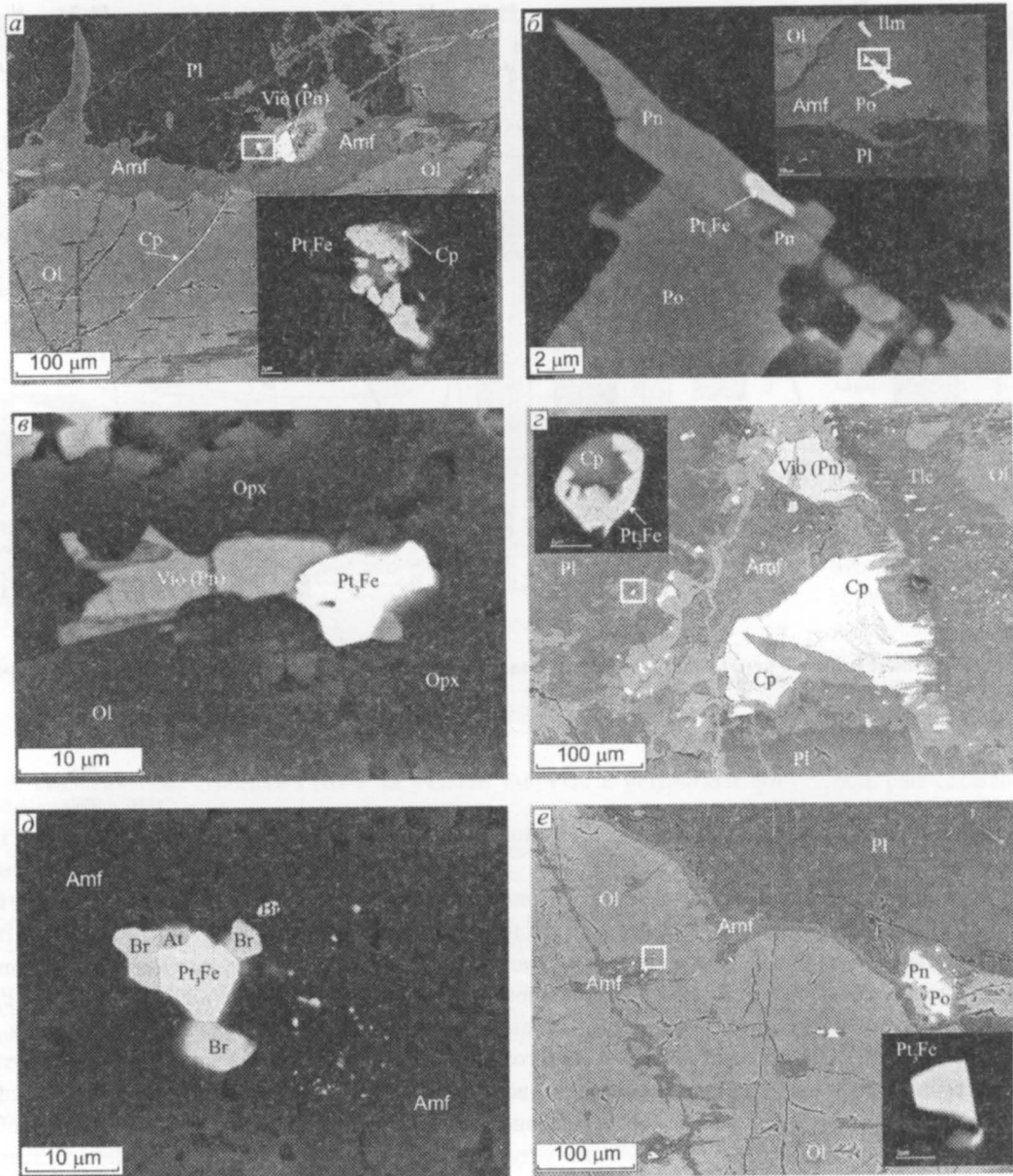


Рис. 6. Морфологические особенности, локализация и микроассоциации зерен минералов платиновых металлов Н-рифа (SEM-фото):

принятые сокращения: Br — брэггит, At — атокит, Pn — пентландит, Vio (Pn) — виоларитизированный пентландит, Po — пирротин, Cr — халькопирит, Cst — халькозин, Ilm — ильменит, Tlc — тальк, Amf — амфибол, Pl — плагиоклаз, OpX — ортопироксен, Ol — оливин

лов включала типичную для Федорово-Панского комплекса тройку главных сульфидов — халькопирит, пирротин и пентландит, которые заместились при выветривании халькозином, марказитом и виоларитом соответственно. Высокая распространенность халькопирита и халькозина относительно других сульфидов позволяет предполагать, что первичная сульфидная фракция была обогащена Cu.

Первые данные по химическому составу сульфидов, полученные при проверке их на наличие примесей ЭПГ, показывают, что пентландит иногда содержит примесь Pd в количестве 0,39–5,67 мас. %.

В породах Н-рифа, кроме пентландита, диагностированы 12 собственных минеральных видов платиновых металлов и несколько минеральных фаз без названия (табл. 2). Всего диагностировано и измерено 145 зерен минералов платиновых метал-

лов. Размеры зерен 0,5–10 μm , средний — 3 μm . Максимальные размеры зерен характерны для сплавов Pt-Fe («изоферроплатины») и достигают $5 \times 10 \mu\text{m}$.

Гранулометрические характеристики были использованы для вычисления объема зерен при расчете относительной распространенности минералов платиновых металлов в процентах от общего их объема. По этому параметру к категории главных (>10% от общего объема) относятся два платиновых минерала: сульфид — брэггит (11%) и интерметаллид — изоферроплатина (84%). Ассоциация минералов платиновых металлов Н-рифа по набору главных минералов может быть определена как сульфидно-интерметаллидная. Это отличает Н-риф как от контактового ЭПГ-оруденения массива, главные минералы платиновых металлов которого представлены сульфидами и висмута-теллуридами [2, 7], так и от оруденения С-рифа с доминированием в составе арсенидов Pt и Pd [2]. Отсутствие среди них палладиевых минералов свидетельствует о том, что большая часть Pd в ЭПГ-содержащих породах Н-рифа концентрируется в пентландите. Остальные десять минералов и три фазы относятся к категории второстепенных и редких минералов и составляют в сумме менее 5% от общего объема. Обращает на себя внимание присутствие в данной категории Cu-содержащих минералов — палладия (Pd, Cu, Fe) и бортниковита $\text{Pd}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$, что подчеркивает предполагаемый медистый характер сульфидной минерализации рифа.

Количественная оценка микроассоциаций минералов платиновых металлов показывает их тесную пространственно-генетическую связь с сульфидами. Примерно половина зерен (52%) включена в сульфиды или располагается на границе силикат-сульфид (см. рис. 6, а-г). Другая половина (40%) ассоциирует с вторичными силикатами, преимущественно с амфиболом (см. рис. 6, д). При локализации минералов платиновых металлов во вторичных силикатах нередко скопления сульфидов в непосредственной близости от них. Зерна минералов платиновых металлов, расположенные в первичных силикатах (8%) — оливине (см. рис. 6, е) и плагиоклазе, встречаются редко.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Верхняя часть ФТМ, выделяемая как верхняя базитовая зона расслоенной серии (ранее габбровая зона) и считавшаяся длительное время однородной, имеет неоднородное, расслоенное строение, определяемое в целом грубым ритмичным чередованием плагиоклазовых кумулатов, измененных автаморфическими процессами (лейкогаббро) и неиз-

2. Минералы платиновых металлов Н-рифа

<i>Минералы и минеральные фазы</i>
Изоферроплатина (Pt,Pd)₃Fe
Палладий (Pd, Cu, Fe)
Звягинцевит Pd_3Pb
Бортниковит $\text{Pd}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$
Атокит $(\text{Pd,Pt})_3\text{Sn}$
Паларстанид $\text{Pd}_5(\text{Sn,As})_2$
Брэггит (Pt,Pd,Ni)S
Сперрилит PtAs_2
Стиллоутерит Pd_8As_3
Мергиит $\text{Pd}_{11}(\text{Sb,As})_4$
Кейтконнит Pd_{3-x}Te
Котульскит $\text{Pd}(\text{Te,Bi})$
<i>Минеральные фазы</i>
Без названия Pd_mAs_n , при $m > n$
То же, $(\text{Pd,Pt})_8(\text{As,Sn})_3$
То же, $\text{Pd}_3(\text{Te,As})$

Примечание. Жирным шрифтом выделены главные минералы, остальные — второстепенные и редкие.

мененных (лейкогаббронориты). Грубая расслоенность осложнена более тонким и контрастным чередованием пород в пределах горизонтов повышенной неоднородности.

Наиболее обогащенные оливином (а иногда Pt и Pd) круто залегающие меланократовые троктолиты являются сингенетическими членами разреза верхней базитовой зоны, поскольку участвуют в ритмичном строении горизонтов, устойчиво располагаясь в основании ритмов, и связаны закономерными переходами по составу и структурам (иногда и по содержаниям Pt и Pd) с вышележащими слоями. Нет никаких оснований для трактовки их в качестве поздних жильных инъекций в основную массу пород верхней базитовой зоны, как предполагала М.К.Радченко. Крутое залегание этих пород, по-видимому, обусловлено поздним тектоническим разворотом массива в целом.

В ФТМ установлен рифовый тип малосульфидного платинометалльного оруденения, представленный рифами Случайный и Невидимый. Рифы характеризуются тесной связью с оливинсодержащими породами, низкими содержаниями и мелкими размерами сульфидов, одинаковой обогащенностью Pt и Pd и отличаются от контактового оруденения ФТМ по минеральному составу. Известный уровень концентрации благородных металлов в рифах в целом невелик, но в отдельных пробах может достигать высоких значений (до 45 г/т в С-рифе, подробные данные о последнем не публикуются в связи с их конфиденциальностью по лицензионному соглашению).

Дальнейшие поисковые работы на рифовые Pt-Pd руды следует сконцентрировать в слабо изученных верхних частях массива, прежде всего, на уровне Н-рифа. Доказанная протяженность ГПН-1, к которому приурочен риф, в настоящий момент составляет 400 м. Можно предполагать, что истинная протяженность данного горизонта не менее 3,5 км, как и ГПН-3а (см. рис. 1). При поисках рифов в нижних частях расслоенной серии необходимо учитывать, что они могли быть подвержены влиянию внедрения магмы второй фазы, т.е. разобщены на блоки, частично или полностью уничтожены поздним внедрением.

За всестороннюю поддержку данного исследования и руководство авторы выражают искреннюю благодарность Ф.П. Митрофанову. Кроме того, глубоко признательны сотрудникам ГИ КНЦ А.У. Корчагину, В.В. Субботину, Т.В. Рундквист, П.В. Припачкину за обсуждение различных аспектов работы, а также технику-геологу А.Ф. Трошкову, студентам кафедры геологии МГТУ Е.С. Борисенко, А.Н. Иванову, Е.Л. Кунакузину, Е.В. Одинцовой, участвовавшим в полевых работах.

Работы проводились при финансовой поддержке гранта РФФИ-офис 09-05-12028 и приоритетной программы ОНЗ РАН № 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грошев Н.Ю.* Флюидизация базитовых расплавов как причина расслоенности на примере строения верхних зон массива Федоровой тундры (Кольский полуостров) // Проблемы рудогенеза докембрийских щитов. Апатиты, 2008. С. 88–91.
2. *Грошев Н.Ю., Корчагин А.У., Митрофанов Ф.П., Субботин В.В.* Расслоенная и краевая серии платиноносного массива Федоровой тундры (Кольский полуостров): принципы выделения, геолого-петрологическая характеристика и ЭПГ-минерализация // Мат-лы научной сессии, посвященной Дню российской науки. Апатиты, 2010. С. 34–41.
3. *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. Т. 27. № 5. С. 669–673.
4. *Казанов О.В., Калинин А.А.* Геологическое строение и платинометаллическая минерализация Восточно-Панского массива // Результаты проекта «Стратегические минеральные ресурсы — основа устойчивого развития Севера» (Россия — Финляндия — Швеция). Апатиты, 2008. С. 56–67.
5. *Классификация и номенклатура магматических горных пород: справочное пособие.* — М.: Недра, 1981.
6. *Корчагин А.У., Митрофанов Ф.П.* Месторождения МПГ западной части Федорово-Панских тундр (Федорово и Малая Пана): состояние и перспективы освоения // Результаты проекта «Стратегические минеральные ресурсы — основа устойчивого развития Севера» (Россия — Финляндия — Швеция). Апатиты, 2008. С. 42–51.
7. *Минералы платиновых металлов и новые данные о главных минералах руд Федорово-Панского массива / Н.Л. Балабинин, А.У. Корчагин, В.В. Субботин и др. // Вестн. МГТУ. 2000. Т. 3. № 2. С. 179–204.*
8. *Минерально-сырьевой потенциал платиновых металлов России на пороге XXI в. / Д.А. Додин, Н.М. Чернышов, Б.А. Яцкевич и др. // Платина России. М., 1999. Т. 3. Кн. 1. С. 153–161.*
9. *Радченко М.К.* Особенности строения массива ультраосновных-основных пород Федоровой тундры // Базит-гипербазитовый магматизм Кольского полуострова. Апатиты, 1978. С. 84–96.
10. *Рудная платинометаллическая минерализация в расслоенном Мончегорском магматическом комплексе (Кольский полуостров, Россия) / Т.Л. Гроховская, Г.Ф. Бакаев, В.В. Шолохнев и др. // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 4. С. 329–352.*
11. *Уэйджер Л., Браун Г.* Расслоенные изверженные породы. — М.: Мир, 1970.
12. *Iijima M., Lee C.* PGE deposits in the marginal series of layered intrusions // Exploration for Platinum-Group Element deposits. Mineralogical Association of Canada, Short Course Series. 2005. Vol. 34. P. 75–96.
13. *Irvine T.H.* Terminology for layered intrusions // J. Petrol. 1982. Vol. 23. P. 127–162.
14. *Naldrett A.J.* Secular variation of magmatic Sulfide Deposits and their Source Magmas // Econ. geol. 2010. Vol. 105. P. 669–688.
15. *Schissel D., Tsvetkov A.A., Mitrofanov F.P., Korchagin A.U.* Basal Platinum-Group Element Mineralization in the Fedorov Pansky Layered Mafic Intrusion, Kola Peninsula, Russia // Econ. geol. 2002. Vol. 97. P. 1657–1677.