РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

6/2012

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Б.К.Михайлов

Зам. главного редактора И.Ф.Мигачев
Зам. главного редактора Н.И.Назарова

А.Н.БАРЫШЕВ
Б.И.БЕНЕВОЛЬСКИЙ
В.И.ВАГАНОВ
С.С.ВАРТАНЯН
А.В.ВОЛКОВ
А.А.ГОЛОВИН
Ю.К.ГОЛУБЕВ
В.С.ЗВЕЗДОВ
П.А.ИГНАТОВ
А.И.ИВАНОВ
М.М.КОНСТАНТИНОВ
С.Г.КРЯЖЕВ
В.В.КУЗНЕЦОВ
Г.А.МАШКОВЦЕВ
Г.В.РУЧКИН
Г.В.СЕДЕЛЬНИКОВА

УЧРЕДИТЕЛЬ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ РОСНЕДРА МИНИСТЕРСТВА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Издается при участии
Международной академии минеральных ресурсов,
Фонда им. академика В.И.Смирнова

Москва ЦНИГРИ 2012

Редакция: Н.И.Назарова, Г.В.Вавилова
Компьютерный набор, верстка и оригинал-макет: Т.В.Лукина

Сдано в набор 26.11.12 г.
Подписано в печать 03.12.12 г.
Тираж 400 экз.

Формат 30×42 1/2
Бумага листовая
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ЦНИГРИ
Телефон: 315-28-47
Факс: 315-43-47
E-mail: rudandmet@yandex.ru
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Журналу «Руды и металлы» — 20 лет 4

Статьи, посвященные 110-летию М.Н.Годлевского (27.10.1902–05.06.1984)

Лихачев А.П.
Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения: зарождение, внедрение и становление рудоносных мафит-ультрамафитовых магм 9

Чернышов Н.М.
Сульфидные платиноидно-медно-кобальт-никелевые руды еланского типа 24

Дюжиков О.А.
Условия формирования Норильско-Талнахского платиноидно-медно-никелевого гиганта 38

Михалев С.К., Служеникин С.Ф., Туровцев Д.М., Кравцов В.Ф.
Платино-медно-никелевое оруденение в ультрабазит-базитовых интрузивах и контактово-метаморфических породах среднего течения р. Кулюмбе, северо-запад Сибирской платформы 43

Мочалов А.Г., Перцев А.Н.
Минералы платиновой группы в срастаниях с пироксеном габбро-пироксенит-дунитовых плутонических комплексов Корякского нагорья, Россия 60

Комарова М.З.
Месторождение медно-молибденовых руд на Таймыре 74

Поздравляем с юбилеем

В.С.Звездова, А.В.Мандругина, А.Н.Щендригина 79

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» 2012 году

20th anniversary of «Ores and Metals»

Papers on the 110-th of M.N.Godlevsky (27.10.1902–05.06.1984)

Likhachev A.P.
Platinum-copper-nickel and platinum deposits: the birth, intrusion and becoming ore-bearing mafic-ultramafic magmas 9

Chernyshov N.M.
Sulfide pge-copper-cobalt-nickel ores of the elan type deposits 24

Dyuzhikov O.A.
Conditions of formation of Noril'sk-Talnakh pge-cooper-nickel giant 38

Mikhalev S.K., Sluzhenikin S.F., Turovtsev D.M., Kravtsov V.F.
Platinum-copper-nickel mineralization in the mafic-ultramafic intrusions and contact-metamorphic rocks in the middle course of the Kulyumbe River, the north-west of the Siberian platform 43

Mochalov A.G., Pertsev A.N.
Platinum-group minerals in intergrowths with pyroxene from gabbro-pyroxenite-dunite plutonic complexes of the Koryak upland, Russia 60

M.Z.Komarova
Copper-molybdenum ores in Taimyr 74

Our congratulations

V.S.Zvezdov, A.V.Mandrugin, A.N.Shthendrigin 79

Rudy i Metally (Ores and Metals) List of publications 2012

Журналу «Руды и металлы» — 20 лет

В декабре 2012 г. журналу «Руды и металлы» исполняется 20 лет. За время его существования вышло 120 номеров, опубликовано более 1350 статей, авторы которых представляют широкий круг отечественного геологического сообщества.

Учредители и организаторы журнала все эти годы в своей работе исходили из необходимости общения ученых и практиков по всем вопросам геологии, прогноза, поисков, оценки, разведки и освоения месторождений рудных полезных ископаемых. Редколлегия журнала, объединяющая ведущих ученых научно-исследовательских институтов и вузов стремилось формировать редакционный «портфель» и облик издания в соответствии с требованиями времени. Укрепляя и расширяя базовые рубрики журнала, серьезное внимание уделяла новым, затрагивающим актуальные задачи недропользования, развития минерально-сырьевой базы России и других стран, оптимизации геологоразведочных работ.

За последние 10 лет заметно расширился круг профессиональной занятости наших авторов. Наряду с сотрудниками научно-исследовательских институтов, постоянными авторами стали работники вузов, горнорудных компаний, экспедиций, акционерных обществ, научно-производственных объединений. С журналом сотрудничают геологи из всех уголков России, а также специалисты с Украины, из Узбекистана, Казахстана, Киргизии, Азербайджана, Израиля. «Портфель» журнала постоянно пополняется, все статьи рецензируются и обсуждаются членами редколлегии. После их разбраковки формируются очередные номера. Основное внимание, кроме работ для традиционных рубрик, уделяется оригинальным исследованиям практической направленности. Наша цель — донести до читателей сведения о новых разработках по всем проблемам геологии месторождений твердых полезных ископаемых и недропользования в современных условиях. Судя по постоянно растущей подписке и наполнению «портфеля», журнал укрепил свои позиции в сообществе научных изданий и востребован специалистами.

В журнале за эти годы публиковались краткие сводки о VI Всероссийском съезде геологов (2009, № 1), ряде конференций и семинаров, касающихся проблем геологической науки и практики (2010, № 1; 2011, № 1), а также официальные и правительственные постановления по недропользованию (2008, № 2; 2009, № 1; 2010, № 4). Обсуждались различные аспекты переоценки золоторудного месторождения Сухой Лог (2008, № 2; 2009, № 2), переведенного на основании полученных данных в ранг инновационно привлекательного объекта. Приводились материалы по комплексному использованию минерального сырья, в том числе полиметаллических, урановых и железорудных объектов (2009, № 6). Вниманию читателей представлялись сведения об эффективности затрат федерального бюджета на геологоразведочные работы по твердым полезным ископаемым, системе лицензирования (2012, № 2), основных инвестиционных потоках транснациональных компаний на освоение мировых горнорудных проектов в 2000–2010 гг. (2012, № 3). Отдельный номер посвящен 75-летию ЦНИГРИ (2010, № 1), а специальный выпуск с тезисами докладов научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых — состояние и перспективы» — памяти Анатолия Ивановича Кривцова (2011, № 3–4).

Внимательно отслеживая передовые направления в сфере геологической науки и практики, редколлегия в 2012 г. ввела новые рубрики о компьютерных информационных

технологиях при поисках, прогнозе и оценке месторождений твердых полезных ископаемых. Также предложено рассматривать мониторинг и информационное обеспечение работ по геологическому изучению недр. На наше предложение откликнулись ведущие ученые в этой области (2012, №№ 3, 4).

Нетрадиционным, а нередко спорным, взглядам на различные геологические явления отведена рубрика «Дискуссии», в которой авторы имеют возможность отстаивать свое мнение, непременно научно его обосновывая. За последние годы дискутировались теоретические (2008, № 5; 2010, № 4; 2011, № 6; 2012, № 2), методические, организационные (2010, №№ 3, 4; 2012, № 2), финансовые (2009, №№ 3, 6) и другие (2010, № 2; 2012, №№ 1, 3) вопросы, касающиеся геологической службы. В рубрике «Зарубежный опыт» освещались эффективность геологоразведочных работ (ГРР) на золото, проводимых зарубежными компаниями (2011, № 1), динамика и структура расходов на ГРР за рубежом (2009, №№ 4, 6), оригинальные способы отработки россыпей в Перу (2010, №№ 4, 6).

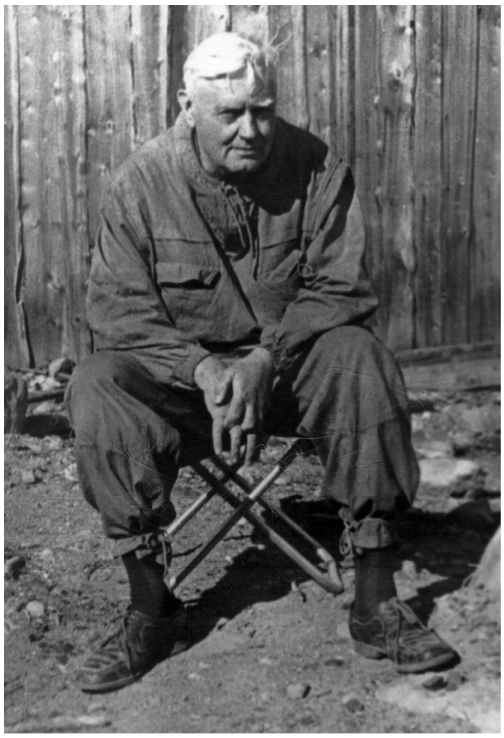
Периодически отмечаются памятные даты, посвященные творческому наследию выдающихся геологов, — 90-летию П.Ф.Иванкина (2008, № 6), 110-летию М.Н.Годлевского (2012, № 6).

По заявке организаций страницы журнала предоставляются для публикации работ научных институтов, геологоразведочных предприятий и вузов по отдельным регионам России (2012, № 5).

Журнал «Руды и металлы» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий по наукам о Земле, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Мы надеемся, что сложившиеся традиции многопрофильного журнала, существенно прикладного характера, будут и дальше развиваться и укрепляться с помощью наших авторов и подписчиков.

СТАТЬИ, ПОСВЯЩЕННЫЕ 110-ЛЕТИЮ М.Н.ГОДЛЕВСКОГО (27.10.1902–05.06.1984)



27 октября 2012 г. исполнилось 110 лет со дня рождения выдающегося ученого, доктора геолого-минералогических наук, профессора Михаила Николаевича Годлевского*. Основная часть исследований Михаила Николаевича посвящена геологии платино-медно-никелевых месторождений и во многом связана с Норильском, где в 1945–1956 гг. он отбывал заключение по несправедливому обвинению, снятому с него Военной Коллегией Верховного Суда СССР в 1956 г.

В первый год заключения Михаил Николаевич работал забойщиком на Кайерканском угольном месторождении, каменщиком на строительстве завода. Затем занимался поисковыми работами, работал в петрографической лаборатории. Около четырех лет выполнял обязанности рудничного геолога на руднике 3/6 месторождения Норильск-1. Здесь он имел возможность проводить детальные наблюдения и картирование пород и руд в многочисленных подземных выработках с последующим изучением их под микроскопом и анализами в химической лаборатории. Сохранились тетради, сделанные из крафт-бумаги, с подробным описанием шлифов и аншлифов, зарисовками, количественными минералогическими подсчетами. Им описаны все типы руд и пород, дана подробная характеристика рудо- и породообразующих минералов.

Михаил Николаевич изучал геологию, петрологию, минералогию и геохимию норильских медно-никелевых месторождений. При этом ему удалось решить многие кардинальные вопросы их генезиса. Им была установлена тесная пространственная и генетическая связь норильских

* Подробная биография М.Н.Годлевского и полный перечень его научных трудов опубликованы в журнале «Руды и металлы» (2002, № 5).

месторождений с интрузиями габбро-долеритов, выявлена их приуроченность к определенным тектоническим структурам, определены время и условия появления интрузий в ходе развития траппового магматизма на Сибирской платформе, изучен механизм возникновения и эволюции сульфидных расплавов, условия появления массивных и вкрапленных сульфидных руд определенного состава, охарактеризован тип дифференциации по особой схеме, названной впоследствии «схема Годлевского». В 1959 г. по результатам этих исследований Михаил Николаевич издал монографию «Траппы и рудоносные интрузии Норильского района», в которой впервые было изложено теоретическое обоснование связи медно-никелевых руд с трапповым магматизмом. Работа получила широкую известность и быстро стала библиографической редкостью. В 1960 г. на основе монографии он защитил докторскую диссертацию.

После освобождения из лагеря М.Н.Годлевский некоторое время проработал во ВСЕГЕИ, а после защиты докторской диссертации возглавил отдел минералогии ЦНИГРИ и создал сектор геологии месторождений никеля, кобальта и платиновых металлов. Здесь в 60–70-е годы его теоретические исследования тесно сочетались с практической деятельностью.

Как главный куратор Мингео СССР по месторождениям никеля, кобальта и платины М.Н.Годлевский разработал в 1963 г. программу исследований медно-никелевых месторождений и добился ее обсуждения на Всесоюзном совещании. Программа охватывала весь спектр проблем, имевших отношение к изучению и прогнозу месторождений никелевых руд. В течение пяти лет в рамках программы планомерно изучались месторождения Норильского района, Балтийского щита, Воронежского кристаллического массива, Северного Прибайкалья, Камчатки; было организовано экспериментальное исследование главных рудообразующих минералов и их ассоциаций, а также изучение минералогии и геохимии платиновых металлов, изотопного состава серы сульфидов норильских и печенгских месторождений. Тогда же Михаил Николаевич предложил первую классификацию медно-никелевых месторождений на геотектонической основе. Впоследствии с появлением новых материалов по месторождениям Австралии, Балтийского щита и Северного Прибайкалья классификация была существенно уточнена. В переработанном виде она не потеряла своего значения до настоящего времени.

Параллельно с разработками прикладного характера М.Н.Годлевский напряженно трудился над теорией рудообразования. В 1961 г. в процессе написания обобщающего труда «Медно-никелевые месторождения мира и проблемы их генезиса» он приходит к выводу о том, что наиболее острой является проблема совместного действия летучих компонентов и сульфидного расплава и пишет теоретическую статью «Фазовые равновесия в некоторых бинарных системах и их значение в рудообразовании». В статье разбирает фазовые равновесия в бинарных системах с расслоением в жидкой фазе и большим различием в летучести компонентов, которые наиболее близки к условиям, существующим в минералообразующих растворах. Позже им показано, что существует зависимость минерального состава руд на разных стадиях рудообразования от режима серы, а в конечном счете — от ее содержания в исходном расплаве.

В результате М.Н.Годлевский выделил в рудном процессе две крупные стадии — магматическую с инертным поведением Ni, Fe и S, с которой связано образование первичных вкрапленных и жильных пирротиновых и халькопиритовых руд, и постмагматическую с вполне подвижным поведением серы (<350–300°C), к которой относятся экзоконтактовые руды с большим содержанием дисульфидов.

Считая методы физико-химической петрологии вообще и метод Д.С.Коржинского, в частности, полезным инструментом в руках геолога-исследователя, М.Н.Годлевский создал и прочитал в 1964 г. на геологическом факультете МГУ курс лекций по физико-химической петрологии, сопроводив его учебным пособием «Методика составления физико-химических диаграмм». В дальнейшем, применив метод экстремальных состояний, он рассмотрел пути дифференциации базальтоидных интрузий в зависимости от подвижности FeO и SiO_2 и показал ошибочность концепции Осборна о решающей роли режима кислорода в реализации боуэнов-

ского и феннеровского путей кристаллизации дифференцированных интрузий. Составленная им диаграмма направлений кристаллизации интрузий норильского и скаергаардского типов успешно использовалась для выяснения путей кристаллизации других никеленосных комплексов и их оценки.

В 1968 г. М.Н.Годлевский обобщил все известные к тому времени факты и представил свою концепцию генезиса сульфидных медно-никелевых и платиновых месторождений в разделе «Магматические месторождения» фундаментального труда «Генезис эндогенных рудных месторождений», изданного под редакцией академика В.И.Смирнова.

В 70-х годах М.Н.Годлевский выдвигает идею промежуточного положения никеленосных интрузий между базальтами и хондритами. Постоянство состава медно-никелевых месторождений во времени и пространстве, а также неизменность изотопного состава серы, отвечающего метеоритному, привели его к выводу об однородности астеносферных очагов — источников никеленосных интрузий. В последующем эти идеи широко использовались его учениками.

О незаурядности М.Н.Годлевского говорит широкий круг вопросов, которыми он интересовался глубоко и профессионально. Кроме проблем, связанных с сульфидными медно-никелевыми месторождениями, его занимали золотоносность интрузий основного состава, закономерности поведения изотопов серы в геологических процессах, типоморфизм алмазов, роль углеродистого вещества в рудообразовании и многое-многое другое. До последних дней, несмотря на тяжелую болезнь, Михаил Николаевич продолжал работать, как бы торопясь передать коллегам свои знания и опыт. 5 июня 1984 г. его не стало.

Кроме научных трудов (им написано 150 работ, большая часть которых опубликована), осталась научная школа, которая развивает идеи, намеченные, но не осуществленные Михаилом Николаевичем. Его ученики — кандидаты и доктора наук — работают на производстве, в научно-исследовательских институтах и вузах России. Заслуги М.Н.Годлевского еще при жизни были оценены государством: он награжден орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, медалями Советского Союза.

Михаил Николаевич широко известен в научном мире как выдающийся ученый. Его именем назван открытый Э.А.Кулаговым с сотрудниками в норильских рудах новый минерал — сульфид никеля (Ni_7S_6), обнаруженный затем в других месторождениях мира.

Ученый широкого профиля, терпеливый и требовательный учитель, доброжелательный, преданный своему делу человек, — таким Михаил Николаевич Годлевский сохранился в памяти всех, знавших его. Время идет, а выдающиеся достижения М.Н.Годлевского в геологической науке остаются по-прежнему актуальными.

А.П.Лихачев, В.И.Кочнев-Первухов

УДК 553.061:553.491.8 А.П.Лихачев, 2012

ПЛАТИНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ И ПЛАТИНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ: ЗАРОЖДЕНИЕ, ВНЕДРЕНИЕ И СТАНОВЛЕНИЕ РУДОНОСНЫХ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ МАГМ

А.П.Лихачев (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Рассматриваются вопросы зарождения, внедрения и становления рудоносных магм, формирующих платино-медно-никелевые и платиновые месторождения.

Ключевые слова: зарождение, внедрение, становление рудоносных магм, формирование Pt-Cu-Ni и МПГ месторождений.

Лихачев Александр Петрович, alexanderlikhachev@rambler.ru

PLATINUM-COPPER-NICKEL AND PLATINUM DEPOSITS: THE BIRTH, INTRUSION AND BECOMING ORE-BEARING MAFIC-ULTRAMAFIC MAGMAS

A.P.Likhachev

The questions of birth, intrusion, and becoming of ore-bearing magmas, forming a platinum-copper-nickel and platinum deposits.

Key words: birth, intrusion, becoming of ore-bearing magmas, the formation of Pt-Cu-Ni and PGE deposits.

Вопросы происхождения месторождений платино-медно-никелевых и платиновых руд по-прежнему актуальны, особенно в части выяснения причин и процессов их формирования. Длительное (более полутора веков) изучение исследователями разных стран мировых месторождений этого типа привело к сокращению числа взглядов на их генезис и практически однозначному определению источника рудного вещества — магматических образований мафит-ультрамафитового ряда. Противоречия остаются в представлениях о природе серы, которая в одних работах рассматривается как ксеногенное вещество, заимствованное из коровых толщ, в других — в качестве непосредственного материала мантии, как и все остальные рудообразующие компоненты. Этот вопрос имеет принципиальное значение и, в первую очередь, в практическом отношении. В первом варианте формирование рассматриваемых месторождений носит случайный характер, зависящий не от состава мафит-ультрамафитовых магм, а от их встречи с обогащенными серой коровыми толщами в условиях, подходящих для ее ассимиляции. Во втором обосновывается прямая зависимость состава всего рудного вещества от состава магм, условий их зарождения, внедрения и становления.

Ранее нами показано, что ассимиляционный вариант имеет ограниченные возможности и что платино-медно-никелевые и платиновые месторождения в большинстве своем (за исключением импактных случаев) являются вполне закономерными первично-мантийными образованиями [9].

В настоящей статье рассматриваются интересовавшие М.Н.Годлевского вопросы накопления рудных веществ в процессах зарождения, внедрения и становления рудоносных магм и сформированных ими мафит-ультрамафитовых комплексов. Ранее было показано [10], что мафит-ультрамафитовый ряд известных в мире магматических образований включает три основные серии — бессульфидную мафическую (MgO ≤8 мас. %), сульфидоносную мезомафическую (MgO 8–33 мас. %) и бессульфидную ультрамафическую (MgO ≥33 мас. %). Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения формируются только сульфидоносной мезомафической серией, включающей шесть рудоносных формаций: габбро-троктолитовую дулутско-курейскую (MgO 8–10 мас. %, Ni/Cu 1:2,5–10), габбро-пикрит-долеритовую норильскую (MgO 10–15 мас. %, Ni/Cu 1:1,2–2,5), габбро-норит-пироксенит-перидотитовую бушвельдско-мончегорскую (MgO 15–20 мас. %, Ni/Cu 1–2:1), габбро-пироксенит-перидотитовую печенгскую (MgO 20–25 мас. %, Ni/Cu 2–5:1), пироксенит-перидотитовую камбалдинскую (MgO 25–28 мас. %, Ni/Cu 5–25:1) и перидотит-дунитовую маунткейтскую (MgO 28–33 мас. %, Ni/Cu 25–75:1). Возникновение этих магматических разновидностей объясняется различной степенью плавления первичного мантийного вещества (MgO 25–30 мас. %), состоящего из трех фракций: — окисно-силикатной (~98 мас. %), сульфидной (~1%мас. %) и металлической (~1 мас. %). Допускается, что распределение рудных компонентов по фракциям может соответствовать метеоритному

Содержание некоторых химических элементов в метеоритах по силикатной, металлической и сульфидной фракциям, мас. %

Элементы	Метеориты					
	Силикаты		Металлы		Сульфиды	
	Содержание	Относительная доля	Содержание	Относительная доля	Содержание	Относительная доля
S	0,03	0,6	0,036	0,3	34,3	99,1
Ti	0,093	95,0	0,01	5,0	–	–
Cr	0,345	94,0	0,024	3,0	0,12	3,0
Fe	15,64	24,5	90,78	66,6	61,1	8,9
Co	0,02	0,6	0,63	96,9	0,01	3,1
Ni	0,138	10,2	2,59	89,2	0,1	0,6
Cu	0,00016	0,3	0,031	27,0	0,42	72,7
Zn	0,00034	1,7	0,0115	26,7	0,152	71,6
As	0,002	7,1	0,036	60,0	0,10	32,9
Mo	0,00025	21,2	0,00166	65,8	0,0011	13,0
Pd	0	–	0,00037	78,6	0,00045	21,4
Ag	0	–	0,00033	43,5	0,0021	56,5
Sn	0,0003	1,5	0,0077	19,0	0,16	79,5
Sb	0,00001	5,6	0,0002	53,0	0,00078	41,4
Os	–	–	0,00076	79,4	0,001	20,6
Ir	0	–	0,0003	96,8	0.00005	3,2
Pt	0,0000083	8,0	0,00019	89,0	0,00003	3,0
Au	0		0,00018	94,8	0,000045	5,2
Hg	0,000001	35,0	–	–	0,00002	65,0
Pb	0,0002	5,9	0,006	88,2	0,002	5,9
Bi	–		0,00005	11,1	0,0002	88,9

Примечание. Содержания элементов приводятся по данным Х.Брауна [16] за исключением содержания серы в силикатах, взятого по растворимости ее в силикатных фазах [11, 13]. Относительная доля определена по данным Х.Брауна [16] из расчета, что в метеоритах и веществе Земли силикаты составляют ~64%, металлы ~30%, сульфиды ~6% (по массе).

веществу (таблица), обычно принимаемому за исходный материал Земли, большая часть металлической фракции которого была потрачена на образование ядра планеты.

Плавление материала мантии происходит постепенно по мере повышения температуры, а также при увеличении содержания воды и уменьшении давления, снижающих температуру солидуса веществ. Вначале в расплав переходит практически бессульфидная мафическая составляющая (MgO ≤8 мас. %), на которую приходится ~20 мас. % первичного вещества мантии (сульфидная фракция в условиях мантии имеет более высокую температуру плавления, чем силикатная мафическая). В зависимости от степени этого перехода образуются различные по составу магмы — от сравнительно кислых до толеитовых. Содержание в них рудных компонентов в основном ограничивается их растворимостью в окисно-силикатном расплаве, в целом соответствующей содержанию в силикатной составляющей метеоритного вещества (см. таблицу). В связи с низкими содержаниями цветных и благородных металлов в таких магмах они не образуют существенных скоплений рудных веществ данного типа на магматической стадии, но могут служить источником рудных компонентов для экстракционно-гидротермальных месторождений.

После выноса из очагов магмообразования мафической части исходного вещества (в случае дальнейшего повышения температуры) в расплав переходит сульфидоносная мезомафическая составляющая мантийного материала (MgO 8–33 мас. %), постадийное плавление которого приводит к образованию различающихся по составу (перечисленных выше) сульфидоносных мезомафических магм, формирующих соответствующие им платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. Сульфидное вещество в них находится в рассеянном виде и для промышленных скоплений требуется его концентрация на всех трех стадиях существования магматиче-

ской системы: зарождения (плавления), подъема (внедрения) и становления (кристаллизации).

Сульфидоносные магмы в основном зарождаются в глубинах мантии континентов под воздействием термического плюма, т.е. в ходе повышения температуры и проявления термического магматизма континентального типа. Декомпрессионный магматизм материков и океанов, связанный с диапировым подъемом материала верхней мантии, не приводит к существенным скоплениям рудных веществ и образованию крупных платино-медно-никелевых и платиновых месторождений из-за сравнительно низкой температуры магм и отсутствия условий для накопления сульфидов в магматических массивах [10].

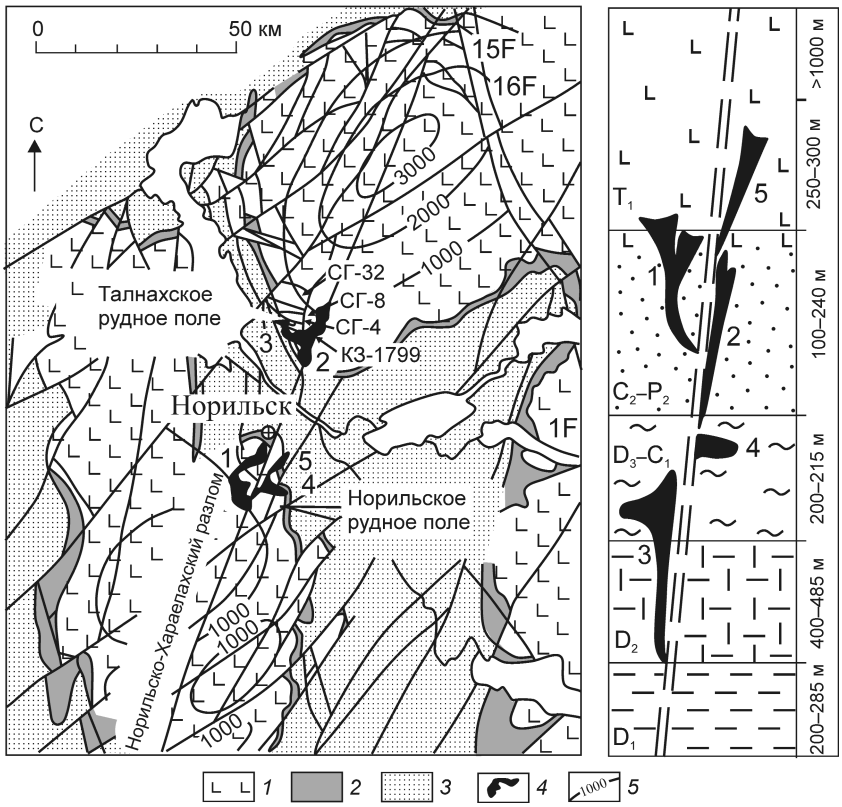


Рис. 1. Геологическая схема Норильского района (справа показаны уровни локализации рудоносных интрузий):

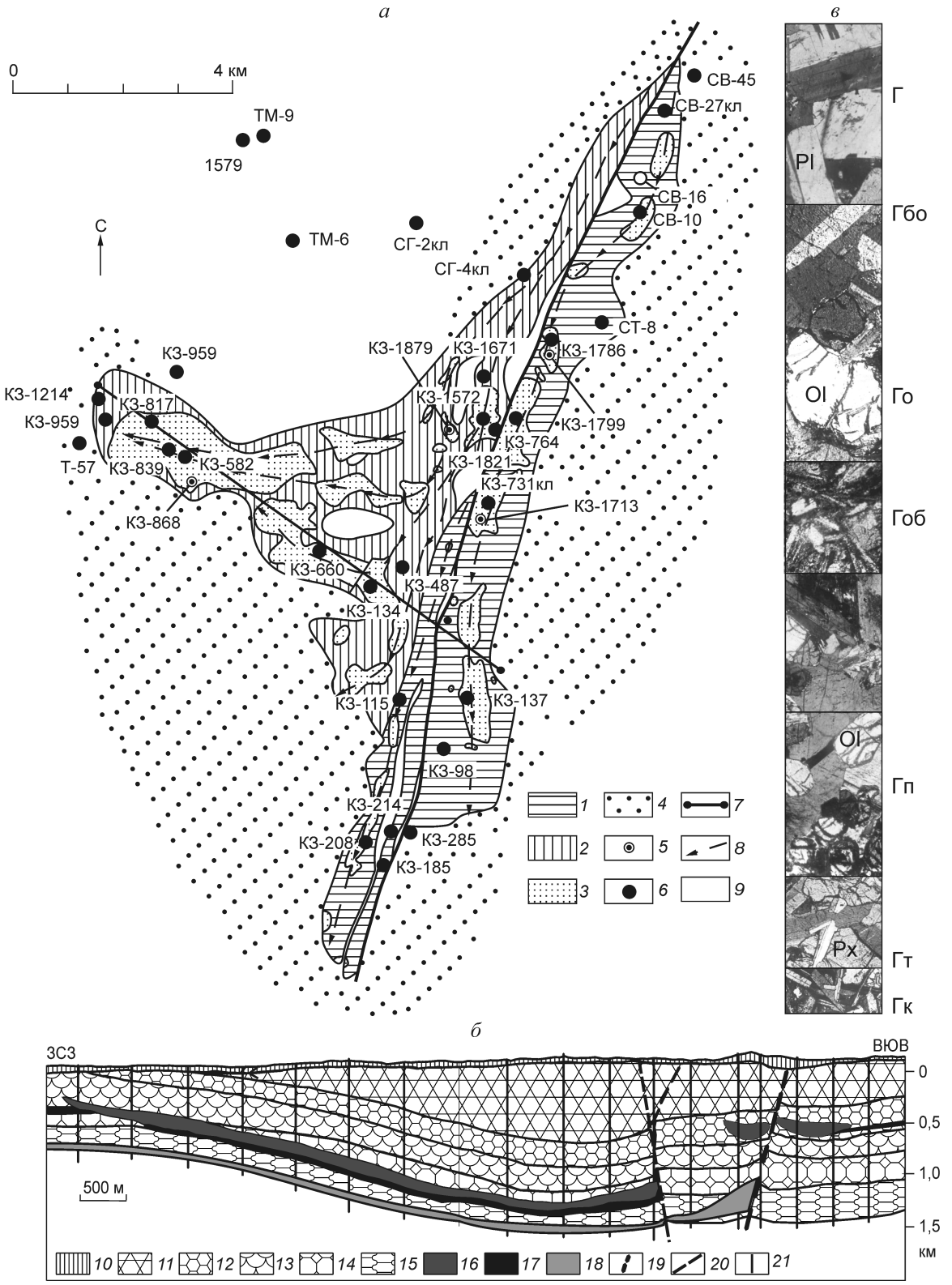
1 — платобазальты; *2* — осадочные породы тунгусской серии, C_2–P_2; *3* — верхнепротерозойско-нижнекаменноугольные осадочные породы; *4* — рудоносные интрузии (1 — Норильск-1, 2 — Талнахская, 3 — Хараелахская, 4 — Черногорская, 5 — Норильск-2); *5* — изопахиты базальтов, м

Плавление и вынос бессульфидного мафического материала (MgO ≤8 мас. %) в количестве ~20 мас. % приводят к увеличению содержания сульфидов в оставшемся твердом материале до ~1,2 мас. %. Это та величина, которая существенно превышает растворимость сульфидов в окисно-силикатном расплаве и позволяет им находиться в виде самостоятельной фракции, как в твердом, так и в жидком состоянии.

Последующее плавление мезомафического материала мантии, составляющего ~15 мас. % от ее исходного вещества, при 100%-ном переходе в расплав сульфидной фракции может привести к концентрации сульфидов в мезомафическом расплаве до ~ 7 мас. %. Но этого не происходит, так как мезомафическая часть мантии в большинстве случаев плавится только частично, и в зарождающихся мезомафических магмах количество сульфидной жидкости обычно составляет не более 2 мас. %. Дальнейшее повышение концентрации сульфидов происходит на стадиях внедрения магм и их становления в конечной магматической камере. При этом существует проблема подъема тяжелой сульфидной жидкости менее плотным окисно-силикатным расплавом. Но как было показано нами ранее [10], сульфидно-силикатным системам свойствен температурный эффект диспергирования сульфидной жидкости, который позволяет сульфидам рассеиваться и удерживаться во взвешенном состоянии в силикатном расплаве, обеспечивая возможность их транспорта на большие расстояния. К веществу мантии может добавляться материал термического плюма, зарождающегося на границе ядро – мантия, где возможна концентрация сульфидов, обогащенных тяжелом изотопом ^{34}S [10].

На субвертикальном подъеме сульфидоносной магматической колонны и в промежуточных очагах происходит ее кристаллизационно-гравитационная дифференциация, приводящая к эшелонированному строению колонны и перераспределению сульфидного вещества с концентрацией его в определенных участках. В результате создаются рудоносные интервалы колонн, за счет которых на субгоризонтальном участке пути и в конечных камерах внедрения впоследствии формируются платино-медно-никелевые месторождения.

Зарождающиеся в мантии магмы, поступая в пределы земной коры, формируют два основных типа магматических проявлений — эффузивно-интрузивный и интрузивный. При первом большая часть ранней мафической составляющей изливается на земную поверхность. Затем внедряется рудо-



носная мезомафическая фракция, образующая сравнительно небольшие интрузивные тела и связанные с ними платино-медно-никелевые месторождения. При втором все виды продуктов плавления мантийного вещества проявляются в интрузивном виде, нередко поступая в одну и ту же магматическую камеру с формированием крупных расслоенных комплексов бушвельдского типа.

Наиболее яркий пример эффузивно-интрузивного варианта — трапповые образования Норильского района (рис. 1), в которых проявлены все перечисленные выше закономерности рудоносного мафит-ультрамафитового магматизма [10].

В начале проявления норильского магматизма из мантии поступили большие массы бессульфидных мафических магм (MgO <8 мас. %), сформировавших базальтовые толщи преимущественно толеитового состава. Затем внедрялись сульфидоносные мазомафические магмы (MgO 8–10 мас. %), что привело к образованию рудоносных интрузий и присущих им платино-медно-никелевых месторождений.

Рудоносные интрузивы Норильского района представляют собой вытянутые в одном направлении (до 20 км и более) межформационные пологие тела габбро-долеритов, состоящие из центральной рудоносной и периферической сульфидоносной частей (рис. 2, [10]). Центральная часть является основным телом интрузивов. Ее мощность изменяется от 50 до 300 м (преобладающая ~100 м), ширина — от 500 до 2000 м. В вертикальном разрезе основного тела выделяются снизу вверх (см. рис. 2, *а*): контактовый (Гк, мощность от нескольких сантиметров до 30 м, средняя 1–3 м), такситовый (Гт, 0–48 м, средняя 5–8 м), пикритовый (Гп, 0–120 м, средняя 7–18 м) габбро-долериты, составляющие рудоносные горизонты интрузивов, сульфидоносный оливин-биотитовый (Гоб, 1–10 м), слабосульфидоносный оливиновый (Го, 0–100 м, средняя 20–30 м), оливинсодержащий (Гос) и безоливиновый (Гбо) габбро-долериты (0–90 м, средняя 12–30 м) и габбро-диорит (Гд, 0–100 м, средняя 6–20 м). Вверху разреза находятся фрагментарные сульфидоносные тела контактового (Гкв), такситового (Гтв) и пикритового (Гпв) габбро-долеритов и лейкократового габбро (Гв).

Периферическая часть интрузивов представлена силлообразными телами мощностью от 1–2 до 50 м, протяженностью до 1 км и более (рис. 3, 4; см. рис. 2, [7, 10]). Они состоят из лейкократового и меланократового горизонтов: крупнозернистого лейкократового габбро вверху и таксито-пойкилоофитового габбро-долерита внизу (см. рис. 3, *г*, *в*). Последний изменяется от такситовых и контактовых до пикритоподобных и пикритовых (ближе к основному телу) разновидностей. Лейкократовое габбро силлов аналогично по составу и структуре лейкогаббро основного тела интрузивов, а породы меланократового горизонта — его нижним дифференциатам (Гк, Гт, Гп).

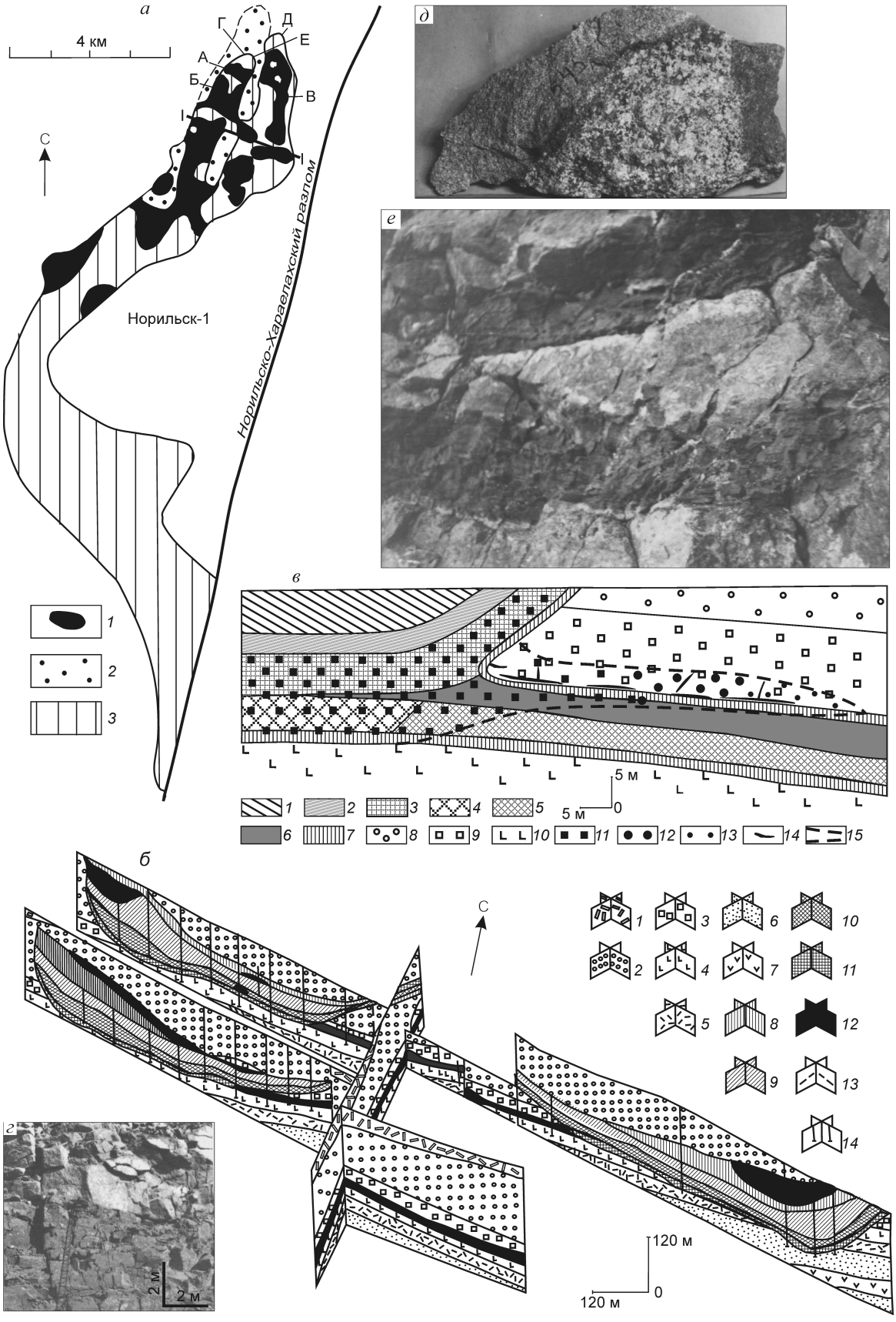
Лейкократовое габбро и пикритовый габбро-долерит обеих частей интрузий имеют четко выраженные черты кумулятивных образований с линейной ориентировкой зерен плагиоклаза и оливина, свидетельствующей о формировании пород в магматическом потоке.

В верхних эндо- и экзоконтактах силлов и основного тела интрузий иногда находятся фрагменты песчаников и угля, превращенного в графит, как это постоянно наблюдается в интрузии Норильск-1 (см. рис. 3, *е*).

Платино-медно-никелевые сульфидные руды проявлены: в форме вкрапленной минерализации в породах интрузивов Гп, Гт, Гк, вкрапленного, брекчиевидного и прожилково-вкрапленного оруденения во вмещающих (в основном в подстилающих) породах; жильных и массивных залежей преимущественно в породах нижних эндо- и экзоконтактов интрузивов. Имеются случаи нахождения

Рис. 2. Схема строения Талнахского рудного поля в плане (*а*) и разрезе (*б*), петрографический разрез норильских рудоносных интрузий (*в*):

1 — Талнахская интрузия; *2* — Хараелахская интрузия; *3* — массивные залежи сульфидных руд; *4* — периферическая часть рудоносных интрузий — силл лейкократового габбро; *5* — опорные скважины детальных геохимических исследований; *6* — скважины с определением относительной ориентировки зерен породообразующих минералов; *7* — линия разреза; *8* — направления течения магмы; *9* — места, где отсутствуют интрузивные тела; *10* — четвертичные отложения; *11* — вулканическая толща (моронговская, надеждинская, гудчихинская, сыверминская, ивакинская свиты); *12* — тунгусская серия (терригенные угленосные отложения среднего карбона – верхней перми); *13* — юктинская, накохозская, каларгонская свиты среднего – верхнего девона (доломиты, известняки, мергели и ангидриты); *14* — мантуровская свита среднего девона (мергели, ангидриты, аргиллиты); *15* — курейская и разведочнинская свиты нижнего девона (аргиллиты, мергели); *16* — рудоносные интрузии; *17* — силл лейкократового габбро; *18* — Нижнеталнахская интрузия; *19* — Норильско-Хараелахский разлом; *20* — смежные разрывные нарушения; *21* — буровые скважины; габбро-долериты: Гк — контактовый, Гт — такситовый, Гп — пикритовый, Гоб — оливин-биотитовый, Го — оливиновый, Гбо — безоливиновый; Г — лейкократовое габбро; Pl — плагиоклаз, Ol — оливин, Px — пироксен


а
4 км
Г
Д
Е
А
Б
В
I
I
С
Норильск-1
Норильско-Хараелахский разлом
1
2
3
д
е
в
5 м
0
5 м
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
б
С
120 м
0
120 м
г
2 м
2 м

жильных и брекчиевидных руд в Гт, Гп и вышележащих горизонтах. Фрагментарные тела лейкократового габбро и ассоциирующих с ним «верхних» пикритового (Гпв), такситового (Гтв) и контактового (Гкв) габбро-долеритов содержат бедную вкрапленную минерализацию.

Руды месторождений характеризуются сложным химическим и минеральным составом. Кроме главных рудных компонентов (Cu, Ni, Fe, S), в изоморфных и собственных минеральных формах содержатся Co, Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Au, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Pb, Tl, Bi, As, Zn и др. Главные рудообразующие минералы — пирротин (троилит, гексагональный и моноклинный пирротины), халькопирит, пентландит (зернистый пентландит I и пентландит II — продукт распада моносульфидного (mss) и промежуточного (iss) твердых растворов), кубанит, талнахит, моихукит, магнетит, ассоциирующие с большим количеством других преимущественно сульфидных минеральных фаз цветных и благородных металлов — борнитом, халькозином, ковеллином, хизлевудитом, миллеритом, годлевскитом, сульфидными и металлическими соединениями и твердыми растворами минералов платиновой группы (МПГ), Fe, Ni, Cu, Au, Ag и др. Вкрапленная минерализация фрагментарных тел верхнего эндоконтакта (Гл, Гпв, Гтв) имеет преимущественно пентландит-халькопирит-пирротиновый состав с повышенным содержанием элементов и минералов платиновой группы. В последние годы они выделяются как малосульфидное платиновое оруденение [12].

Общая закономерность массивных и жильных залежей, обусловленная кристаллизационной дифференциацией сульфидного расплава, заключается в изменении их состава от существенно пирротиновых (бедных медью) разностей, обычно занимающих большую (нижнюю и центральную) часть залежи, через халькопирит-кубанитовые (±моихукит, талнахит), умеренные по содержанию Cu, до богатых медью разновидностей (халькопирит-пентландитовых, халькопирит-борнитовых, борнит-халькозиновых и др.), преимущественно составляющих периферические и верхние части массивных рудных тел.

Во вкрапленных рудах интрузивов среднее содержание Ni составляет 0,4–0,6 мас. %, Cu 0,6–0,8 мас. %, ЭПГ 2–5 г/т, а в массивных — Ni содержится в количестве 2–4 мас. %, Cu 3–25 мас. %, ЭПГ 2–200 г/т. На долю массивных руд приходится от 10 до 40% от общей массы сульфидного вещества, составляющего ~3,5% в Талнахском интрузиве и ~8,3% в Хараелахском.

Изотопный состав серы сульфидов норильских рудоносных интрузий отличается высокими значениями $\delta^{34}S$, изменяющимися в пределах от 4 до 14‰ [4–6 и др.]. При этом выявляется следующая закономерность: чем больше сульфидного вещества в магматическом теле и чем ниже в нем отношение Ni/Cu, тем более оно обогащено тяжелым изотопом серы. Наиболее низкие значения $\delta^{34}S$ свойственны безрудным магматическим разностям — безоливиновым и оливиновым габбро-долеритам, сульфиды которых представлены мелкими редкими выделениями существенно пирротинового состава. Последние выделялись из силикатного расплава (были растворены в нем) и имеют ликвационную природу, тогда как сульфиды рудных горизонтов в основном представляют собой самостоятельную (нерастворяющуюся в силикатном расплаве) фракцию сегрегационных сульфидов, привносимых магмой из глубинных источников.

Обогащенность сульфидных руд норильских месторождений тяжелым изотопом серы многими исследователями связывается с ассимиляцией магмами материала земной коры [2, 4, 5, 13, 20, 23], которая для ряда магматических пород подтверждается изотопными данными Pb, Sr и Nd и соотношениями редкоземельных элементов [14, 18, 21, 24]. С

Рис. 3. Состав и строение интрузии Норильск-1:

а — план: *1* — «внутреннее» лейкократовое габбро; *2* — габбровый силл; *3* — основное тело интрузива; I–I, А, Б, В, Г, Д, Е — места нахождения разрезов; *б — разрезы по линии I–I*: *1* — пикритовые, *2* — толеитовые, *3* — плагиоклазовые, *4* — андезиновые, *5* — титан-авгитовые базальты; *6* — породы тунгусской серии (песчаники, алевролиты, аргиллиты, угли); *7* — титан-авгитовые долериты; *8* — безоливиновые, *9* — оливиновые, *10* — пикритовые, *11* — такситовые и контактовые габбро-долериты; *12* — лейкократовое габбро; *13* — тектонические нарушения; *14* — буровые скважины; *в — зарисовка восточного борта Северо-Восточного карьера рудника Угольный ручей*: *1* — оливиновый, *2* — оливин-биотитовый, *3* — пикритовый, *4* — такситовый, *5* — таксито-пойкилоофитовый габбро-долериты; *6* — лейкократовое габбро; *7* — контактовый габбро-долерит; *8* — толеитовый, *9* — двуплагиоклазовый, *10* — андезиновый базальты; *11* — пентландит-халькопирит-пирротиновое, *12* — пентландит-халькопиритовое, *13* — существенно халькопиритовое вкрапленные оруденения; *14* — прожилково-жильная рудная минерализация; *15* — контур распространения экзоконтактовых руд; *г — силл лейкократового габбро*: контакт между габбровой (светлой) частью вверху и таксито-пойкилоофитовой (темной) внизу (восточный борт основного карьера рудника Угольный ручей); *д — включение лейкократового габбро* (светлое) в оливиновом габбро-долерите (южный борт карьера рудника Северный, ум. 4,5 раза); *е — включения графитизированного угля* (черные фрагменты) в верхней части силла лейкократового габбро (восточный борт основного карьера рудника Угольный ручей, ум. ~10 раз)

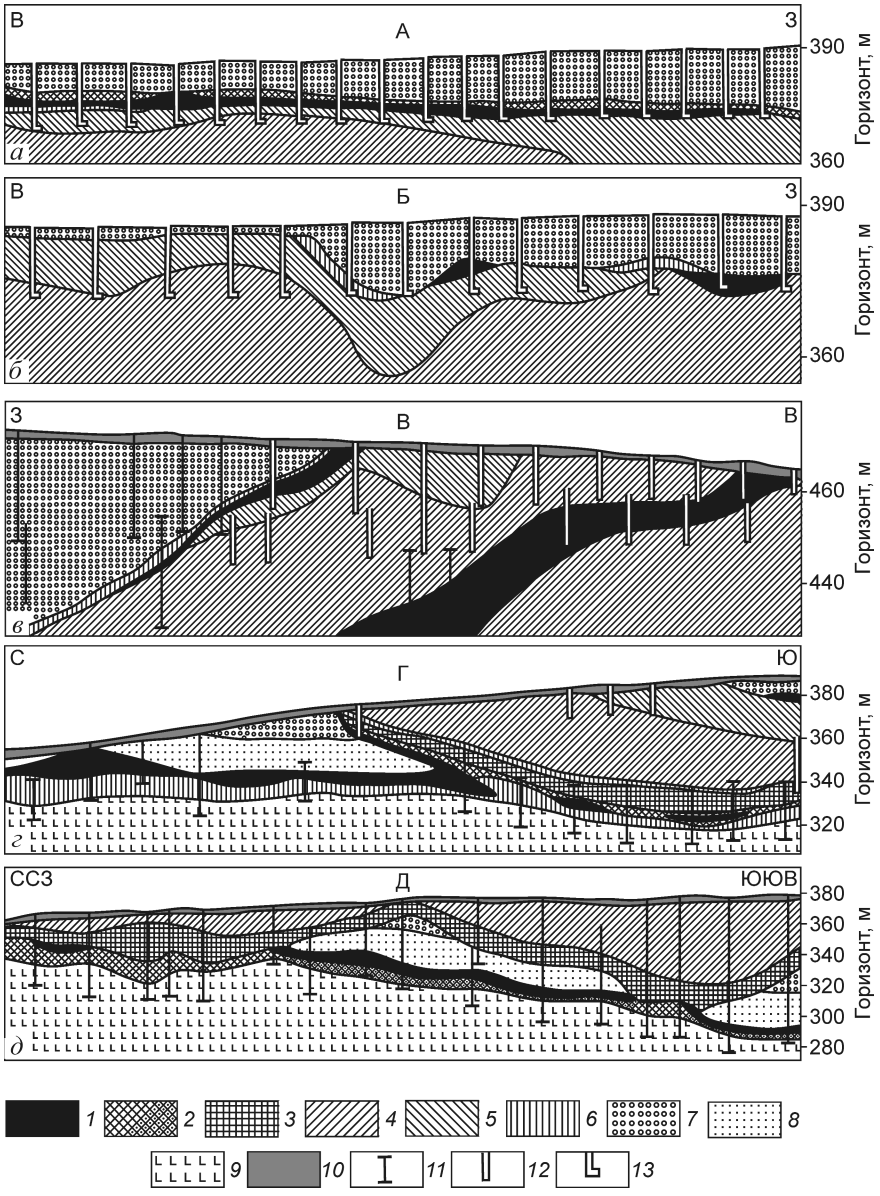


Рис. 4. Разрезы интрузии Норильск-1 в местах А, Б, В, Г, Д (на рис. 3, *а*), горизонтальный масштаб равен вертикальному:

1 — лейкократовое габбро; *2* — такситовые и таксито-пойкилоофитовые (с точечным крапом) габбро-долериты; *3* — пикритовый габбро-долерит; *4* — безоливиновый и оливинсодержащий габбро-долериты; *5* — призматически-зернистый габбро-долерит и габбро-диорит; *6* — контактовый габбро-долерит; *7* — толеитовый базальт; *8* — плагиоклазовый базальт; *9* — андезиновый базальт; *10* — четвертичные отложения; *11* — буровые скважины; *12, 13* — разведочные колодцы

другой стороны, определения изотопного состава Re, Pt, Os сульфидных руд указывают на их принадлежность к материалу мантии и верхнего ядра [15, 17]. На основании этого высказывается предположение, что сульфиды норильских месторождений выделялись из неконтаминированных магм и были доставлены в интрузии другими магмами, отличающимися от тех, которые произвели сульфид [17].

В рудоносных интрузиях Норильского района наглядно проявлены механизмы внедрения, дифференциации и становления сульфидоносных мезомафических магм, формирующих платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. Особенно важными в них являются соотношения периферической (габбровой) и рудной (основной) частей интрузива, свидетельствующие о более раннем внедрении первой по отношению ко второй. Обычно в местах соприкосновения этих частей основное тело интрузий накладывается на периферический силл, «взламывая» его, и отклоняется вверх с дальнейшим выклиниванием или продолжением и последующим повторным соединением с силлом (см. рис. 2–4). При этом значительное количество пород силла (зачастую совместно с графитизированным углем вмещающих толщ) оказывается в висячем боку основного массива, образуя фрагментарные тела лейкократового габбро и верхних такситовых, пикритовых и контактовых габбро-долеритов, нередко превращенных в магматическую брекчию (см. рис. 3, *б, д*, 4, *а–г*). Важно также, что в местах отклонения основного тела в его нижней части обычно отсутствует такситовый габбро-долерит, а находится только пикритовый горизонт с маломощным подстилающим слоем контактового габбро-долерита (см. рис. 3, *в*, 4, *д*), что может указывать на независимое и разновременное образование этих пород — более раннее

такситового и более позднее пикритового горизонтов. Иногда реликты силла вместе с графитизированным углем встречаются в нижнем эндоконтакте основного тела, занимая позицию горизонта такситового габбро-долерита (см. рис. 4, *г*). Подтверждением более раннего внедрения силла служит также наложение на него экзоконтактовой медистой сульфидной минерализации, «опустившейся» из основного тела, что нередко наблюдалось в интрузии Норильск-1 (см. рис. 3, *в*) и рудоносных интрузивах Талнахского рудного поля. Обычно экзоконтактовая минерализация прожилково-вкрапленного типа приурочена к породам, подстилающим основное тело интрузива. В большинстве случаев ей свойственна химическая и минеральная зональность, выражающаяся в изменении ее состава от умеренно медистого существенно пирротинового у дна основного тела интрузива до богатого медью халькопирит-миллеритового в удалении от него [3, 8].

В интрузии Норильск-1 наложение экзоконтактовой минерализации на силл лейкократового габбро наблюдалось в Северо-Восточном карьере рудника «Угольный ручей», находившимся между основными ветвями интрузива — западной и восточной. На одном из участков зафиксирован субгоризонтальный вариант изменения состава экзоконтактовой минерализации (см. рис. 3, *в*). Здесь экзоконтактовая минерализация приурочена преимущественно к миндалекаменной разности двуплагиоклазового базальта и к верхней части силла лейкократового габбро, образуя сравнительно мощное (до 3 м) рудное тело, прослеживающееся на расстояние до 40 м от места сочленения основного тела интрузии с силлом. Оруденение представлено вкрапленным и жильным типами.

Вкрапленные руды локализуются в двуплагиоклазовом базальте и лейкократовом габбро. В базальте сосредоточена большая часть сульфидов, которые образуют «слой» мощностью до 2,5 м, протяженностью до 40 м. Сульфидные минералы выполняют неравномерно распределенные миндалины базальта, поэтому размеры вкраплений очень изменчивы. Наиболее крупные достигают 2 см в поперечнике, а самые мелкие составляют сотые доли миллиметра. Нередко крупные вкрапления соединены между собой тонкими сульфидными прожилками. В горизонтальном направлении отмечается незакономерная смена густовкрапленных участков слабооруденелыми. Так же чередуются участки крупной и мелкой вкрапленности. В вертикальном направлении заметно проявляется уменьшение количества вкраплений от подошвы к кровле рудного слоя. В лейкократовом габбро сульфидная вкрапленность тяготеет к верхней части габбрового силла, распределяясь так, что по мере удаления от основного тела интрузива мощность оруденелой полосы постепенно уменьшается. Вкрапления здесь также различны по форме и величине. Одни из них округлые, другие неправильной формы; размер изменяется от сотых долей миллиметра до 1 см. Довольно часто сульфиды образуют тонкие прожилки, которые служат проводниками между крупными вкраплениями.

Жильные руды представляют собой невыдержанные по мощности (от 1–2 до 30 см) и протяженности (от десятков сантиметров до 5 м) прерывистые сульфидные тела, пространственно приуроченные к контакту двуплагиоклазового базальта и лейкократового габбро. Причем в большинстве случаев жилы находятся в пределах базальта и простираются параллельно линии контакта. Реже встречаются секущие сульфидные прожилки, как правило, маломощные (до 5 см) и небольшой протяженности (до 2 м). Основная часть прожилков находится в базальте, при этом мощность их уменьшается с удалением от контакта габбрового силла с базальтом. Иногда жилки сульфидов проникают на небольшие расстояния (до 30–40 см) в лейкократовое габбро силла.

Важными в теоретическом и практическом отношениях являются результаты исследования состава оливина рудоносных и безрудных образований Норильского района. Нами было показано [10], что в безрудных (практически бессульфидных) дифференциатах (Гос и Го) и слабооруденелом (сульфидсодержащем) Гоб слое доминирует прямая связь между содержаниями Mg и Ni, а в рудоносных горизонтах (Гп, Гт и Гк) при наличии отдельных зерен оливина с прямыми отношениями между Mg и Ni преобладают зерна с обратной связью между этими элементами. В них проявляется общая закономерность: чем больше Ni в оливине, тем меньше в нем содержится Mg и больше Fe. В Гп одни зерна оливина имеют пониженное содержание Ni и повышенное Mg, а другие — повышенное Ni и пониженное Mg. Первые соотношения (мало Ni и много Mg) могут свидетельствовать о потере оливином (или магматическим расплавом) Ni за счет перехода его в сульфидную форму. Вторые же связаны с обогащением оливина как Ni, так и Fe (понижающим содержание Mg) за счет присутствующих никельсодержащих сульфидов. Обеднение Mg и обогащение Ni и Fe зерен, вероятнее всего, обусловлено постоянным (длительным) контактом между зернами оливина и никеленосными сульфидами. Зерна с прямой зависимостью содержаний Mg и Ni вообще не контактировали с сульфидами, а обедненные Ni и обогащенные Mg временно соприкасались,

например, с «проходящим» сульфидным расплавом. Отдав сульфидам Ni, они остались в окружении бессульфидных силикатов и оксидов.

В интрузиях нижнеталнахско-нижненорильского типа зерна оливина обеднены Ni при сравнительно высоком содержании в них Mg. Произошло это до кристаллизации оливина, в результате перехода «силикатного» Ni из окисно-силикатного расплава в присутствующие в нем выделения сульфидной жидкости. Оливины пикритовых базальтов отличаются высоким содержанием и Mg, и Ni. Они кристаллизовались и находились впоследствии в бессульфидной среде.

Рассмотрены возможные причины проявления наблюдаемых закономерностей и сделан вывод, что по составу оливинов магматических образований Норильского района можно определять перспективно-рудоносные объекты, для которых характерны протооливины, обогащенные Ni и обедненные Mg.

Генезис рудоносных интрузий Норильского района и свойственных им платино-медно-никелевых месторождений подробно обсуждался нами ранее [10]. При этом учитывались следующие наиболее важные факты.

1. Неоднородное строение интрузивных массивов (магматических колонн) по их протяженности, свидетельствующее о последовательном (эшелонированном) их внедрении.

2. Четко проявленные кумулятивные черты лейкократового габбро и пикритового габбро-долерита с признаками интертеллурической кристаллизации плагиоклаза и оливина.

3. Внутренняя неоднородность пикритового горизонта, выраженная в субгоризонтальном чередовании обедненных и обогащенных оливином слоев с различной размерностью и линейной ориентировкой его зерен, указывающих на последовательное осаждение на кристаллизующееся дно магматической камеры выделений оливина, находящихся в потоке магмы.

4. Присутствие в пикритовом и такситовом габбро-долеритах основной части рудоносных интрузий небольших (обычно ≤10 мм) мелкозернистых (десятые и сотые доли миллиметра) сульфидсодержащих участков пикритового состава, которые характеризуются признаками наиболее ранних рудных выделений [1] и могут быть закаленными фрагментами расплава термического плюма, захваченными и вынесенными внедряющимися продуктами плавления мантии. Этим объясняется наблюдаемое соответствие изотопного состава Os (ср. $\gamma Os=\sim 7$) и Re/Os отношений сульфидных руд неконтаминированному мантийному веществу [17, 19] и материалу верхней части земного ядра [15, 25].

Зарождение магм связывается с воздействием на первичное (недеплетированное) сульфидсодержащее вещество мантии сульфидоносной высокотемпературной массы пикритового расплава, принадлежащего термическому плюму, поднимающемуся от границы ядро – мантия, где возможна концентрация сульфидного материала, обогащенного тяжелым изотопом серы.

Вокруг «головы» плюма возникал зональный ореол плавления окружающего мантийного вещества, в котором зарождались различные по составу магмы в зависимости от расстояния до «головы» плюма, определяющего температуру нагрева и степень плавления мантийной среды. Выплавленные в мантии разности магм представлены в эффузивных и интрузивных образованиях Норильского района.

Магмы рудоносных интрузий зарождались в наиболее высокотемпературной области, на границе плюма и мантии, при непосредственном соприкосновении сульфидоносного пикритового расплава плюма и сульфидсодержащего мантийного вещества. При этом большая часть сульфидной фракции мантийного материала растворялась в окисно-силикатном расплаве мантии и впоследствии формировала так называемые ликвационные сульфиды с относительно низким содержанием тяжелого изотопа серы ($\delta^{34}S=0–3‰$). А захваченное мантийным расплавом сульфидное вещество плюма, обогащенное тяжелым изотопом серы верхней части ядра планеты, являлось избыточным («нерастворимым»), образующим в дальнейшем «сегрегационные» сульфиды, за счет которых впоследствии формировалась основная часть вкрапленных и массивных руд норильских платино-медно-никелевых месторождений с $\delta^{34}S=6–12‰$.

При внедрении рудоносной магматической колонны происходила ее дифференциация на вертикальном и субгоризонтальном пути движения с проявлением, как и в термическом плюме, продольной циркуляции магмы, обусловленной разностью температур во фронтальных (головных) и тыловых частях колонн.

На вертикальном участке пути (рис. 5, *а*) материал рудоносных интрузий изначально состоял из смеси трех веществ: фрагментов сульфидоносного пикритового расплава плюма, сульфидсодержащей жидкости преимущественно толеит-пикритового (мезомафического) состава — продукта частичного плавления окружающей мантии и реститовых зерен оливина и хромита подвергшегося плавлению мантийного материала.

По мере продвижения магмы в более высокие горизонты увеличивалась потеря ею тепла. Максимальная отдача тепла происходила в головной

части магматической колонны, так как она первой входила в холодные толщи и прогревала их, а вся последующая магматическая масса двигалась по прогретой среде с минимальной потерей тепла. В результате значительной потери тепла в головной части магматической колонны начиналась кристаллизация мантийного расплава. Первыми выделялись сравнительно магнезиальный оливин и плагиоклаз анортит-битовнитового состава. Кристаллизующиеся и реститовые зерна оливина вместе с хромшпинелидами, имея большую плотность, чем окружающий расплав, под действием гравитации постепенно опускались вниз, в том числе и в более высокотемпературную среду, где частично переходили в расплав. В противоположность этому, зерна плагиоклаза с меньшей плотностью, чем расплав, накапливались в головной части колонны и продолжали расти. За счет них впоследствии сформировалось крупнозернистое лейкократовое габбро силлов с такситовым и пикритовым (за счет оставшихся в головной части протооливинов) габбро-долеритами внизу.

Содержащаяся в расплаве нерастворяемая сульфидная жидкость, находясь в диспергированном состоянии, с понижением температуры укрупнялась в своих выделениях и совместно с оливином и хромшпинелидом опускалась в более высокотемпературную область колонны, где заново диспергировалась и удерживалась во взвешенном состоянии. Вследствие этого магматическая колонна становилась неоднородной по составу и строению, возникали участки, обогащенные и обедненные сульфидным веществом и кумулятивными фазами. При этом могли формироваться колонны двухчленного и трехчленного строения. В двухчленных колоннах передовая зона лейкократового габбро переходит в рудную, а в трехчленных имеется промежуточная (нижнеталнахско-нижненорильская) зона, потерявшая сегрегационные сульфиды и хромитовые зерна, опустившиеся в более глубокие (рудные) горизонты колонны.

В ходе этих процессов окисно-силикатные расплавы и находившиеся в них оливины головной (габбровой) и проме-

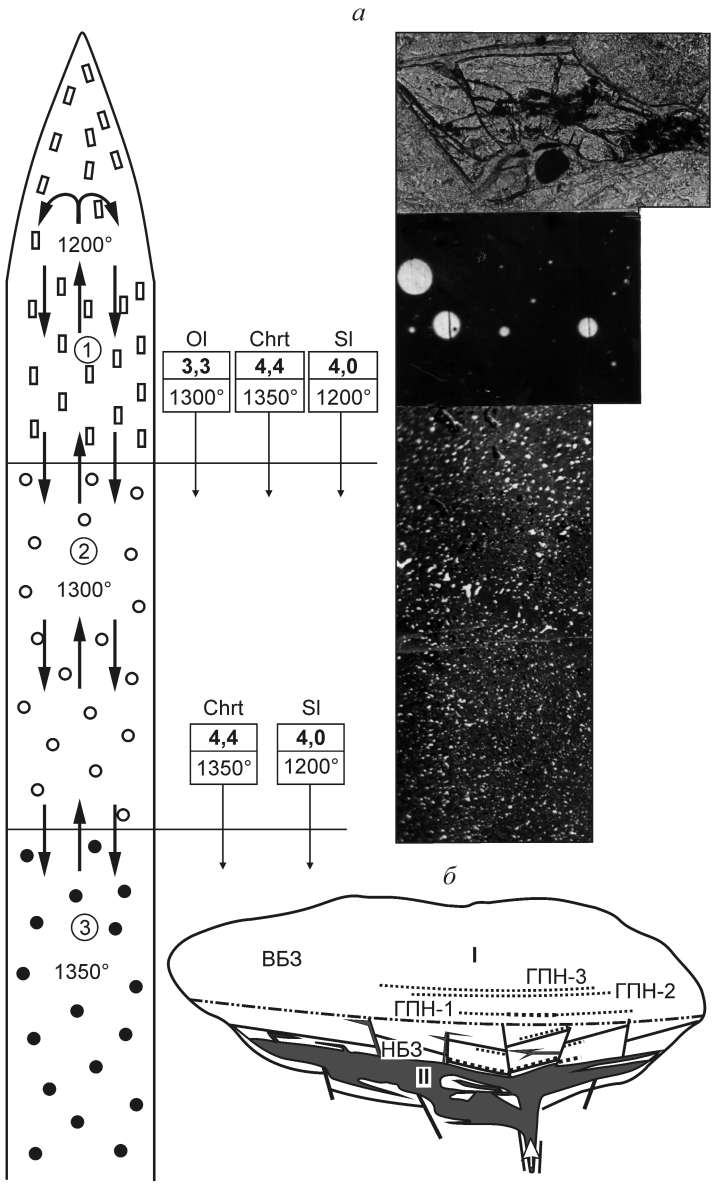


Рис. 5. Схемы внедрения сульфидоносных мезомафических магм:

а — схема внедрения и дифференциации магматической колонны норильского типа в ходе ее вертикального подъема; *б* — стадии внедрения и становления интрузива Федоровой Тундры, *по Н.Грошеву, 2011 г.*; цифры в кружках: 1 — головная часть колонны, обогащенная протокристаллами плагиоклаза (1200°С), 2 — промежуточная часть (1300°С), 3 — нижняя часть (1350°С); Ol — оливин, Chrt — хромит, Sl — сульфидная жидкость; цифры, выделенные полужирным шрифтом, — плотность (г/см^2) минеральных фаз и сульфидной жидкости, под ними — температуры плавления минералов; на фотоснимках: вверху — протооливин (серое выступающее зерно), зерно хромита (черный округлый участок), правее его — выделения сульфидов; посередине — каплевидные выделения сульфидной жидкости, опускающиеся в высокотемпературную часть магматической колонны; внизу — сульфидная жидкость (белое), диспергированная в высокотемпературном силикатном расплаве и удерживающаяся в нем во взвешенном состоянии (зона накопления сульфидного вещества за счет опускания его из охлаждающейся головной части колонны); I — стадия внедрения лейкократовой (габброидной) части магматической колонны, II — стадия внедрения сульфидоносной меланократовой части колонны; ГПН — горизонты повышенной неоднородности; ВБЗ и НБЗ — верхняя и нижняя базитовые зоны

жуточной (нижнеталнахско-нижненорильской) зон могли временно соприкасаться с опускающимися «проходящими» выделениями сульфидов и вследствие этого обедняться «силикатным» никелем. В процессе внедрения тыловые части колонн накладывались на передовые, а также могли формировать самостоятельные магматические тела. Например, за счет второй зоны трехчленной колонны могли образоваться интрузии нижнеталнахско-нижненорильского типа.

На субгоризонтальном пути внедрения магматической колонны (рис. 6) за счет ее головной составляющей формировалась периферическая часть рудоносных интрузивов — силл лейкократового габбро, содержащий первичную платино-медно-никелевую минерализацию (см. рис. 6, I). В интрузии Норильск-I на его долю приходится ~10%, в талнахских интрузиях — ~30%, а в Черногорской — ~70% от наблюдаемой общей магматической массы.

В еще не полностью застывший лейкократовый силл внедрялась следующая часть магматической колонны (см. рис. 6, II). Она имела более высокую температуру, чем фронтальная часть (~1300°С при

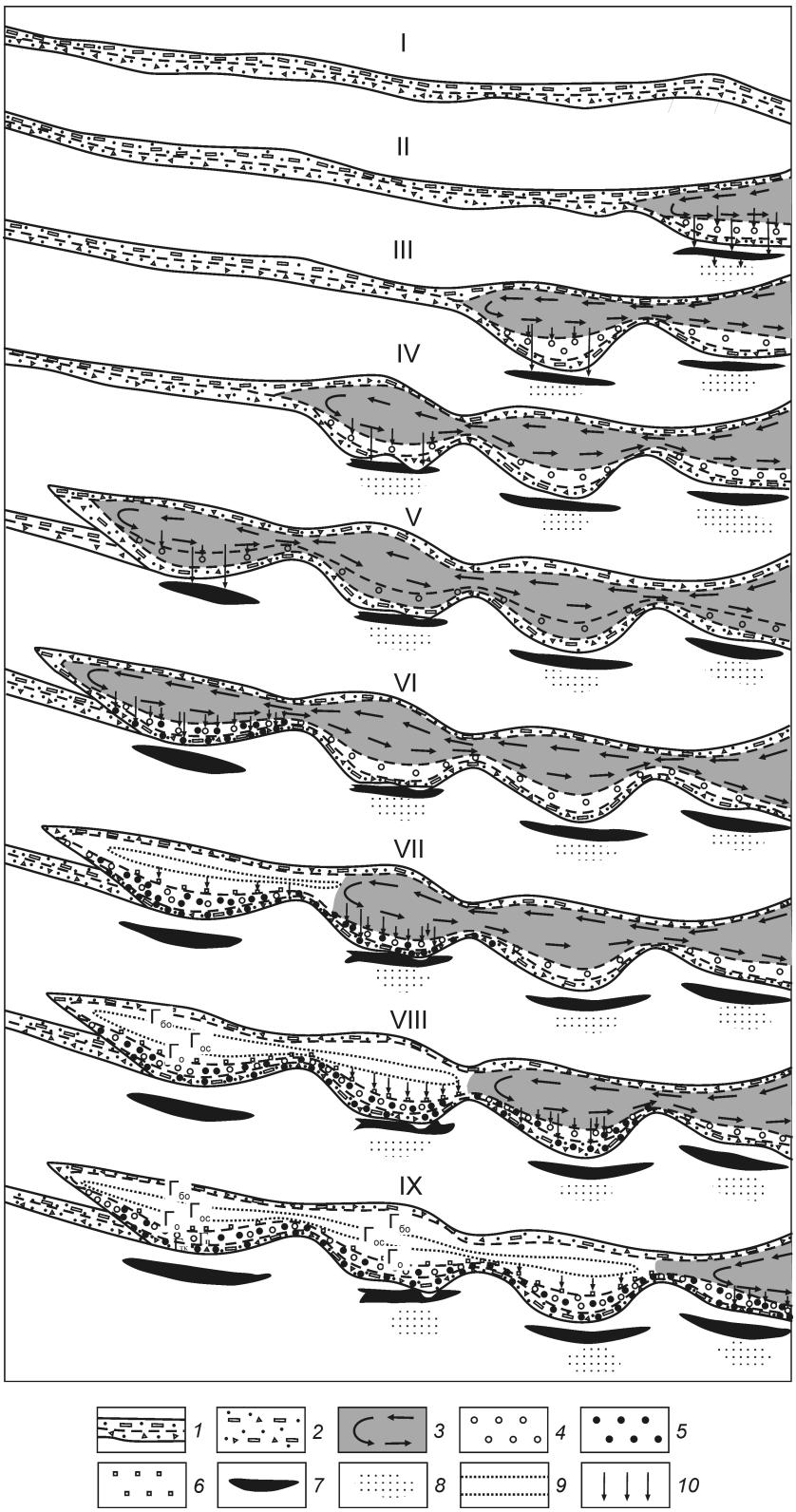


Рис. 6. Схема формирования рудоносных интрузий и связанных с ними платино-медно-никелевых месторождений норильского типа:

1 — головная кашеобразная часть магматической колонны; *2* — верхние и нижние контактовый и такситовый габбро-долериты; *3* — внедряющаяся и циркулирующая магма; *4* — фенокристы оливина; *5* — выделения сульфидной жидкости; *6* — оливин, выделяющийся при внутрикамерной кристаллизации магмы; *7* — массивные руды; *8* — экзоконтактовое вкрапленное и прожилково-вкрапленное оруденение; *9* — кристаллизующаяся магма; *10* — направления движения кристаллов оливина и выделений сульфидной жидкости; I–IX — этапы внедрения и становления рудоносных интрузий и накопления рудного вещества

1150°С в головной части колонны) и содержала протокристаллы оливина и хромита. Внедрение ее осуществлялось в одном направлении, поэтапно с остановками, которые зафиксированы в виде расширенных участков (камер) интрузива. При внедрении тыловой части колонны лейкократовая составляющая силла, обогащенная протокристаллами плагиоклаза, преимущественно отжималась к верхнему эндоконтакту. Здесь она образовывала фрагментарные тела лейкократового габбро и верхних такситового и пикритового габбро-долеритов, в которых к первичной сульфидной минерализации добавилась наложенная, обогащенная металлами платиновой группы. Меланократовая часть силла могла участвовать и в образовании такситового и контактового горизонтов основного тела интрузии.

Поэтапное внедрение колонны (см. рис. 6, III–V) сопровождалось циркуляционным движением расплава от тыловых к фронтальным частям магматического канала и обратно. Это обусловливало накопление частиц сульфидной жидкости и протокристаллов оливина преимущественно в области замыкания циркуляционной ячейки, где происходило наибольшее понижение температуры, и в местах перехода от суженных к расширенным участкам вследствие снижения скорости течения магмы.

Частицы сульфидной жидкости, укрупняясь с понижением температуры, по мере продвижения магматической колонны вперед оседали вместе с оливином, формирующим пикритовый горизонт, и проникали в подстилающие интрузив породы через слой такситового и контактового габбро-долеритов. В результате скопления этих частиц образовались сплошные и прожилково-вкрапленные руды экзо- и эндоконтакта интрузий.

После прекращения продвижения магматической колонны вперед (см. рис. 6, VI) наступал длительный период общей продольной циркуляции магмы по всей длине субгоризонтального магматического канала с замыканием потока в самых удаленных (фронтальной и предфронтальной) его частях. Здесь происходило максимальное накопление сульфидного вещества.

Со временем фронтальная часть канала остывала, затвердевала и теряла возможность участвовать в продольном циркуляционном движении. Процесс замыкания ячейки поэтапно отступал назад вплоть до тыловой части субгоризонтального, а затем и субвертикального канала (см. рис. 6, VII–IX).

Сульфидное вещество, оседавшее на стадии отступления циркуляционной ячейки, накапливалось в нижних существенно консолидированных горизонтах интрузива — в контактовом, такситовом и пикритовом габбро-долеритах, формируя тем самым вкрапленные в интрузиве руды.

Изменение состава руд, выражающееся в повышении содержания Pd, Pt, Cu, Au к фронтальной части интрузива, объясняется переносом («сгоном») наиболее легкоплавкой и подвижной медистой части сульфидного вещества, обогащенной металлами платиновой группы и Au, из тыловых во фронтальные части интрузии на стадии общей продольной циркуляции магмы.

Локальная неоднородность состава сульфидного вещества, проявленная в многочисленных чередованиях по длине интрузива обогащенных и обедненных цветными и благородными металлами участков, обусловлена миграцией медистой фракции сульфидного расплава, кристаллизующейся при температуре на 200°С ниже, чем железистая («пирротиновая»). При этом временной разрыв в их затвердевании может составлять многие сотни лет в зависимости от скорости остывания системы. Наибольшее оседание сульфидов происходило на переходах от суженных к расширенным участкам, где уменьшалась скорость течения магмы. Состояние сульфидов, транспортируемых магмой, определяется как гомогенный сульфидный расплав.

Последовательное зарождение, дифференциация на пути подъема и поэтапное внедрение бессульфидных и сульфидоносных магм свойственны магматическим образованиям практически всех возрастов и всех никеленосных районов мира. Например, архейским зеленокаменным поясам Южной Африки, Канады и Западной Австралии, где внедрение сульфидоносных мезомафических магм (MgO 8–33 мас. %) предварялось поступлением к земной поверхности больших масс бессульфидных мафических продуктов (MgO ≤8 мас. %); протерозойским образованиям Печенги, представленным более ранней эффузивно-интрузивной толщей преимущественно мафического состава (MgO ≤8 мас. %) и позднее внедренными рудоносными массивами.

При подъеме и внедрении сульфидоносных мезомафических магм практически во всех случаях осуществлялась подобная норильской дифференциация на относительно меланократовую (до ультрамафической) нижнюю (тыловую) часть, обогащенную рудным веществом, и более лейкократовую (до габброидной) верхнюю фронтальную часть, обычно опережающую в своем внедрении тыловую часть. Причем в горизонте конечного внедрения эти части находятся в едином массиве и раздельно, как, например, в Печенгском районе.

Дифференциация сульфидоносных мезомафических магм на пути внедрения и опережающее

внедрение их габброидных разностей наиболее наглядно проявлены при образовании сравнительно небольших интрузивных тел, например норильского и печенгского типов. В случае же крупных магматических комплексов это обнаружить сложнее. Но и здесь при тщательном изучении находятся признаки более раннего внедрения лейкократовой (габброидной) части по отношении к рудоносной меланократовой. Примером может служить Федоровский массив Кольского полуострова, в котором детальными исследованиями Н.Ю.Грошева установлено поэтапное внедрение главных составляющих данного массива — вначале габброидной, а затем более меланократовой рудоносной (см. рис. 5, *б*). В этом же регионе проявлено раздельное внедрение в самостоятельные камеры зарождающихся в мантии магм и дифференциатов магматической колонны: габброидный массив Главного хребта и рудоносный Мончегорский плутон.

Таким образом, на основании изложенного материала можно сделать следующие основные выводы.

1. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения формируются в континентальных условиях вследствие проявления термического магматизма, связанного с воздействием высокотемпературного сульфидсодержащего пикритового расплава ядерно-мантийного плюма на первичное (неделетированное) вещество астенолитного слоя мантии.

2. Рассматриваемые месторождения образовались за счет накопления рудного преимущественно сульфидного вещества в результате фракционного плавления мантийного материала, приводящего к зарождению сначала бессульфидных мафических, а затем сульфидоносных мезомафических магм, и кристаллизационно-гравитационной дифференциации последних на пути их подъема и в конечных камерах внедрения.

3. Дифференциация сульфидоноснах магм на пути их подъема в верхние горизонты земной коры приводит к разделению магматической колонны на лейкократовую (габброидную) часть вверху и более меланократовую (вплоть до ультраосновной) внизу, а также к образованию в ней обогащенных рудным веществом интервалов, за счет которых формируются платино-медно-никелевые и платиновые местрождения.

4. Лейкократовая габброидная часть колонны первой достигает конечной камеры внедрения, за которой следует рудоносный материал меланократовой части нередко с явными признаками наложения последней на первую. Существуют случаи внедрения этих частей в раздельные камеры.

5. Внедрение и становление сульфидоносных магм может сопровождаться их продольной циркуляцией, приводящей к накоплению рудных веществ в определенных интервалах колонны, в частности в местах перехода от суженных к расширенным участкам магматического канала, где снижается скорость течения магмы, как в норильских рудоносных интрузиях.

6. Перспективными на платино-медно-никелевые и платиновые руды являются придонные части расширенных участков протяженных магматических колонн и «критические» горизонты крупных расслоенных комплексов, приуроченные к средним частям массивов, представляющим собой сульфидоносный мезомафический дифференциат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ворцепнев В.В.* Условия образования Талнахского рудоносного интрузива по данным изучения включений // Геология рудных месторождений. 1978. № 2. С. 64–70.

2. *Годлевский М.Н., Гриненко Л.Н.* Некоторые данные об изотопном составе серы сульфидов Норильских месторождений // Геохимия. 1963. № 1. С. 35–40.

3. *Годлевский М.Н., Шумская Н.И.* Халькопирит-миллеритовые руды месторождения Норильск-1 // Геология рудных месторождений. 1960. № 6. С. 61–72.

4. *Горбачев Н.С., Гриненко Л.Н.* Изотопный состав серы сульфидов и сульфатов Октябрьского месторождения сульфидных руд (Норильский район) в связи с вопросами его генезиса // Геохимия. 1973. № 8. С. 1127–1136.

5. *Гриненко Л.Н.* Изотопный состав серы сульфидов некоторых медно-никелевых месторождений и рудопроявлений Сибирской платформы // Петрология траппов Сибирской платформы. Л., 1967. С. 221–229.

6. *Коваленкер В.А., Гладышев Г.Д., Носик Л.П.* Изотопный состав серы сульфидов из месторождений Талнахского рудного узла в связи с их селеноносностью // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1974. № 2. С. 80–90.

7. *Лихачев А.П.* Роль лейкократового габбро в формировании норильских дифференцированных интрузий // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1965. № 10. С. 75–89.

8. *Лихачев А.П.* О горизонтальной зональности экзоконтактовых руд Норильского месторождения // Геология рудных месторождений. 1969. № 3. С. 110–115.

9. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения: механизмы накопления, новые источники и методы получения рудных веществ // Руды и металлы. 2002. № 5. С. 9–23.

10. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006.

11. *Лихачев А.П., Кукоев В.А.* О плавлении и фазовых отношениях в сульфидных, силикатных и сульфидно-силикатных системах // Геология рудных месторождений. 1973. № 3. С. 32–45.

12. *Малосульфидное* платиновое оруденение в Норильских дифференцированных интрузиях / С.Ф.Служеникин, В.В.Дистлер, О.А.Дюжиков и др. // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36. № 3. С. 195–217.

13. *Налдретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометальных руд. – СПб.: СПбГУ, 2003.

14. *Соболев А.В., Криволуцкая Н.А., Кузьмин Д.В.* Петрология родоначальных расплавов и мантийных источников магм Сибирской трапповой провинции // Петрология. 2009. Т. 17. № 3. С. 276–310.

15. *Applications* of the ^{190}Pt–^{186}Os isotope system to geochemistry and cosmochemistry / R.J.Walker, J.W.Morgan, E.S.Beary et al. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. Vol. 61. No. 22. P. 4799–4807.

16. *Browen H.A.* A table of relative abundances of nuclear species // Rev. mod. phys. 1949. Vol. 21. P. 625–634.

17. *Geochemistry* and origin of the intrusive hostes of the Noril'sk-Talnakh Cu-Ni-PGE sulfide deposits / N.T.Arndt, G.K.Czamanske, R.J.Walker et al. // Econ. Geol. 2003. Vol. 98. P. 495–515.

18. *Isotopic* and trace element characterization of the Siberian continental flood basalts of the Noril'sk area / J.L.Wooden, G.K.Czamanske, V.A.Fedorenko et al. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1993. Vol. 57. P. 3677–3704.

19. *Lambert D.D., Frick L.R., Foster J.G., Naldrett A.J.* Re-Os Isotopic Systematics of the Voisey's Bay Ni-Cu-Co Magmatic Sulfide System, Labrador, Canada: II. Implications for Parental Magma Chemistry, Ore Genesis and Metal Redistribution // Econ. Geol. 2000. Vol. 95. No 4. P. 867–888.

20. *Li C., Ripley E.M., Naldrett A.J.* Compositional variations of olivine and sulfur isotopes in the Noril'sk and Talnakh intrusions, Siberia: Implications for ore-forming processes in dynamic magma conduits // Econ. Geol. 2003. Vol. 98. P. 69–87.

21. *Mineralogy*, geochemistry and stratigraphy of the Maslovsky Pt-Cu-Ni sulfide deposit, Noril'sk Region, Russia Implications for relationship of ore-bearing intrusions and lavas / N.A.Krivolutskaya, A.V.Sobolev, S.G.Snisar et al. // Miner. Deposita DOI 10.1007/s00126-011-0372-5. Springer. 2011.

22. *Naldrett A.J., Brugmann G.E., Wilson A.H.* Models for the concentration of PGE in layered intrusions // Canad. Miner. 1990. Vol. 28. P. 389–408.

23. *Ni-Cu-PGE deposits* of the Noril'sk region, Siberia: their formation in conduits for flood basalt volcanism / A.J.Naldrett, V.A.Fedorenko, P.C.Lightfoot et al. // Institute of Mining and Metallurgy Transaction. 1995. Vol. 104. P. B18–B36.

24. *Remobilisation* of the continental lithosphere by mantle plumes: major-, trace-element, and Sr-, Nd-, and Pb-isotope evidence from picritic and tholeiitic lavas of the Noril'sk District, Siberian Trap, Russia / P.C.Lightfoot, C.J.Hawkesworth, J.Hergt et al. // Contrib. Mineral. Petrol. 1993. Vol. 114. P. 171–188.

25. *Re-Os isotopic* evidence for an enriched-mantle source for the Noril'sk-type, ore-bearing intrusions, Siberia / R.J.Walker, J.W.Morgan, M.F.Horan et al. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1994. Vol. 58. No. 19. P. 4179–4197.

УДК 552.2:553.4 (470.32) © Н.М.Чернышов, 2012

СУЛЬФИДНЫЕ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-КОБАЛЬТ-НИКЕЛЕВЫЕ РУДЫ ЕЛАНСКОГО ТИПА

Н.М.Чернышов (Воронежский государственный университет)

Приведены закономерности размещения и состав руд еланского типа на Воронежском кристаллическом массиве. Установлена корреляционная взаимосвязь благородных металлов с главными рудообразующими компонентами (Ni, Cu, Co) и ведущая роль в их распределении арсенид-сульфоарсенидного парагенезиса. Предложена модель формирования еланского типа рудообразующей системы.

Ключевые слова: медно-никелевые руды, Еланское месторождение, Центральный регион, рудообразование, Годлевский.

Чернышов Николай Михайлович, petrology@list.ru.

SULFIDE PGE-COPPER-COBALT-NICKEL ORES OF THE ELAN TYPE DEPOSITS

N.M.Chernyshov

Regularities of distribution and the composition of the Elan-type ores at Voronezh Crystalline Massif are presented. The correlation between noble metals and the main ore-forming components (Ni, Cu, Co), as well as the leading role of arsenide-sulfoarsenide paragenesis in their distribution is established. The formation model of the Elan-type ore-forming system is proposed.

Key words: copper-nickel ores, Elan deposit, Central Region, ore formation, Godlewski.

Среди плеяды ведущих ученых (Н.Н.Урванцева, В.К.Котульского, В.С.Домарева, Н.А.Коровякова и др.) — исследователей, первопроходцев, первооткрывателей и разведчиков — создателей уникальной кладовой норильских сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд в суровых условиях Заполярья особое место занимает Михаил Николаевич Годлевский — профессор, доктор геолого-минералогических наук, ветеран Великой Отечественной войны, норильчанин, кавалер орденов Ленина и Трудового Красного Знамени, человек редкой и трудной судьбы, ученый с мировым именем.

М.Н.Годлевский родился в 1902 г. в Варшаве в семье потомственных ученых-естествоиспытателей. Его трудовая жизнь началась в 15 лет, когда в качестве рабочего, техника-геолога он работал в Сибири, там, где и его дед, труды которого по Байкалу вошли в золотой фонд русской и мировой науки. В 1922 г. М.Н.Годлевский поступает на физико-математический факультет Ленинградского университета, но через год из-за трудного материального положения оставляет его. Лишь в 1927 г. ему удается возобновить учебу в Ленинградском горном институте, по окончании которого в 1930 г. он стал работать во ВСЕГЕИ руководителем минералого-петрографической группы и одновременно преподавателем, а затем доцентом Горного института. С этого времени вся его последующая работа неразрывно связана с изучением и расширением минерально-сырьевой базы нашей страны. В 1930–1941 гг. это исследования геологии, минералогии и геохимии месторождений железа (в том числе Воронежского региона), поделочных камней, силикатного никеля и бора. Академики В.И.Вернадский, А.Е.Ферсман, А.Н.Заварицкий называли М.Н.Годлевского первоклассным исследователем, одним из наиболее образованных минералогов. В 1937 г. Михаилу Николаевичу была присуждена ученая степень кандидата геолого-минералогических наук.

Со 2 июля 1941 г. М.Н.Годлевский — в рядах Советской Армии. Активный участник обороны Ленинграда, он перенес все тяготы и ужасы фашистского плена. После Великой Отечественной войны (в 1946–1960 гг.) главные направления деятельности ученого — геология, минералогия и геохимия месторождений сульфидных медно-никелевых руд и платиновых металлов Норильского рудного района. В эти годы им были написаны монографии по геологии и генезису норильских медно-никелевых месторождений, петрологии никеленосных интрузий, вещественному составу руд, в том числе пионерская по тем временам работа «Приложение теории вероятности к решению геологических проблем». В 1958 г. М.Н.Годлевский блестяще защищает докторскую диссертацию «Траппы и сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского района», в которой предложил теорию медно-никелевого рудообразования. Не случайно, что один из новых минералов, открытых норильчанами, был назван годлевскитом**.** Открытие годлевскита имело выдающееся научное значение: это пятый и последний минерал,

венчающий сложную природную систему «никель–сера». Создание этой системы потребовало от мировой науки более 200 лет. За участие в открытии и изучении норильских месторождений М.Н.Годлевский в 1963 г. награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Последующий почти 25-летний период жизни ученого связан с ЦНИГРИ. Он создает и возглавляет сектор геологии и прогнозирования месторождений никеля, кобальта и платины, руководит отделом минералогических исследований, одновременно являясь главным куратором Министерства геологии СССР по металлам. В 1963 г. под его руководством разработана программа исследований по геологии никелевых месторождений. Именно по ней коллективы научно-исследовательских институтов, вузов и производственных организаций изучали месторождения Норильска, Карелии, Северного Прибайкалья, Кольского полуострова и Воронежского кристаллического массива (ВКМ).

В настоящее время Воронежский кристаллический массив стал одним из ведущих никелевых регионов России с первоочередными объектами добычи цветных и благородных металлов. Среди тех, кто обратил внимание на перспективность этой территории, необходимость ее планомерного и целенаправленного геологического изучения, возможность выявления в ее пределах сульфидных медно-никелевых руд, был Михаил Николаевич Годлевский. Высказанные им фундаментальные положения-предпосылки, прогнозные оценки и планы по направлению изучения докембрия ВКМ, реализованные в дальнейшем его соратниками и учениками, привели к обнаружению ряда месторождений и рудопроявлений медно-никелевых руд. В конце начального периода исследований юго-востока ВКМ М.Н.Годлевский в записке (июль 1969 г.) дал рекомендации (рис. 1).

Уже на ранних этапах изучения платиноидно-медно-никелевых месторождений и рудопроявлений мамонского типа М.Н.Годлевский, будучи постоянным научным консультантом возглавляемой Н.М.Чернышовым никелевой группы ВГУ, подчеркивал, что эти руды характеризуются относительно низкими средними содержаниями промышленно важных металлов и ставил задачу поисков богатых (Ni >1%) руд. Это осуществлено в дальнейшем при открытии своеобразного, не имеющего мировых аналогов, платиноидно-медно-кобальт-никелевого оруденения еланского типа — Еланское и Елкинское месторождения и около 20 рудопроявлений [10, 12, 13], генетически связанных с субвулканической ортопироксенит-норит-диоритовой (2065–2050±14 млн. лет) формацией

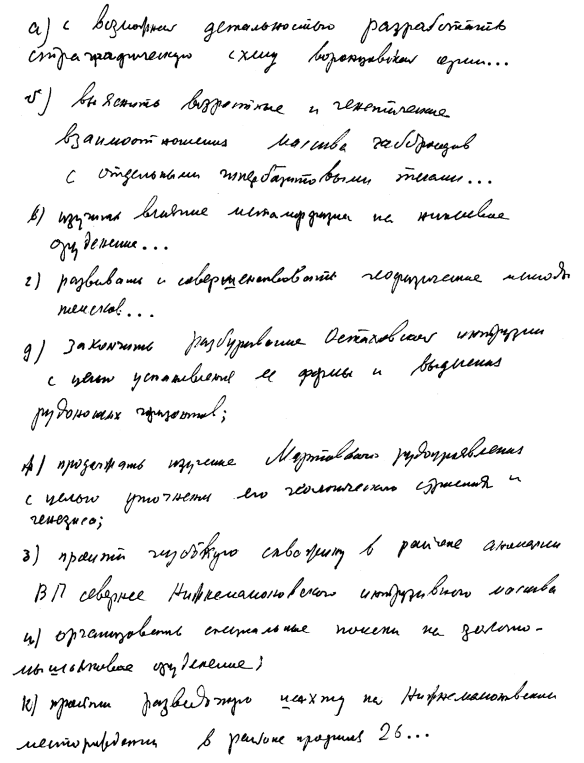


Рис. 1. Фрагмент рукописи М.Н.Годлевского «Об очередных задачах поисков на никель и другие металлы на юго-востоке Воронежского кристаллического массива», 1969 г. (Предоставлен для опубликования С.П.Молотковым)

рассеянного спрединга и реактивизированных структур Хоперского мегаблока ВКМ (рис. 2)

Условия локализации, типы и состав руд еланской группы месторождений. Среди различных по степени разведанности мамонского и еланского промышленно-генетических типов месторождений Воронежской области (см. рис. 2) первоочередными объектами освоения представляются Еланское и Елкинское, а также многочисленные разномасштабные рудопроявления, описанные в ряде публикаций [2, 3, 8, 11–19, 23].

Еланское месторождение приурочено к северо-восточному борту крупного (120 км^2) Елань-Коленовского плутона мамонского комплекса. В его пределах выявлены две протяженные (от 400–600 до 1500 м) и сравнительно мощные зоны сульфидного платиноидно-медно-кобальт-никелевого оруденения, прослеженного на глубину >1500 м. Пространственно они тяготеют преимущественно к центральной части вулканоинтрузивной колонны (рис. 3). Характеризуются сложным внутренним строением, крайне неравномерной перемежаемостью различных структурно-морфологических типов руд и в разной мере минерализованных норитов. Включают до восьми крутопадающих преры-

вистых ленто- и линзообразных разномасштабных по ресурсам и запасам рудных тел. Значительная по протяженности (>1000 м) и мощности (до 100 м) зона более бедного сульфидного вкрапленного оруденения вскрыта единичными скважинами в южной (фланговой) части месторождения.

Елкинское месторождение расположено в северо-западной части кольцевого норит-диоритового субвулканического тела. Оно локализовано в протяженной (>1000 м) зоне, в которой крутопадающее линзовидное рудное тело мощностью от 2 до 42 м прослежено до глубины 1500 м (рис. 4). Рудные зоны и тела сульфидных платиноидно-медно-никелевых преимущественно вкрапленных с маломощными залежами массивных (от 0,2 до 1,5–2,5 м, иногда 3–5 м) и брекчиевидных (от 0,2 до 1,0 м) руд обычно наследуют внутреннее строение крутопадающих (до 70–80°) вулканоинтрузивных норит-диоритовых массивов. Эти особенности, присущие многочисленным рудопроявлениям, подтверждают представление [15] об определяющей роли в размещении оруденения прежде всего структурно-петрологических факторов. Разрывные нарушения лишь усложнили морфологию рудных зон вследствие перемещения их относительно друг друга.

В оценке общего потенциала стратегически важных металлов, помимо Еланского и Елкинского месторождений и многочисленных рудопроявлений (Троицкое, Листопадовское, Новотроицкое, Русиновское, Новопокровское и др.), ассоциирующих с норит-диоритовыми субвулканическими интрузивами, особенно интересны т различные по мощности, морфологии и протяженности дайкообразные тела ортопироксенитов, представляющие собой наиболее раннюю фазу еланского комплекса и характеризующиеся богатым оруденением. Наиболее широко они развиты в центральной части Елань-Коленовского плутона (см. рис. 2).

Структурно-петрологические факторы размещения оруденения отчетливо отражаются и в текстурно-структурных особенностях руд, для которых характерно [14, 16] пространственное совмещение в пределах единых рудных тел и зон различных типов руд (тонковкрапленные, крупновкрапленные, оспенно-вкрапленные, гнездовые, шлировые, вкрапленно-прожилковые, брекчиевидные, массивные (рис. 5). Количественно на месторождениях резко преобладают вкрапленные руды (>85%), прожилково-вкрапленные или вкрапленно-агрегатные и массивные имеют ограниченное развитие (10–15 и 2–3% соответственно). При относительно невысокой доле (~10–12%) густовкрапленных, прожилково-вкрапленных и сплошных руд они, вместе с тем, концентрируют около половины запасов полезных компонентов. Кроме того, в маломощной коре выветривания рудных зон ограниченно (1–2%) распространены окисленные сульфидно-силикатные и силикатные разновидности руд.

По минеральному составу вкрапленные руды содержат (%) халькопирит (2–15), пентландит (5–10 до 20–30, иногда более) и пирротин (60–75) с ограниченным присутствием (1–3) арсенидов и сульфоарсенидов Ni и Co, хромшпинелидов (2–3). Гнездово-прожилковые разновидности относятся преимущественно к пентландит (10–30%, иногда до 50–60%)-пирротиновым (65–80%). В них почти вдвое уменьшается содержание халькопирита и вдвое увеличивается роль никель-кобальтового арсенид-сульфоарсенидного минерального парагенезиса, хромшпинелидов, отчасти молибденита, графита и золота. Эта особенность характерна и для массивных руд, которые представлены сплошным неравномерно-зернистым сульфидным (с широким развитием арсенидов и сульфоарсенидов) агрегатом [14].

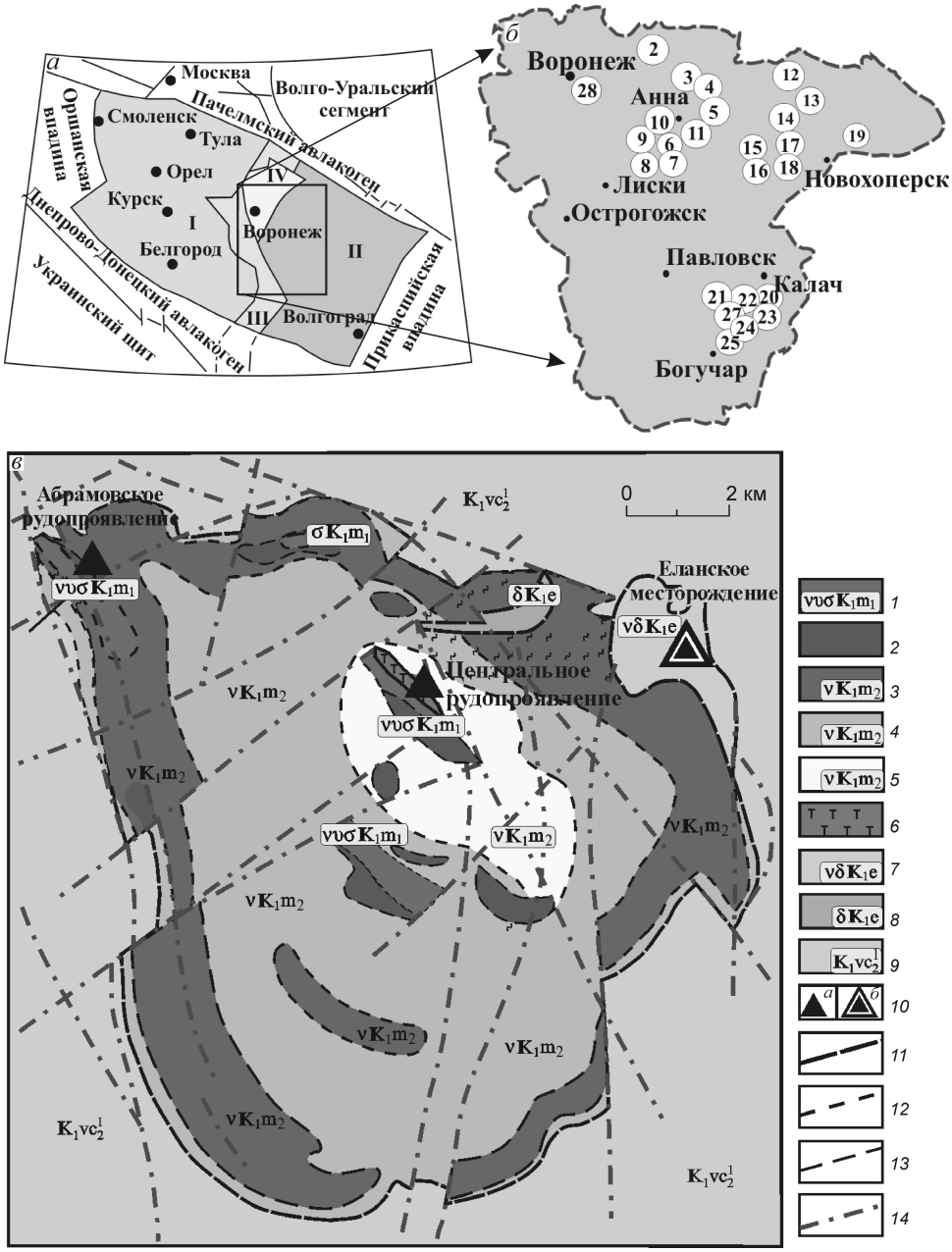
При сравнительно небольшом (>40) количестве минеральных видов и разновидностей руды еланско-

Рис. 2. Схема структурно-формационного районирования ВКМ (*а*), размещение сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений и рудопроявлений мамонского и еланского типов Воронежской области (*б*), схема геологического строения Елань-Коленовского плутона и положение в его структуре Еланского месторождения и других рудопроявлений (*в*), *по [18]*:

I — мегаблок КМА, II — Хоперский мегаблок, III — Лосевская шовная зона, IV — Ольховско-Шукавская грабенсинклиналь; 1 — Ольховский; 2 — Шукавский; 3 — Садовский; 4 — Восточно-Садовский; 5 — Моховской; 6 — Шишовский; 7 — Астаховский; 8 — Песковатский; 9 — Икорецкий; 10 — Рябиновско-Большемартыновский; 11 — Анненский; 12 — Новогольский; 13 — Жердевский; 14 — Троицкий; 15 — Елань-Коленовский; 16 — Центральный; 17 — Еланский; 18 — Елкинский; 19 — Уваровский; 20 — Ширяевский; 21 — Мамонский; 22 — Артюховский; 23 — Бычковский; 24 — Юбилейный; 25 — Подколодновский; 26 — Пионерский (Липов Куст); 27 — Сухой Яр; 28 — Воронежский; *1* — ультрамафит-мафитовые породы ритмично-расслоенной серии I интрузивной фазы (перидотит-пироксенит-меланократовый габбронорит (троктолит) – габбронорит); *2* — ксенолиты ультрамафитов (флогопитовый плагиоперидотит и тремолитизированный пироксенит); мафитовые породы дифференцированной серии габброноритов II интрузивной фазы: *3* — оливиновые и оливин-ортоклазовые габбронориты, *4* — биотит-амфиболовые габбронориты, *5* — биотит-амфиболовые габбронориты и амфиболовое габбро; *6* — ортопироксениты; *7* — нориты; *8* — диориты еланского комплекса; *9* — метапесчаники воронцовской серии; *10* — рудопроявления (*а*) и месторождения (*б*); контакты интрузивных пород: *11* — интрузивные с вмещающими метапесчаниками воронцовской серии, *12* — межфазовые интрузивные, *13* — постепенные петрографические границы; *14* — тектонические разрывные нарушения

го типа имеют специфический состав [14, 15, 18], отличающий их от руд медно-никелевых месторождений мамонского и других типов, прежде всего, по характеру минеральных парагенезисов и соотношению главных рудных минералов. В группе пирротина количественно преобладают троилит, моноклинный и гексагональный пирротин, крайне ограниченно распространен халькопирит (2,5%, иногда до 10–15% объема рудной массы). Характерны высокие содержания (до 30–55%) пентландита, постоянное присутствие (до 2–5%) хромшпинелидов, ассоциирующих как с силикатами, так и сульфидами. Во всех разновидностях руд постоянно отмечаются аргентопентландит, виоларит, валлериит, кубанит, титаномагнетит, иногда ильменит, миллерит, марказит, пирит, маккинавит.

Особенностью руд еланского типа является тесное пространственно-временное совмещение раннего халькопирит-пентландит-пирротинового и более позднего существенно обогащенного платиноидами кобальт-никелевого арсенид-сульфоарсенидного парагенезов, сформировавшихся из единого обогащенного флюидами рудоносного расплава [14, 15, 17, 18]. Относительно широко распространенные (2–5, иногда до 7%) арсениды, сульфоарсениды и антимониды никеля и кобальта, а также вис-



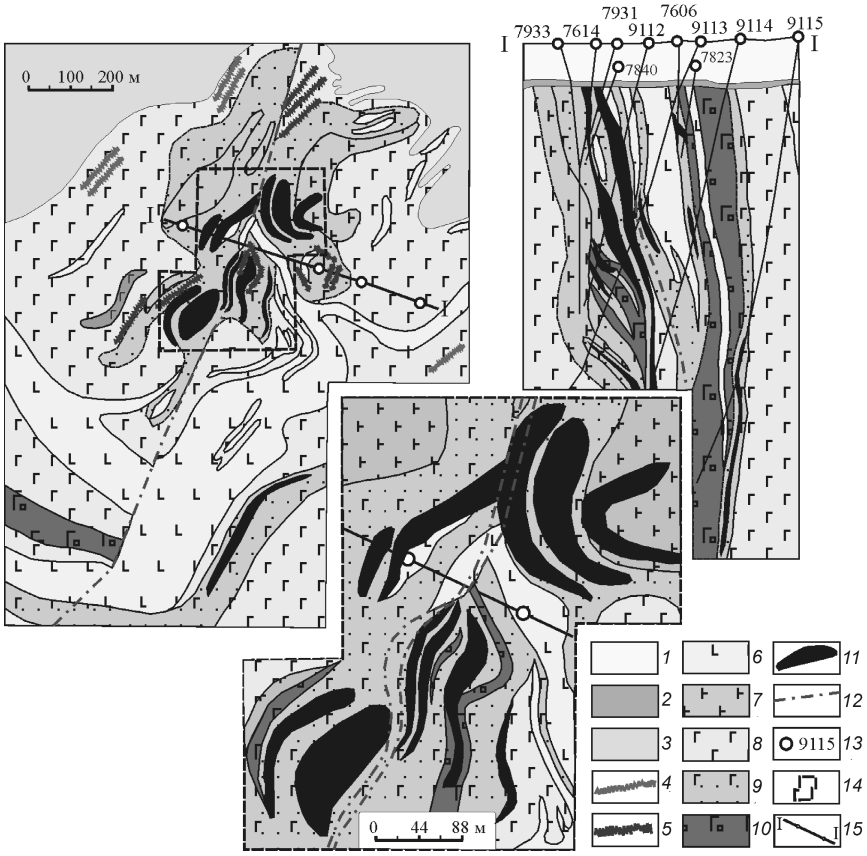


Рис. 3. Схематическая геологическая карта Еланского месторождения, *по [14, 18]*:

1 — породы платформенного чехла (на разрезе); *2* — кора выветривания на кристаллическом фундаменте (на разрезе); *3* — песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии; *4* — дайки порфиритов, лампрофиров; *5* — диориты второй интрузивной фазы еланского комплекса; *6* — норит-порфириты жильные; *7* — нориты тонкозернистые («фельзические»); нориты: *8* — мелко-среднезернистые, *9* — порфировидные; *10* — габбронориты оливиновые и безоливиновые мамонского комплекса; *11* — рудные тела; *12* — тектонические нарушения; *13* — скважины и их номера; *14* — контур врезки; *15* — линия геологического разреза

мутиды и теллуриды представлены тесным срастанием достаточно большого числа минеральных фаз. Среди них количественно преобладают никелин и минералы ряда герсдорфит–кобальтин. В катионной части этих минералов проявлен широкий изоморфизм между Ni, Co и отчасти Fe, который обусловливает значительные вариации химического состава герсдорфита, кобальтистого герсдорфита, никелистого кобальтина и кобальтина. Более ограниченно развиты кобальто-никелевый леллингит, маухерит, ранее неизвестный в природе минерал состава Ni_3As_2, гаухекорнит двух разновидностей (собственно гаухекорнит, сурмяная разновидность — стибиогаухекорнит), ульманит, теллуровисмутит, брейтгауптит, арсенопирит, скуттеродит, данаит, смальтин, раммельсбергит. Входящие в арсенид-сульфоарсенидный парагенез другие редкие минералы представлены молибденитом, сфалеритом, галенитом, борнитом, маккинавитом, тунгстенитом, самородным золотом; в этой ассоциации присутствуют кюстелит и алтаит. В виоларитизированных и окисленных разновидностях руд существенные концентрации Ni и Co отмечаются в пирите и марказите [14, 16, 18].

Специфические особенности минерального парагенезиса руд еланского типа отчетливо прослеживаются в их химическом составе. По содержанию главных рудообразующих элементов (Ni, Co, Cu) руды еланского типа принадлежат [10, 14, 15, 18] к маломедистым высоконикелистым с повышенными концентрациями Co (табл. 1). Они значительно обогащены изотопно-легкой серой ($\delta^{34}S$=-0,3…-11,6‰), отличаются широким комплексом попутных полезных (Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Os, Ir, Ru, Se, Te, Mo) и вредных в технологическом отношении (As, Sb, Bi, Pb) компонентов. Эти общие для всех месторождений и рудопроявлений признаки сульфидного никелевого оруденения служат одним из определяющих факторов при выделении рудно-магматической системы еланского типа [2, 11, 15]. На бинарных диаграммах (Ni/Cu) и Cu/(Cu+Ni)–Pt/(Pt+Pd) руды еланского типа образуют самостоятельные поля (рис. 6), совпадающие с полями составов руд архейских коматиит-ассоциированных сульфидных никелевых месторождений. С рудно-магматической системой этого типа их в известной мере сближает постоянное наличие высокохромистых цинксодержащих (0,2< ZnO <3%) хромшпинелидов.

Наиболее высокими концентрациями Ni характеризуются массивные, густовкрапленные и прожилково-вкрапленные руды Еланского месторождения. Руды Елкинского месторождения и других

проявлений — высокосернистые и высокожелезистые и отличаются более высокими, присущими малоэродированным рудным телам, концентрациями попутных компонентов (табл. 2). В их 100%-ном сульфидном концентрате содержание Ni и Co в 2–5 раз ниже по сравнению с рудами Еланского месторождения [15, 16, 18].

Основной формой нахождения никеля в рудах является сульфидная (>90% от общего количества никеля). Лишь в коре выветривания значительно (до 50% и более) возрастает доля силикатного никеля. Главный носитель никеля — пентландит; в нем содержится 93–94% сульфидного никеля. Меньшая часть приходится на виоларит (3–4%), пирротин (2–3%), арсениды и сульфоарсениды (1– 2%). Вся медь находится в сульфидной форме и в одном минерале — халькопирите. Около 90% Co содержится в рудных минералах и примерно 10% — в силикатах. Основной минерал-носитель кобальта — пентландит (65–75% от общего его количества). Значительная часть Co концентрируется (%) в сульфоарсенидах — 12–17, небольшая доля содержится в виоларите — 3–4, пирротине, пирите и марказите — 1–2.

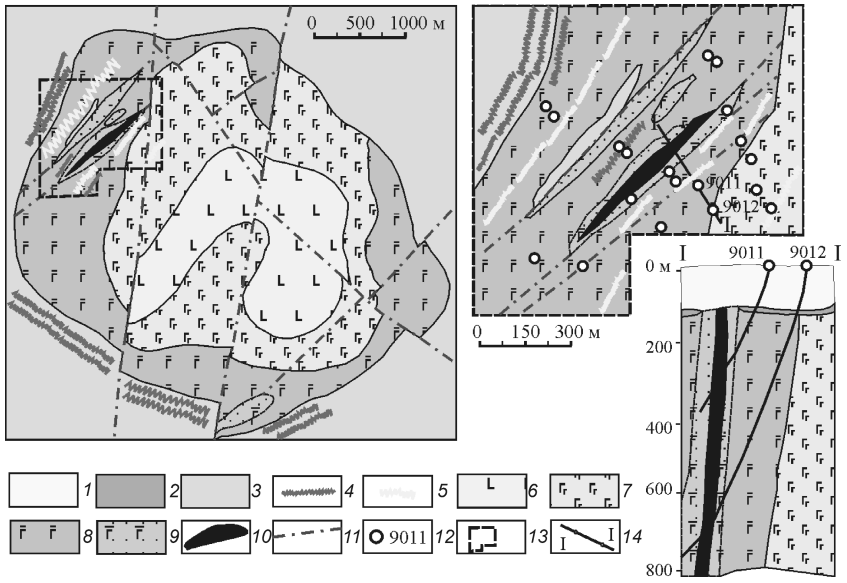


Рис. 4. Геологическая карта Елкинского месторождения, *по [14, 18]*:

1 — породы платформенного чехла (на разрезе); *2* — кора выветривания на кристаллическом фундаменте (на разрезе); *3* — песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии; *4* — дайки норит-порфиритов; *5* — дайки диоритов и диоритовых порфиритов; *6* — диориты; нориты: *7* — мелкозернистые мелано-мезократовые, *8* — среднезернистые лейкократовые и полевошпатизированные, *9* — амфиболизированные с сульфидной вкрапленностью; *10* — рудные тела; *11* — тектонические нарушения; сульфидная вкрапленность; *12* — скважины; *13* — контур врезки; *14* — линия геологического разреза

Особенности распределения ЭПГ в сульфидных никелевых рудах еланского типа. Важнейшими компонентами руд, существенно повышающими рентабельность производства при освоении месторождений, являются благородные металлы (ЭПГ, Au, Ag). При значительных содержаниях Ni и Co руды еланского типа характеризуются в целом близкими к богатым рудам печенгского типа количествами Pt и Pd, на долю которых приходится около 95% от суммы платиноидов; Rh, Ru и Ir находятся примерно в равных количествах, но их содержание почти на порядок ниже концентраций Pt и Pd (табл. 3). Полученные по значительному объему проб, проанализированных в различных лабораториях и организациях, средневзвешенные содержания ЭПГ и сопутствующих им элементов в рудах Еланского месторождения (табл. 4) свидетельствуют в целом о невысоких средних концентрациях (г/т) платиноидов (0,31–0,48), Au (0,11–0,85), Ag (2,9–4,7), а также Se (7,5–21,7), Te (1,7–4,4). Эти значения отражают содержания благородных металлов по всей мощности ряда вскрытых рудоносных зон Еланского месторождения. Наиболее высокие их концентрации установлены в богатых сульфидных кобальт-медистоникелевых рудах (скв. 764, Еланское месторождение), выделенных [15, 16, 18, 19] в особый сульфидно-пегматоидный тип (см. табл. 2). Помимо сульфидов Ni и Cu, в них широко представлены арсениды, сульфоарсениды и антимониды Ni и Cu — никелин, герсдорфит, кобальтин, гаухекорнит, а также галенит, молибденит, самородное золото, характерные для позднемагматических стадий становления рудно-магматической системы еланского типа в условиях ее обогащения флюидной фазой [15, 16].

В количественно преобладающих на месторождениях и рудопроявлениях вкрапленных рудах в норитах и ортопироксенитах ЭПГ содержатся в незначительных количествах (0,065–0,145 г/т) и распределены крайне неравномерно. Наиболее низкие их содержания присущи бедным (Ni+Cu+Co <0,25%) вкрапленным рудам с преобладанием пирротина. В халькопирит-пентландит-пирротиновых рудах рудоносных зон с невысокой долей (до 1–1,5%) в минеральном парагенезисе сульфоарсенидов никеля и кобальта заметно возрастают концент-

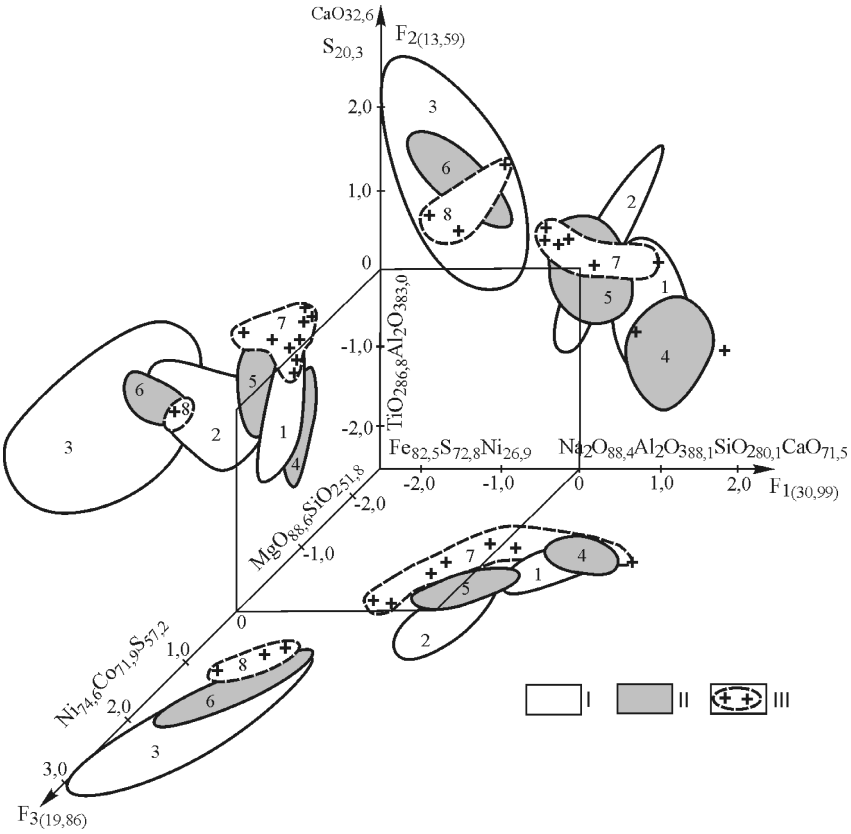


Рис. 5. Положение полей составов сульфидных медно-никелевых руд Еланского и Елкинского месторождений и Центрального рудопроявления на факторной диаграмме, *по [19] с дополнениями*:

1 — Еланское месторождение (1 — вкрапленные, 2 — гнездово-прожилковые, 3 — массивные руды); II — Елкинское месторождение (4 — вкрапленные, 5 — гнездово-прожилковые, 6 — массивные руды); III — Центральное рудопроявление (7 — вкрапленные, 8 — вкрапленно-шлировые руды)

рации (г/т) Pt 0,170, Pd 0,15, Rh 0,020; отношение Pd/Pt за небольшим исключением >1 (см. табл. 3).

Повышенными концентрациями ЭПГ на Еланском месторождении характеризуются брекчиевидные и более медистые вкрапленно-прожилковые руды (Ni 6,66%, Cu 0,23%, Pt 0,68 г/т, Pd 1,3 г/т); среднее содержание Pd и Pt (по пяти анализам) составляет 0,530 г/т (Pd/Pt=2,1). В массивных рудах высокие концентрации платиноидов выявлены в наиболее богатых рудах (Ni 13,3–14,35%, Cu 0,28–1,17%, Co 0,25–0,30%, Pt 0,10–0,38 г/т, Pd 0,36–1,0 г/т, Rh до 0,03 г/т, Ru до 0,012 г/т, Ir до 0,014 г/т) при среднем содержании платиноидов 0,495 г/т (Pd/Pt=2,4). В единичных пробах массивных руд установлено до 12 г/т ЭПГ и до 2,5 г/т Au [15], а также наличие в зернах пентландита и пирротина мелких изометричных кристаллов, которые по ряду физических параметров близки к природному сплаву Pt и Fe [14]. В брекчиевидных и массивных рудах палладий заметно преобладает над платиной (Pd/Pt >2). Последнее — не только следствие высоких содержаний сульфидов никеля, меди, кобальта, но и, как правило, существенного возрастания в них арсенидов и сульфоарсенидов, наиболее характерных для поздних пневматолитовых стадий единого рудообразующего процесса. В арсенидах и сульфоарсенидах накапливаются повышенные концентрации Os, Ir, Ru, Pt и Pd. В подобных рудах заметно обогащается палладием пирротин. Микрозондовые анализы выявили в пирротине Rh (200 г/т), Pt (100 г/т) и Au (200 г/т), а в пентландите (частота встречаемости 44%) Pd (табл. 5).

Анализ корреляционных связей показывает [14, 18] тесную и наиболее сильную зависимость Pt, Pd и Rh как между собой, так и всей триады с Ni, Cu, Co, S и особенно с As, Au (рис. 7, *а*, *в*, *г*), что вообще свойственно многим сульфидным медно-никелевым месторождениям. Распределение рутения определяется связью как с халькофильными элементами, так и в большей мере вероятной ассоциацией его с хромшпинелидами с образованием, возможно, собственных минеральных фаз типа лаурита — RuS_2 [27], присутствующего в хромитах многих платиноносных расслоенных комплексов [9]. Подобный двойственный характер поведения рутения особенно отчетливо прослеживается на диаграмме соотношений Pt–Pd–Ru, на которой он образует два самостоятельных поля (см. рис. 7, *б*). По соотношению других ЭПГ и золота, а также по величине Pd/Ir руды еланского типа по существу целиком располагаются в полях составов, присущих сульфидным медно-никелевым рудам коматиит-ассоциированных месторождений (см. рис. 7, *д*). С последними их сближает и относительно пониженная величина отношения Pd/Ir (~30). Вместе с тем, при несомненном сходстве в распределении главных (Ni, Cu, Co) и сопутствующих (ЭПГ, Au) элементов этих двух типов сульфидно-никелевых месторождений еланские и елкинские руды содержат в среднем в 3–5

1. Содержание рудообразующих элементов (мас. %) и величины их отношений в сульфидных никелевых рудах еланского типа, *по [18, 19]*

Типы руд	S	Ni	Co	Cu	S/Ni	Ni/Cu	Ni/Co	S/Ni+Co+ +Cu	В 100% сульфидов			
									Fe	Ni	Co	Cu
Еланское месторождение												
1 (42)	4,02 3,78	1,31 0,97	0,04 0,04	0,14 0,18	3,07 3,05	9,36 78,70	32,93 133,5	2,7	47,92	12,36	0,38	1,32
2 (17)	12,87 6,65	5,48 3,40	0,25 0,27	0,19 0,18	2,35 4,58	28,84 310,9	23,92 490,5	2,2	44,42	16,18	0,74	0,56
3 (11)	24,82 2,98	8,01 7,32	0,19 0,24	0,07 0,08	3,10 4,13	114,4 562,4	42,16 1169,4	3,0	49,34	12,26	0,29	0,11
Елкинское месторождение												
4 (17)	4,37 5,52	0,41 0,42	0,02 0,03	0,06 0,06	10,66 9,25	6,89 222,3	20,50 14,37	8,9	57,74	3,57	0,17	0,52
5 (5)	21,49 2,74	1,35 0,31	0,11 0,05	0,33 0,16	15,92 3,23	4,09 3,86	12,27 25,54	12,0	58,84	2,39	0,19	0,58
6 (4)	24,39 1,81	2,56 1,40	0,09 0,05	0,07 0,05	9,53 4,60	36,57 816,2	28,44 2550,6	9,0	57,76	3,99	0,14	0,11
Руды в дайках ортопироксенитов (Центральное рудопроявление)												
7 (14)	6,19	0,78	0,05	0,17	7,94	4,59	15,60	6,20	56,53	4,79	0,31	0,37
8 (4)	15,47	1,70	0,15	0,25	9,10	6,80	11,33	7,40	56,86	4,17	0,36	0,61
Руды в дайках роговообманкового габбро (Еланское месторождение)												
9 (3)	3,75	0,48	0,02	0,07	3,10	7,91	24,95	8,48	56,34	4,80	0,19	0,67
10 (12)	10,77	3,42	0,05	0,29	3,01	12,01	65,81	2,86	48,80	12,07	0,18	1,01
11 (1)	14,85	6,25	0,10	0,87	2,38	7,18	62,50	2,06	43,52	15,99	0,26	2,23

Примечание. 1, 4 — вкрапленные, 2, 5 — гнездово-прожилковые, 3, 6 — массивные руды Еланского и Елкинского месторождений; 7, 9 — вкрапленные, 8 — гнездово-шлировые, 10 — прожилково-вкрапленные и гнездовые, 11 — массивные в дайках ортопироксенитов (Центральное рудопроявление) и роговообманковом габбро в пределах Еланского месторождения; в скобках — число анализов, в числителе — среднее содержание, в знаменателе — стандартное отклонение (для руд Еланского и Елкинского месторождений). Расчет состава сульфидной фазы произведен при S=38% по средним содержаниям.

раз меньше ЭПГ вследствие специфических условий формирования еланского типа рудно-магматической системы [7, 8, 14, 18] и вероятности (подобно месторождениям Монткалм и Рана; см. рис. 7, *д*, *е*) раннего (до поступления в камеру) частичного отделения из расплава сульфидного вещества [7, 18, 21, 22, 28].

Как отмечалось, характерная особенность руд еланского типа — сравнительно широкое развитие сульфоарсенидов Ni и Co, служащих основными носителями платиновых металлов и на других сульфидных медно-никелевых месторождениях [1, 5, 6, 18]. Для этих руд установлены [14, 15, 18] устойчивые корреляционные связи As с ЭПГ, что поз-

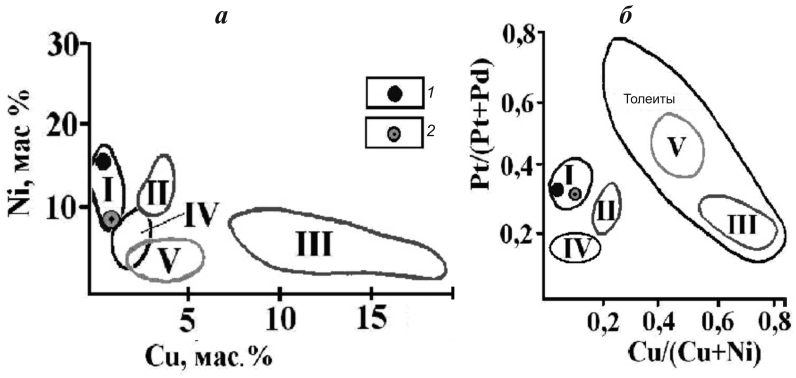


Рис. 6. Сравнительные характеристики руд месторождений различных типов:

а — распределения Ni-Cu; *б* — диаграмма Pt/(Pt+Pd)–Cu/(Cu+Ni) отношения, содержания металлов пересчитаны на 100% сульфидов (I—V — месторождения, связанные с архейскими (I) и протерозойскими (II) коматиитами, платобазальтами (III), габброидами (IV), месторождение Садбери (V), *по [8]*); Еланское месторождение: *1* — средний состав массивных руд, *2* — то же, для вкрапленных руд, *по [14–16, 18]*

2. Содержание Ni, Co, Cu (мас. %) и благородных металлов (г/т) в сульфидно-пегматоидных рудах Еланского месторождения

Интервалы рудных тел по стволу скважины, м	Мощность, м	Ni	Co	Cu	Pt	Pd	Au
272,1–272,3	0,2	9,35	0,342	1,140	0,42	1,14	1,03
293,3–293,8	0,5	5,65	0,190	0,180	0,27	0,69	0,57
294,4–295,0	0,6	5,38	0,197	0,428	0,30	0,72	0,54
296,1–297,1	1,0	7,65	0,296	0,925	0,37	0,88	0,91

воляет предположить наличие ассоциации, по крайней мере, части ЭПГ с арсенид-сульфоарсенидными минералами. Определение состава данных минералов (главные компоненты и платиноиды) методом рентгеноспектрального анализа (табл. 6) позволило установить в сульфоарсенидах изоморфные примеси Os, Ir, Ru, реже Pd и Pt. Максимальная суммарная концентрация ЭПГ не превышает 0,15 мас. %, что, вероятно, является предельно возможным уровнем накопления изоморфной формы платиновых металлов в сульфоарсенидах [7, 14].

Вместе с тем, новые аналитические данные (табл. 7) и их обобщение (23 анализа) свидетельствуют о значительном диапазоне изменений содержаний металлов платиновой группы в минералах арсенид-сульфоарсенидного парагенезиса и преобладании Pd (до 3200 г/т) над Pt (до 1200 г/т). Максимальные концентрации Rh и Au составляют 1900 и 2200 г/т соответственно [18].

Одним из важных носителей ЭПГ в рудах еланского типа является новая палладий-иридий-платиновая разновидность брейтгауптита [15, 18], слагающего изометричные и частично ограненные мелкие (сотые доли миллиметров) включения в сульфоарсенидах вкрапленных руд. Особенность состава минерала определяется весьма высоким содержанием благородных металлов (табл. 8). Помимо обычных примесей Fe, Cu, As и S, в нем установлены относительно стабильные и высокие содержания Ir (0,44–0,60 мас. %) и Pt (0,30–0,47 мас. %), варьирующие в широком интервале концентрации Pd (от 0,11 до 0,84 мас. %) и менее значимые — Rh (0,01 мас. %), а также спорадические — Au (до 0,45 мас. %).

В целом же в процессе кристаллизации сульфидоносного расплава и образования рудных тел в вулканоинтрузивно-дайковой петрорудогенетической системе последовательно сменялся пентландит-пирротиновый (с ограниченной ролью халькопирита) парагенезис кобальт-никелевым арсенид-сульфоарсенидным в условиях понижающейся температуры и все более полного перехода серы во вполне подвижное состояние [14, 18].

По предварительным данным сумма благородных металлов Еланского и Елкинского месторож-

3. Средние содержания рудообразующих (мас. %) и благородных (г/т) металлов в сульфидных платиноидно-кобальт-медно-никелевых рудах еланского типа

Элементы	1 (12)	2 (10)	3 (5)	4 (5)	5 (4)	6 (41)	7 (2)	8 (14)	9 (4)	10 (2)
Ni	1,45	8,34	0,87	7,87	10,64	1,70	0,29	0,78	1,70	3,44
Cu	0,11	0,47	0,11	0,25	0,23	0,20	0,17	0,17	0,25	0,30
Co	0,42	0,20						0,05	0,15	0,05
S	4,67	21,08	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	6,19	15,47	н.о
Ir	-	0,020								0,015
Ru	0,012	0,011						н.о	н.о	0,005
Rh	0,003	0,008	0,003	0,002	-		0,002			0,008
Pt	0,034	0,147	0,073	0,170	0,046	0,058	0,020	0,019	0,031	0,13
Pd	0,053	0,348	0,072	0,360	0,160	0,098	0,032	0,031	0,075	0,38
Сумма ЭПГ	0,102	0,534	0,148	0,632	0,206	0,156	0,054	0,050	0,106	0,528
Au	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	0,130	0,460	н.о	н.о	н.о
Pd/Pt	1,7	2,4	1,0	2,1	3,5	1,7	1,6	1,6	2,45	2,9

Примечание. 1, 2 — вкрапленные и массивные руды; 3 — вкрапленные руды в норитах; 4 — брекчиевидные и вкрапленно-прожилковые («пятнистые») руды; 5 — массивные (жильные) руды; 6 — руды восточной рудоносной зоны; 7 — вкрапленные руды Центрального рудопроявления; 8 — густовкрапленные, 9 — гнездово-шировые руды в ортопироксенитах Центрального рудопроявления, *по [19]*; 10 — гнездово-прожилковые руды в жильных (дайковых) роговообманковых габбро Еланского месторождения. Анализы выполнены в лаборатории ОЭИ ЦНИГРИ (г. Тула, № 3–5, 7), Гипроникель, остальные в ИГЕМ РАН. В скобках — число анализов; здесь и далее в таблицах н.о — элемент не определялся; прочерк — содержание элемента ниже чувствительности анализа.

4. Средневзвешенные содержания ЭПГ, Au, Ag, Se, Te в рудах Еланского месторождения, г/т

Организация, проводившая исследования	Опробованный керн, м	ЭПГ	Au	Ag	Se	Te
ЦНИГРИ	688,2	0,36	0,36	4,6	12,2	1,7
Гипроникель	1426	0,31	0,11	2,9	7,5	1,9
Южно-Воронежская ГРП	146,3	0,48	0,85	4,7	21,7	4,4
Среднее	2200,5	0,33	0,20	3,3	9,2	1,8

дений по категориям C_2+P_1 оценивается: Pt+Pd (при среднем содержании 0,36 г/т) — 50,5 т, Au (0,43 г/т) — 62,1 т, Ag (4,9 г/т) — 70,2 т; других со-путствующих полезных компонентов — Se (13,1 г/т) — 1874,0 т, Te (1,8 г/т) — 312,0 т. Суммарные ресурсы по восьми другим разномасштабным проявлениям (Новотроицкое, Листопадовское, Троицкое, Демьяновское, Русановское, Центральное, Новопокровское и др.) еланского типа такие: ЭПГ — 113,4 т, Au — 104,0 т.

Извлечение ЭПГ из руд еланского типа (по данным «Механобр») составляет 55–66%, а Pt (по результатам исследований ЦНИГРИ) — до 94,3%. Институтом «Гипроникель» в 1988 г выполнено исследование технологических проб руды Еланского месторождения, содержащей, г/т: 0,08–0,12 Pt, 0,06–0,07 Pd, 0,003–0,004 Ru, 0,04 Rh, 0,05 Os, <0,01 Ir. При среднем извлечении ЭПГ в 64,3% содержание Pt в сульфидном концентрате составило 0,39–0,64 г/т (извлечение 54,6–65,8%), Pd — 0,31–0,93 г/т (извлечение 48,9–75,8%). За основные технологические показатели сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд рассматриваемого объекта приняты: содержание ЭПГ в руде — 0,35 г/т, концентрате — 2,13 г/т, хвостах — 0,14 г/т, окатышах — 2,18 г/т. Соответствующие показатели для Au и Ag — 0,22 и 3,25 г/т (руда), 1,58 и 24,90 г/т (концентрат), 0,06 и 0,73 г/т (хвосты), 1,58 и 24,90 г/т (окатыши). Таким образом, при отработке Еланского и Елкинского месторождений возможно попутное извлечение платиновых металлов. При этом могут использоваться технологии, апробированные на известных отечественных и зарубежных месторождениях [4].

Специфические особенности состава руд и рудовмещающих пород предопределили появление разнообразных вариантов геолого-генетических построений и моделей формирования месторождений еланского типа — от собственно магматической (завершающей фазы становления крупного дифференцированного Елань-Вязовского плутона и производных бонинитоподобных магм) до коматиит-регенирированной и гидротермальной [1–3, 7, 9–11 и др.]. При всем многообразии геолого-генетических моделей ни одна из них не объясняла в полной мере главных, определяющих (граничных) минералого-петрографических, петрохимических, рудно-изотопно-геохимических признаков сульфидной платиноидно-медно-кобальт-никелевой рудно-магматической системы еланского типа: наличие в рудоносных породах неравновесной ассо-

5. Состав Rh-Pd-содержащих пирротинов и Pd-содержащих пентландитов медно-никелевых руд Еланского месторождения, мас. %

Fe	Ni	Co	Cu	Rh	Pd	Au	Pt	S	As	Sb	Сумма
Rh-Pd-содержащие пирротины											
59,700	0,410	0,090		0,020		–	–	39,030	н.о.	0,070	99,320
59,930	3,110	0,420	–	н.о.	–	0,020	н.о.	39,080	0,070	н.о.	99,630
60,340	0,310	0,060			0,010	н.о.		39,870	0,130		100,720
Pd-содержащие пентландиты											
28,160	35,640	2,900	–	–	–	–	–	33,330		0.040	100,070
28,286	38,780	0,210	0,020		0,010			33,020			100,300
27,060	39,030	0,780	0,010					33,380			100,270
26,890	39,880	0,370	–		0,030			33,280			100,450
28,410	37,690	0,540		н.о.	0,020	н.о.	н.о.	33,000	–	н.о.	99,660
28,830	38,120	0,500	0,020					33,560			101,040
29,270	36,870	0,990	–		0,010			33,480			100,620
29,400	36,700	0,470	0,040					33,680			100,300

Примечание. Анализы выполнены И.П.Лапутиной в ИГЕМ РАН на микроанализаторе MS-46 «Cameca».

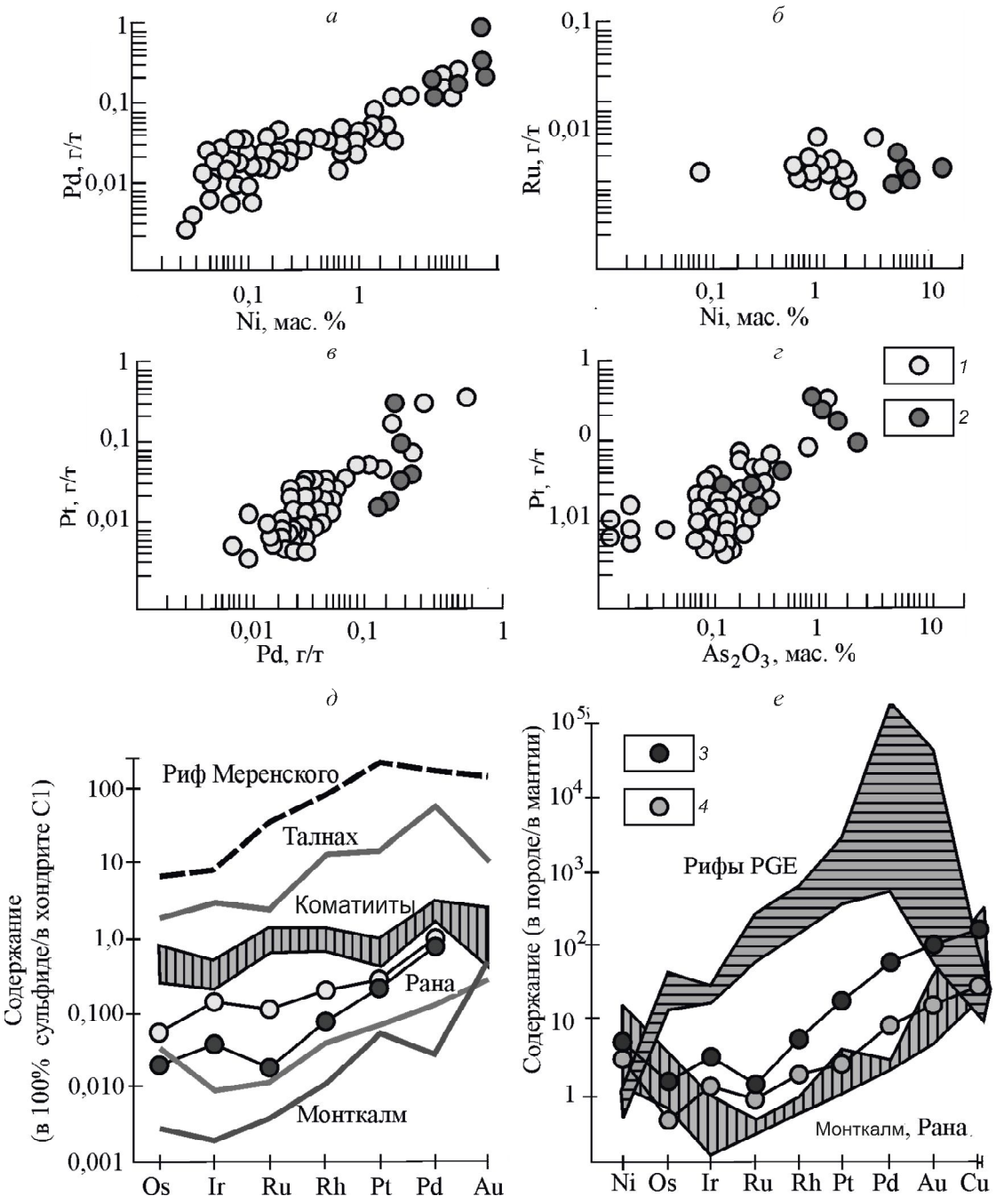


Рис. 7. Особенности распределения Ni, ЭПГ и других элементов в рудах различных типов месторождений, *по [7, 18]*:
а—г — бинарные диаграммы зависимостей ЭПГ, Ni и As_2O_3 в рудах Еланского месторождения (*1* — вкрапленные руды; *2* — массивные руды); *д* — хондрит-нормализованные содержания ЭПГ в рудах (в пересчете на 100% сульфидов) различных типов месторождений; *е* — нормированные по содержанию в мантии концентрации платиновых металлов в месторождениях различных типов, *по [28]* (*3* — средний состав вкрапленных руд Еланского месторождения, *4* — то же, для массивных руд)

циации минералов — высокомагнезиальных оливина ($Fo_{77–86}$), ортопироксена ($En_{72–91}$) и высокохромистой (до 60 мас. % Cr_2O_3) шпинели, с одной стороны, и калишпата, кварца и низкокальциевого плагиоклаза ($An_{17–62}$) — с другой; резкое преобладание ортопироксена среди фемических минералов (т.е. развитие норитового породного парагенезиса); несоответствие между высокими содержаниями

6. Содержание платиновых металлов в сульфоарсенидах никеля и кобальта в скв. 8413 Еланского месторождения, мас. %

№№ п/п	Глубина, м	Co	Ni	Fe	S	As	Sb	Os	Ir	Ru	Pt	Pd	Сумма
1	588,0	11,76	15,35	5,96	17,48	47,44	0,07	0,05	0,03			–	98,16
2	637,0	12,50	14,96	5,88	17,78	46,40	0,41	0,08	0,05		–		97,78
3		15,79	10,91	6,04	18,81		0,30		0,03	0,02			98,40
4	596,0	13,51	14,02	6,47	17,59	45,95	0,17		–		0,01	0,02	97,76
5		13,08	14,42	6,54	17,11	46,93	0,14		0,01				98,27
6	629,0	10,72	15,78	6,53	16,91	48,24	0,31						98,51
7	720,0	1,69	35,44	0,93	17,99	41,41	0,95						98,41
8	741,0	3,17	25,70	5,68	16,68	49,75	0,24	–					101,22
9	321,0	–	41,99	0,22	0,33	55,58	1,00		–	–	–		99,12
10	346,8	0,03	42,39	0,10		54,10	2,82					–	99,77
11	358,7		43,98	0,52	0,83	52,68	1,25						99,36
12	720,0	–	45,69	0,26	0,40	54,72	0,24						101,40
13	741,0		43,13	0,17	0,30	54,50	0,94						99,06

Примечание. 1–6 — идиоморфные гомогенные метакристаллы сульфоарсенидов; 6–13 — гетерогенные зональные агрегаты сульфоарсенидов. Анализы выполнены на микроанализаторе MS-46 «Cameca». Чувствительность анализов на ЭПГ 0,01 мас. %.

SiO_2, K, Rb, Ba, легких РЗЭ и повышенными концентрациями MgO, Cr, Ni; присутствие маломедистых существенно никелистых (Ni/Cu >10) с повышенными содержаниями Co сульфидных руд, относительно обогащенных иридием (Pd/Ir~30) и As, Mo, Sb, Bi, Pb, Zn, Au, Ag; облегченный изотопный состав серы ($\delta^{34}S$= -1,6…-11,500) и углерода ($\delta^{13}C$= -330) в рудах.

Совокупный анализ этих и других геолого-структурных и петролого-геохимических призна-

7. Состав, особенности распределения благородных металлов в минералах серии кобальтин-герсдорфит-сульфидных медно-никелевых руд Еланского месторождения, мас. %

№№ п/п	Скв.	Глубина, м	Co	Ni	Fe	Cu	Pt	Pd	Rh	Ir	Au	As	Sb	S	Сумма
1		294,0	30,830	3,620	1,910	0,150	0,020	0,070			–	44,120		19,210	99,930
2		293,0	26,790	3,880	2,560	0,040	–	–			0,010	46,160	–	20,990	100,380
3		294,0	25,220	10,260	1,180	–	0,060	0,080	–		–	45,040		18,930	100,770
4	8501	287,8	23,580	7,190	3,780			–			0,220	44,850		19,300	98,920
5		397,3	23,660	7,940	2,430	0,120	–	0,180		–		45,390	0,200	19,820	99,740
6		403,7	22,560	10,960	1,720	–		0,040	0,190			45,740	0,170	19,460	100,840
7		480,5	22,160	9,730	2,550	0,040	0,120	0,300	0,060		–	45,470	0,650	19,740	100,820
8	9116	781,9	21,390	9,360	3,830	0,010		0,180	–			45,070	0,200	19,250	99,290
9	9007	733,5	17,990	14,910	2,340	0,670	–	0,090	–			44,210	0,110	19,130	99,450
10	9116	613,0	16,660	12,400	4,440	0,060		0,310	0,010	0,030	0,010	46,370	0,460	19,580	100,330
11			16,520	12,190	4,850	0,010	0,010	–				46,580	0,630	19,090	99,890
12	9007	733,5	16,400	15,740	2,730	0,110	0,070	0,040	–		–	44,930	0,200	19,240	99,460
13			16,480	12,180	6,810	0,040	–	0,020			0,020	45,530	0,540	19,430	101,050
14	9116	613,0	16,160	12,900	4,390	0,050	0,010	–	0,010		0,010	46,820	0,510	19,060	99,920
15			16,090	12,970	5,410	0,060	–				–	46,260	0,380	19,070	100,250
16			15,540	13,010	4,520	0,060	0,080	0,070	–		0,040	46,590	0,370	19,720	100,000
17		403,7	15,300	16,950	3,380	0,040		0,050	0,060	–		44,880	0,410	19,560	100,630
18	8501	397,3	13,940	17,940	3,580	0,050		0,160	–			44,460	0,510	19,120	99,760
19		421,4	12,780	20,370	1,180	–		0,330				45,070	0,160	19,240	99,130
20		397,3	11,180	21,330	2,950	0,020	–	0,200			–	44,650	0,450	19,270	100,050
21	9116	781,9	10,450	17,350	6,140	0,030		0,280	0,150			45,290	0,270	19,390	99,350
22	8501	480,5	10,120	21,030	3,450	0,010		0,290	–			45,770	0,100	19,830	100,600
23		421,4	0,630	34,700	0,320	–		0,130				45,300	0,620	19,300	101,000

Примечание. Анализы выполнены И.П.Лапутиной в ИГЕМ РАН на микроанализаторе MS-46 «Cameca».

8. Состав брейтгауптитов сульфидных медно-никелевых руд в скв. 8501 Еланского месторождения, мас. %

№№ п/п	Глубина, м	Ni	Co	Fe	Cu	Pt	Pd	Rh	Ir	Au	As	Sb	S	Σ
1	287,6	32,330	–	2,040	0,180	0,300	0,500	0,010	0,490	–	2,560	61,130	0,100	99,640
2		32,840		0,250	0,240	0,310	0,840		0,440		2,750	61,560	0,090	99,330
2		31,950		0,010	0,170	0,470	0,110		0,600	0,450	1,660	64,400	0,110	99,940

Примечание. Анализы выполнены И.П.Лапутиной в ИГЕМ РАН на микроанализаторе MS-46 «Cameca».

ков, дополненный теоретическими и экспериментальными данными о роли коровой контаминации в эволюции базит-гипербазитовых магм [20–28], петролого-геохимическими критериями выделения высокопродуктивных контаминированных магматических образований [26] и результатами количественного геохимического и минералогического моделирования, позволил обосновать формирование рудно-магматической системы еланского типа ассимиляцией мантийным ультраосновным (коматиитовым) расплавом пород континентальной коры кислого состава [7, 12–14,16–18, 23 и др.]. В результате подобного процесса происходило образование сравнительно высокотемпературного (1290°) с низким окислительным потенциалом (fO_2=10^{-11}атм.) гибридного расплава промежуточного (основного) состава, кристаллизация которого обусловила формирование пород еланского комплекса. Такая модель, детально охарактеризованная в специальных публикациях [7, 12, 14, 18], объясняет, по существу, все главные необычные особенности состава пород, руд и минералов норит-диоритовых интрузий.

Вместе с тем, новые данные по распределению содержаний малых, редких и редкоземельных элементов в сульфидных рудах и вмещающих их норитах Еланского месторождения не исключают вероятности бонинитоподобной природы рудоносных интрузий еланского комплекса за счет частичного плавления базитового слоя коры под влиянием мантийного диапира [5]. При этом главная масса сульфидов в норитах кристаллизовалась из не смесимого с силикатами сульфидного расплава, а выделение сульфидной жидкости в самостоятельную фазу происходило как в надликвидусную (каплевидная вкрапленность и гнездовидные выделения), так и в субсолидусную (матричные руды) стадии кристаллизации норитовых интрузий из глубинного (по отношению к современной камере) очага [5, 14], обусловливая тем самым сложные взаимоотношения сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения с дайковыми образованиями еланского комплекса [19].

Подчеркнем, что в процессе кристаллизации сульфидоносного расплава и образования рудных тел в вулканоинтрузивной колонне сульфидное вещество незначительно перераспределялось, обособлялось от застывающей силикатной составляющей, пентландит-пирротиновый (±халькопирит) парагенезис последовательно сменялся кобальт-никелевым арсенид-сульфоарсенидным в условиях понижающейся температуры и все более полного перехода серы во вполне подвижное состояние [10, 14]. Присутствующие совместно с арсенидами и сульфоарсенидами молибденит, золото, теллуровисмутит и другие типичные для высокотемпературных постмагматических процессов минералы представляют собой, по существу, конечные продукты того же сульфидного расплава, прошедшего длительную эволюцию, с трансформацией на заключительных стадиях в пневматолито-гидротермальные растворы. Высокая подвижность полиэлементной флюидосульфидной системы не исключает возможности появления рудных залежей с повышенным содержанием арсенидов и сульфоарсенидов никеля и кобальта и сопутствующих им других элементов не только в жильных (дайковых) образованиях [19], но и вблизи сульфидоносных норит-диоритовых тел [10, 14, 18].

Открытие учениками М.Н.Годлевского нового богатого по содержанию стратегически важных металлов еланского типа руд в Центральном регионе России является убедительным подтверждением яркого дара научного предвидения ученого. Михаил Николаевич Годлевский был исключительно авторитетен среди своих коллег. Куратор Мингео СССР, член Высшей аттестационной комиссии по присуждению ученых степеней, член редакционной коллегии изданий «Записки Всесоюзного минералогического общества» и «Геология рудных месторождений», он много сделал для развития ряда возглавляемых им научных направлений, воспитал группу крупных геологов-никельщиков и платинистов.

Коллеги учились у него трепетному отношению к природе и камню, скрупулезности в исследованиях, постижению мира сложных физико-химических превращений, любить науку о руде. Его идеи и дела живут с нами и среди нас.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бочаров В.Л., Плаксенко А.Н., Фролов С.М., Касатов А.С.* О первично-коматиитовом источнике никелевых сульфидных руд в норит-диоритовых интрузиях ВКМ // Геохимия. 1987. № 3. С. 430–437.

2. *Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А.* Платинометалльные месторождения России. – СПб.: Наука, 2000.

3. *Золотухин В.В., Чернышов Н.М., Молотков С.П.* Об одном перспективном типе никеленосных интрузивов // Докл. АН СССР. 1984. Т. 276. № 2. С. 442–445.

4. *Изоитко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб.: Наука, 1997.

5. *Конников Э.Г.* Особенности распределения элементов-примесей в сульфидах и норитах Еланского интрузива Воронежского кристаллического массива и генезис бонинитоподобных магм // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 9. С. 1258–1267.

6. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006.

7. *Налдретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. – СПб.: СПбГУ, 2003.

8. *Переславцев А.В.* Петрология норит-диоритовых интрузий докембрия Воронежского кристаллического массива в связи с проблемой их никеленосности: Автореф. дис… канд. геол.-минер. наук. – Воронеж, 1993.

9. *Платинометальные* месторождения мира / Д.А.Додин, Н.М.Чернышов, Д.В.Полферов и др. // Платинометалльные малосульфидные месторождения в ритмично расслоенных комплексах. М., 1994. Т. 1. Кн. 1.

10. *Чернышов Н.М.* Новый тип сульфидного никелевого оруденения Воронежского кристаллического массива // Геология рудных месторождений. 1985. № 3. С. 34–45.

11. *Чернышов Н.М.* Структурно-вещественная эволюция сульфидно-никелевых рудномагматических систем докембрия // Геология и геофизика. 1991. № 6. С. 11–19.

12. *Чернышов Н.М., Переславцев А.В., Молотков С.П., Чернышова М.Н.* Новый тип никеленосной формации в докембрии Воронежского кристаллического массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 9. С. 111–124.

13. *Чернышов Н.М.* Промышленно-генетические типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений новой никеленосной провинции России и проблема их освоения // Вест. Воронеж. ун-та. Сер. 2. 1993. Вып. 1. С. 188–215.

14. *Чернышов Н.М.* Еланский тип сульфидных медно-никелевых месторождений и геолого-генетическая модель их формирования (Центральная Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 3. С. 220–236.

15. *Чернышов Н.М.* Типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудномагматических систем различных геодинамических режимов развития ВКМ (систематика, состав, граничные признаки, основные черты эволюции) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. 1998. Вып. 6. С. 70–80.

16. *Чернышов Н.М.* Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения еланского типа (Геология, закономерности размещения, минералого-геохимические особенности руд, геолого-генетическая модель формирования) // Вест. Воронеж. ун-та. Сер. геол. 1998. № 5. С. 120–151.

17. *Чернышов Н.М.* Геолого-генетическая модель формирования сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений еланского типа (Центральная Россия) // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке (Минералогия, генезис, технология, аналитика). М., 1999. Т. 4. С. 120–140.

18. *Чернышов Н.М.* Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004.

19. *Чернышова М.Н.* Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива (Центральный Россия). – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005.

20. *Arndt N.T., Jenner G.A.* Crystally contaminated komatiites and basalts from Kambalda, Western Australia // Chem. Geol. 1986. Vol. 56. № 3/4. P. 229–255.

21. *Barnes S.J.* Unusual nickel and copper to noble-metal ratios from the Rana Layered Intrusion, northern Norway // Norsk Geol. Tiddsskr. 1987. Vol. 67. № 3. P. 215–231.

22. *Barrie C.T., Naldrett A.J., Davis D.W.* Geochemical constraints on the genesis of the Montcalm gabbroic complex and Ni-Cu deposit, western Abitibi Subprovince Ontario // Canad. Mineralogist. 1990. Vol. 28. № 3. P. 451–474.

23. *Chernyshov N.M., Pereslavtsev A.V.* The role assimilation in forming the nickeli-ferrous norite-diorite intrusions of the Voronezh crystalline massif // Int. Geol. Rev. 1994. Vol. 36. P. 587–604.

24. *De Paolo D.J.* Trace element and isotopic effects of combined wall rock assimilation and fractional crystallization // Earth. Planet. Sci. Letters. 1981. Vol. 53. № 2. P. 189–202.

25. *Huppert H.E., Sparks R.S.J.* Cooling and contamination of mafic and ultramafic magmas during ascent through continental crust // Earth Planet. Sci. Letters. 1985. Vol. 74. N 4. P. 371–386.

26. *Naldrett A.J., Rao B.V., Evensen N.M.* Contamination at Sudbury and its role in ore formation // Metallogeny of basic and ultrabasic rocks. London, 1986. P. 75–91.

27. *Sparks R.S.J.* The role of crystal contamination through geological time // Earth Planet. Sci. Letters. 1986. Vol. 78. № 2/3. P. 211–223.

28. *The use* of mantle normalization and metal ratios in discriminating between the effects of partial melting, crystal fractionation and sulphide segregation on platinum group elements gold, nickel and copper: examples from Norway / S.J.Barnes, R.Boyd, A.Korneliussen et al. // Proc. Symp. Geoplatinum. London, 1988. P. 113–143.

УДК 553.491.8′435′481.57.51 © О.А.Дюжиков, 2012

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НОРИЛЬСКО-ТАЛНАХСКОГО ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ГИГАНТА

О.А.Дюжиков (ИГЕМ РАН)

На основе обширных авторских материалов и анализа геологических и геолого-геофизических данных, полученных за последние десятилетия, определяются глобальная позиция, глубинное строение, условия образования уникальных сульфидных месторождений цветных и благородных металлов, месторождений малосульфидных платиновых руд Норильско-Хараелахской региональной рудообразующей системы. Приводятся материалы по геодинамическим режимам и геотектонической позиции различных платиноидно-медно-никелевых районов и месторождений.

Ключевые слова: М.Н.Годлевский, траппы Сибири, расслоенные интрузивы, уникальные сульфидные PGE-Cu-Ni месторождения.

Дюжиков Олег Акимович, sharkov@igem.ru

CONDITIONS OF FORMATION OF NORIL'SK-TALNAKH PGE-COOPER-NICKEL GIANT

O.A.Dyuzhikov

Based on extensive author's material and analysis of geological and geophysical data collected over the past decade, global position, deep-seated structure, the conditions of the formation of unique sulfide deposits of base and noble metals deposits and low-sulphide platinum ores of the Noril'sk-Kharayelakh regional ore-forming system. Provides materials for geodynamic regimes and different geotectonic position of platinoid-copper-nickel deposits and districts.

Key words: M.N.Godlevsky, Siberian traps, layered intrusions, unique sulfide PGE-Cu-Ni ore deposits.

Многие годы работы в Норильске (1958–1981) помню как суровую, но самую лучшую и самую интересную часть жизни. Геологическая съемка, поиски, поисково-оценочные работы, разведка, специализированные тематические исследования, участие в открытии рудных месторождений, встречи с выдающимися геологами — это путь, пройденный мною и моими товарищами. Работая с I981 г. в ИГЕМ АН СССР (сейчас ИГЕМ РАН), я выезжал на полевые работы в Норильский район, на Западный Таймыр, в Прианабарье, на Кольский полуостров, в район бассейна р. Подкаменная Тунгуска.

Статья посвящена выдающемуся геологу XX столетия Михаилу Николаевичу Годлевскому — человеку жестокой судьбы, удивительно доброжелательному и одновременно требовательному к себе, коллегам и ученикам. М.Н.Годлевский остался в памяти не только как талантливейший геолог, но и как многогранный с энциклопедическими знаниями специалист и один из крупнейших исследователей проблем рудообразования.

С гордостью и радостью вспоминаю встречи с ним в Норильске и Москве, где в ЦНИГРИ он создал сектор по геологии комплексных месторождений меди, никеля, кобальта, платиновых металлов.

В 1959 г. М.Н.Годлевским написана широко известная книга «Траппы и рудоносные интрузии Норильского района» [3], которая стала революционным шагом в познании траппового магматизма и рудообразования этой уникальной территории.

В июне 1959 г. мы, сотрудники Норильской комплексной геологоразведочной экспедиции, провожали М.Н.Годлевского «на материк». Ему было 57 лет, но он с инвалидной палочкой выглядел стариком.

Приведу официальный рассказ из книги о репрессированных геологах XX в. «Годлевский Михаил Николаевич (1902–1984 гг.). Минералог, специалист по теории рудообразования, доктор геолого-минералогических наук, профессор. После окончания института (1930 г.) работал на кафедре минералогии в ЛГИ, перед войной — во ВСЕГЕИ. Воевал на Ленинградском фронте, попал в плен, где находился до 1944 г. Освободившись из плена, был возвращен в Советскую Армию, воевал на немецкой территории, а в 1945 г. назначен комендантом Цейсовского завода в Йене. Отозван в Ленинград и в день приезда, 22 ноября 1945 г., арестован на работе во ВСЕГЕИ. Военным трибуналом ЛВО 4 марта 1946 г. приговорен по статье 58, п. 1а к 10 годам ИТЛ с последующим поражением в правах на 5 лет и конфискацией имущества. Отправлен в Норильлаг. Сначала был на общих работах, помощником забойщика на Кайерканском угольном месторождении, затем работал в петрографической и минералогической лаборатории, откуда за отказ делать научную работу для своего руководителя переведен на несколько лет в шахту. С декабря 1951 г. — начальник тематической партии комбината, преподавал геологию в Норильском горном техникуме. Подвергался пре-

следованиям КГБ за отказ сотрудничать. Реабилитирован в ноябре 1956 г.».

Готовясь к полевым работам в составе Дудинской геофизической партии, куда меня пригласил работать инженером-геологом начальник партии Г.Г.Ремпель (Андрей Андреевич, так принято было его называть), в геологическом фонде Норильской комплексной геологоразведочной экспедиции читаю и конспектирую рукописные отчеты и краткие бюллетени технической информации Норильского горно-металлургического комбината. Район работ находится в центральной части Норильской мульды, где развиты эффузивные и интрузивные образования, а также девонские сульфатно-карбонатные и верхнепалеозойские угленосные отложения тунгусской серии. Помню один из интересных отчетов М.Н.Годлевского «Эрозионно-аккумулятивные циклы накопления угленосных отложений тунгусской серии». Удивительно, М.Н.Годлевский — талантливейший специалист в области генезиса рудных месторождений — написал отчет по угленосной толще. Позднее, изучая вместе с Ю.Г.Гором, А.Б.Гуревичем, Е.Е.Дюжиковой, Т.А.Дивиной тунгусскую серию, я построил (по М.Н.Годлевскому) циклограммы формирования этих пород и получились разрезы, которые использованы в коллективной статье.

Сибирские траппы и глобальная позиция Норильского рудного района. Позднепалеозойские – раннемезозойские траппы (0,25–0,24 млрд. лет), распространенные в пределах севера Центральной Сибири, образуют гигантский ареал, охватывающий Тунгусскую синеклизу, эпиплатформенный Таймыр, Западно-Сибирскую плиту и Енисейско-Хатангский прогиб. Они представлены в основном толеитами. Нижняя часть разреза контрастна по составу, особенно в Норильском районе и на юго-западе Таймыра, содержит щелочные базиты и плагиопикриты.

Траппы Западно-Сибирской плиты и Енисейско-Хатангского прогиба погребены под юрско-меловыми слабо литифицированными осадочными образованиями. Западно-Сибирская плита расчленена глубокими грабенообразными депрессиями, чередующимися с горстами. Под юрско-меловыми отложениями залегают траппы, принадлежащие единому базальтовому щиту Северо-Азиатского кратона. Рифтогенные структуры Западно-Сибирской плиты, главная из которых — Колтогорско-Уренгойский грабен-рифт, протягиваются в субмеридиональном направлении на 2000 км с выходом в область тектонического уступа континентального склона [5]. Траппы Таймыра, одновозрастные с вулканитами Тунгусской синеклизы, в частности Норильского района, принадлежат единой суперплатформе и отделяются от траппов собственно Сибирской платформы Енисейско-Хатангским рифтогенным прогибом. Формирование Западно-Сибирской и Енисейско-Хатангской рифтовых систем с развитием в них линейных блоков субокеанической коры определило интенсивность процессов магматической активности и связанную с ней эндогенную минерагению Сибирской платформы.

Тунгусская синеклиза расчленена ортогональной системой долгоживущих линеаментов. Последние контролируют размещение, ориентировку и ограничения структур фундамента. Наиболее ярким примером служат изометричные мегаблоки, выделенные на севере Сибирской платформы в качестве составных элементов Енисейско-Оленекского рудного пояса [8].

Сибирские траппы сформировались в результате внутриплитного магматизма, обусловленного проявлением мантийного суперплюма. Объем траппов собственно Сибирской платформы оценивается в 1,5–3 млн. км^3, а с учетом развитых на Таймыре, в Енисейско-Хатангском рифтогенном прогибе и погребенных на Западно-Сибирской плите он значительно больше.

Схема глубинного строения Норильского района [5] построена с учетом разномасштабных геологических съемок и комплексных геолого-геофизических данных. Норильский район совпадает с областью разуплотнения верхней мантии, характеризуется повышенной мощностью корово-мантийной смеси и высокой насыщенностью земной коры базитовыми и гипербазит-базитовыми интрузивами. В основании коры предполагается развитие затвердевших масс пикритовых силлов, внедрившихся в основание приподошвенной части консолидированной коры [15]. На схеме гравимагнитные аномалии образуют две субпараллельно ориентированные зоны, которые отвечают региональным рудообразующим системам: Норильско-Хараелахской на западе и Имангдинско-Микчандинской на востоке. Результаты объемного моделирования аэромагнитных данных показали, что на глубинах 12–15 км фиксируются гипербазит-базитовые интрузивы мощностью 1,3–4,6 км, которые считаются реликтами промежуточных магматических очагов.

Итак, сибирские траппы рассматриваются как результат эволюции Сибирского суперплюма [5, 7] — одного из крупнейших в мире. Норильский район с его уникальными месторождениями, тяготеющими к области тройного сочленения рифтов, выделяется нами как самостоятельная ветвь гигантского мантийного плюма. Подчеркнем, что ранние продукты магматизма представлены высокодифференцированной серией пород. При этом

щелочные базиты и плагиопикриты распространены локально и наиболее широко развиты в Норильском районе, где уникальные месторождения несут >90% разведанных в России платиновых металлов, >85% Ni, огромную долю Cu, Co, Au и других полезных компонентов. Формирование месторождений обусловлено эволюцией высокотемпературных сильно восстановленных сульфидно-силикатных расплавов, поступающих на уровни сульфатно-карбонатных и угленосных пород платформенного чехла. Есть основания считать, что именно высокие температуры расплава и, в определенной степени, реакции сульфуризации привели к длительному существованию рудообразующих систем в восстановительных условиях и обеспечили образование огромного количества руды.

Норильско-Хараелахская рудообразующая система. Расслоенные рудоносные интрузивы Норильского района формируются в результате эволюции изначально высокомагнезиального сульфидоносного расплава (родоначальный пикрит) [1, 6, 8] в протяженной по вертикали магматической колонне и промежуточных очагах. Образуется такой последовательный ряд составных элементов вулканогенно-плутоногенной рудоносной ассоциации: бессульфидные плагиопикритовые базальты→ бессульфидные высокомагнезиальные интрузивы→ сульфидоносные гипербазит-базитовые интрузивы→массивные сульфидные руды→малосульфидные платиновые руды. Почти все рудоносные интрузивы образованы в пределах ареала плагиопикритовых базальтов. Автор полагает, что сульфидоносные интрузивы и эффузивные пикриты являются комагматичными образованиями. Показанные нами ранее средневзвешенные составы плагиопикритовых базальтов и расслоенных рудоносных интрузивов позволяют считать это представление правомерным. Важно и то, что породообразующие минералы плагиопикритовых базальтов и рудоносных дифференцированных интрузивов характеризуются практически одинаковыми составами. Отметим и развитие иногда мощных (до 20–30 м) дифференцированных покровов плагиопикритов [7, 10]. Известны наблюдения, в частности описанные М.К.Ивановым, о непосредственных взаимопереходах интрузивных и эффузивных пикритов. Что касается представлений М.Н.Годлевского, то он не связывал распределение «пикритовых порфиритов» (плагиопикритовых базальтов) с формированием рудоносных интрузивов [3].

Рудоносные интрузивы Норильского района имеют асимметричное строение. Они образованы в результате внутрикамерного расслоения, которому предшествовала кристаллизационная дифференциация с гравитационным осаждением, глубинной, а затем и внутрикамерной ликвацией [1, 3, 4, 17]. Близкая точка зрения отражена в работе В.В.Золотухина и др. [11], где показано, что исходной магмой для всего многообразия эффузивных и интрузивных траппов служит пикритоидный расплав, а в качестве прямых комагматов рассматриваются плагиопикритовые лавы и высокомагнезиальные интрузивы (например, Нижнефокинский). При этом главным механизмом формирования рудоносных интрузивов считается глубинное фракционирование сульфидно-силикатного расплава.

В работе [5] приведены три группы сульфидоносных расслоенных интрузивов. Из них наиболее продуктивны мезократовые полно дифференцированные интрузивы норильско-талнахской группы. Последние отличаются четко выраженной расслоенностью, наличием нижнего и верхнего горизонтов такситовых габбро-долеритов, развитием мощного (до 400 м) сложно построенного метаморфического [14] и мощного (до 3000 м) геохимического [6] ореолов. Внутреннее строение дифференцированных интрузивов показано еще в 40-х годах В.К.Котульским, а затем детализировано М.Н.Годлевским [3]. Разделение же этих интрузивов на определенные горизонты не претерпело существенных изменений до настоящего времени.

Сульфидные платиноидно-медно-никелевые и малосульфидные платиновые месторождения. Характерные черты Талнахского и Норильского интрузивов — преобладание в рудах Cu над Ni и Pd над Pt. Названным интрузивам присущи средняя степень магнезиальности, обогащенность тяжелой се-рой ($\delta^{34}S$ +12‰), примитивный изотопный состав свинца ($^{206}Pb/^{204}Pb$ <18,5), характерные соотношения изотопов стронция ($^{87}Sr/^{86}Sr$ 0,7045–0,7055). Известные данные о содержании в породах и рудах месторождений Норильско-Хараелахской рудообразующей системы H, OH^-, F, Cl, S, а также Hg, K, He и других флюидов характеризуют всю систему как долгоживущую флюидоподводящую структуру, обусловившую перенос цветных и благородных металлов, интенсивный щелочной метасоматоз и формирование разнородных геохимических полей. Широкое проявление силикатно-сульфидных жильных образований, как и формирование мощных (до 30–50 м) секущих и плитообразных массивных сульфидных руд, свидетельствуют о высокодифференцированных глубинных процессах. Нет сомнения в том, что формирование массивных руд является доказательством самостоятельной силикатно-сульфидной (существенно сульфидной) фазы [1, 3, 16, 17].

Подчеркнем, что малосульфидные месторождения платиновых металлов в Норильском районе,

Геотектонические типы PGE-Cu-Ni рудных районов мира

Возраст, млрд. лет	Геодинамический режим	Геотектонический тип рудных районов	Рудоносные магматические формации		Рудные районы, интрузивные комплексы	Примеры месторождений
			интрузивных пород	эффузивных пород		
0,20–0,18	Внутриконтинентальный рифтогенез	Вулканотектонические приразломные прогибы	Габбро клинопироксенит-верлитовая, габбро-перидотитовая	Пикритовая	Инсизва (ЮАР), система Карру	Инсизва, Инагли, Табанкулу
0,25–0,24				Пикрит-коматиитовая	Норильский (Россия)	Норильск-1, Талнах, Имангда
1,15–1,10		Вулканические протоплатформенные и раннеплатформенные пояса	Габбро-анортозит троктолитовая	Толеитовая	Дулут (США), пояс Кивино	Спрус, Роуд, Минимакс
2,00–1,80			Габбро-клинопироксенит-верлитовая, габбро-перидотитовая	Пикрит-коматиитовая	Печенгский, Восточно-Печенгский (Россия)	Каула, Заполярное, Карик-Ярв
2,80–2,50		Зеленокаменные пояса архейских кратонов	Дунит-перидотитовая	Перидотит-коматиитовая	Зеленокаменный пояс Уилуна -Норсмен (Австралия)	Камбалда, Маунт-Кейт, Уиндерра
					Зеленокаменные пояса Родезийского кратона (Зимбабве)	Шангани, Троян, Эмпресс
					Зеленокаменный пояс Абитиби (Канада)	Лангмуир, Алексо, Марбридж
2,70	Протоактивизация архейских кратонов	Трансконтинентальные пояса глубинных разломов	Норит-ортопироксенит-гарцбургитовая	Нет	Стиллуотер (США)	J-M риф Полосчатой зоны
2,50					Великая Дайка Зимбабве	Потейто риф
2,00					Бушвельд (ЮАР)	Риф Меренского, риф Бастард, никеленосные трубки Влакфонтейн
2,40					Мончегорский, Мончетундровский (Россия)	Ниттис-Кумужья-Травяная, Сопча, Нюд-Поаз
0,75	Протоактивизация консолидированных подвижных поясов	Зоны разломов обрамления древних платформ	Троктолит-перидотит-дунитовая	Базальтовая	Йоко-Довыренский (Россия)	Байкальское, Даваканская группа рудопроявлений
1,65			Анортозит-габбро-норитовая	Нет	Чинейский (Россия)	Рудопроявления
2,00–1,90			Габбро-норит-перидотит-дунитовая		Мамонский (Россия)	Нижнемамонское, Подколодновское
			Габбро-норит-перидотит-дунитовая, норит-диоритовая		Еланский (Россия)	Еланское, Елкинское
PZ_3	Орогенный	Линейные активизированные зоны фанерозойских подвижных поясов	Перидотит-пироксенит-горнблендитовая	Нет	Британская Колумбия (Канада)	Пасифик -Никел
PZ-MZ			Габбро-норит-кортландитовая (горнблендитовая)	Субщелочных и пикритовых базальтов	Срединный Камчатский массив	Кувалорог, Дукук, Шануч
PZ_2			Габбро-пироксенит-перидотитовая	Субщелочных базальтов	Рона (Норвегия)	Бруванн

аналогичные широко известным месторождениям Бушвельда и Стиллуотера и составляющие в рассматриваемом районе самостоятельную рудную формацию, могут на отдельных участках Талнахского рудного поля отрабатываться открытым способом. Здесь уместно отметить, что впервые на высокие содержания платиновых металлов в сложно построенной верхней эндоконтактовой зоне Норильского интрузива указывал М.Н.Годлевский [2, 3]. Позднее это достаточно детально описано М.Ф.Смирновым, который продолжил исследования М.Н.Годлевского по изучению внутреннего строения, вещественного состава и рудоносности норильских дифференцированных интрузивов [13].

Остановимся на вышеупомянутой Норильско-Хараелахской рудообразующей системе. Ранее нами обоснована принципиальная схема латерального перемещения мантийного расплава из области первичной магмогенерации в активизированную проницаемую зону, отвечающую Норильско-Хараелахскому глубинному разлому [8, 9]. В работе [1, рис. 54] проиллюстрированы подъем астеносферы и проникновение гипербазит-базитового расплава в зонах интерференции разломов, определивших положение корневых мантийных систем, формирование магматических колонн с образованием промежуточных очагов, последующей их эволюцией и становлением рудных полей в благоприятных приповерхностных структурах платформенного чехла. В основании коры предполагается развитие больших затвердевших масс пикритоидного расплава. Они образуют корово-мантийную смесь и распространяются на этом уровне вследствие близких плотностных свойств расплава и пород раздела кора–мантия, а также резко различающихся по степени проницаемости участков подошвы земной коры.

Платиноидно-медно-никелевые месторождения рассматриваемого района, как и подобные месторождения других регионов (например, комплексы Инсизва в ЮАР, Дулут в США, Печенгский район в России) следует относить к самостоятельной рудной формации [9, 12] в отличие от плутоногенных комплексов, к которым принадлежат ритмично-расслоенные плутоны протоактивизации архейских кратонов [5, 12].

Приводимая таблица свидетельствует о разнообразии геодинамических режимов и условий формирования платиноидно-медно-никелевых районов и месторождений. Показанные различия геотектонических типов рудных районов, обусловленные геодинамическими режимами становления и, как следствие, характеризуемые двумя главными типами рудоносных магматических формаций, являются основой для выделения двух главных типов формаций сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений. К первому из них относятся месторождения, развитые в гипербазит-базитовых вулканогенно-плутоногенных комплексах, ко второму — в ритмично-расслоенных плутонах. С этими двумя рудоносными формациями древних платформ связаны скопления руд промышленной значимости, в том числе крупные и уникальные месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология* и рудоносность Норильского района / О.А.Дюжиков, В.В.Дистлер, Б.М.Струнин и др. – М.: Наука, 1988.

2. *Годлевский М.Н.* К геохимии благородных металлов в месторождении Норильск 1 // Бюл. технической информации Норильского горно-металлургического комбината. 1958. № 2–3 (69–70). С. 5–11.

3. *Годлевский М.Н.* Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. – М.: Госгеолтехиздат, 1959.

4. *Годлевский М.Н., Лихачев А.П.* Условия зарождения и кристаллизации рудоносных магм, формирующих медно-никелевые месторождения // Основные параметры природных процессов природного рудообразования. Новосибирск, 1997. С. 109–118.

5. *Горбунов Г.И., Дюжиков О.А., Шарков Е.В.* Условия формирование крупных и уникальных платиноидно-медно-никелевых месторождений // Платина России. Красноярск, 2011. Т. VII. С. 64–73.

6. *Додин Д.А., Дюжиков О.А.* Крупные и уникальные платиносодержащие месторождения вулканогенно-плутоногенных комплексов: геодинамика, металлогения, модели формирования // Платина России. М., 2004. Т. VI. С. 150–165.

7. *Дюжиков О.А.* О пикритовых базальтах Норильского района // ДАН СССР. 1971. Т. 197. № 6. С. 1406–1409.

8. *Дюжиков О.А.* Енисейско-Оленекский рудный пояс севера Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. 1985. № 3. С. 18–33.

9. *Дюжиков О.А.* Металлогения траппов Сибирской платформы // Траппы Сибири и Декана: черты сходства и различия. Новосибирск, 1991. С. 73–97.

10. *Дюжиков О.А., Дистлер В.В.* Коматииты Норильского рудного района // ДАН СССР. 1981. Т. 261. № 5. С. 1194–1197.

11. *Золотухин В.В., Васильев Ю.Р.. Дюжиков О.А.* Многообразие траппов и исходные магмы (на примере Сибирской платформы). – Новосибирск: Наука, 1989.

12. *Казанский В.И.* Эволюция рудоносных структур докембрия. – М.: Недра. 1988.

13. *Смирнов М.Ф.* Строение норильских никеленосных интрузий и сульфидные руды. – М.: Недра, 1966.

14. *Туровцев Д.М.* Контактовый метаморфизм норильских интрузий. – М.: Научный мир, 2002.

15. *Cox K.G.* A model for the flood basalts volcanism // J. Petrology. 1980. Vol. 21. N 4. P. 629–650.

16. *Distler V.V., Dyuzhikov O.A., Genkin A.D.* The Talnakh Ore Field: A cooper-nickel-platinum giant // Geol. Rudn. Mestirozhd. 1993. Vol. 35. P. 1–13.

17. *Dyuzhikov O.A.* Siberian superplume: PGE-Cu-Ni ore-forming systems, large unique deposits // Isvetiya earth science. Oslo, Norway, 2008. P. 31–41.

УДК 553.491'43'481 (571.5) © С.К.Михалев, С.Ф.Служеникин, Д.М.Туровцев, В.Ф.Кравцов, 2012

ПЛАТИНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВЫХ ИНТРУЗИВАХ И КОНТАКТОВО-МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОДАХ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. КУЛЮМБЕ, СЕВЕРО-ЗАПАД СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

С.К.Михалев (ООО «Норильскгеология»), С.Ф.Служеникин, Д.М.Туровцев (ИГЕМ РАН). В.Ф.Кравцов (ООО «Норильскгеология»)

Приведены данные о геолого-структурной позиции дифференцированных базит-гипербазитовых массивов в среднем течении р. Кулюмбе, их строении, петрографическом и минеральном составе. Охарактеризовано платино-медно-никелевое оруденения в интрузивных и метаморфических породах экзоконтакта. Сделан вывод о необходимости дальнейшего опоискования площади на выявление кондиционных платино-медно-никелевых руд.

Ключевые слова: базит-ультрабазитовые интрузивы, платино-медно-никелевые руды, цветные и платиновые металлы, состав рудных минералов.

Михалев Сергей Константинович, v-teteruik@yandex.ru, *Служеникин Сергей Федорович,* nlo_s@mail.ru

PLATINUM-COPPER-NICKEL MINERALIZATION IN THE MAFIC-ULTRAMAFIC INTRUSIONS AND CONTACT-METAMORPHIC ROCKS IN THE MIDDLE COURSE OF THE KULYUMBE RIVER, THE NORTH-WEST OF THE SIBERIAN PLATFORM

S.K.Mikhalev, S.F.Sluzhenikin, D.M.Turovtsev, V.F.Kravtsov

Data on geological and structural position of the differentiated mafic-ultramafic massifs in the middle course of the Kulyumbe River as well as on their structures, petrography and mineralogy. A description of platinum-copper-nickel mineralization in intrusive rocks and metamorphic rocks of the exocontact is given. A conclusion on necessary further exploration of the area for identification of conditional platinum-copper-nickel reserves is made.

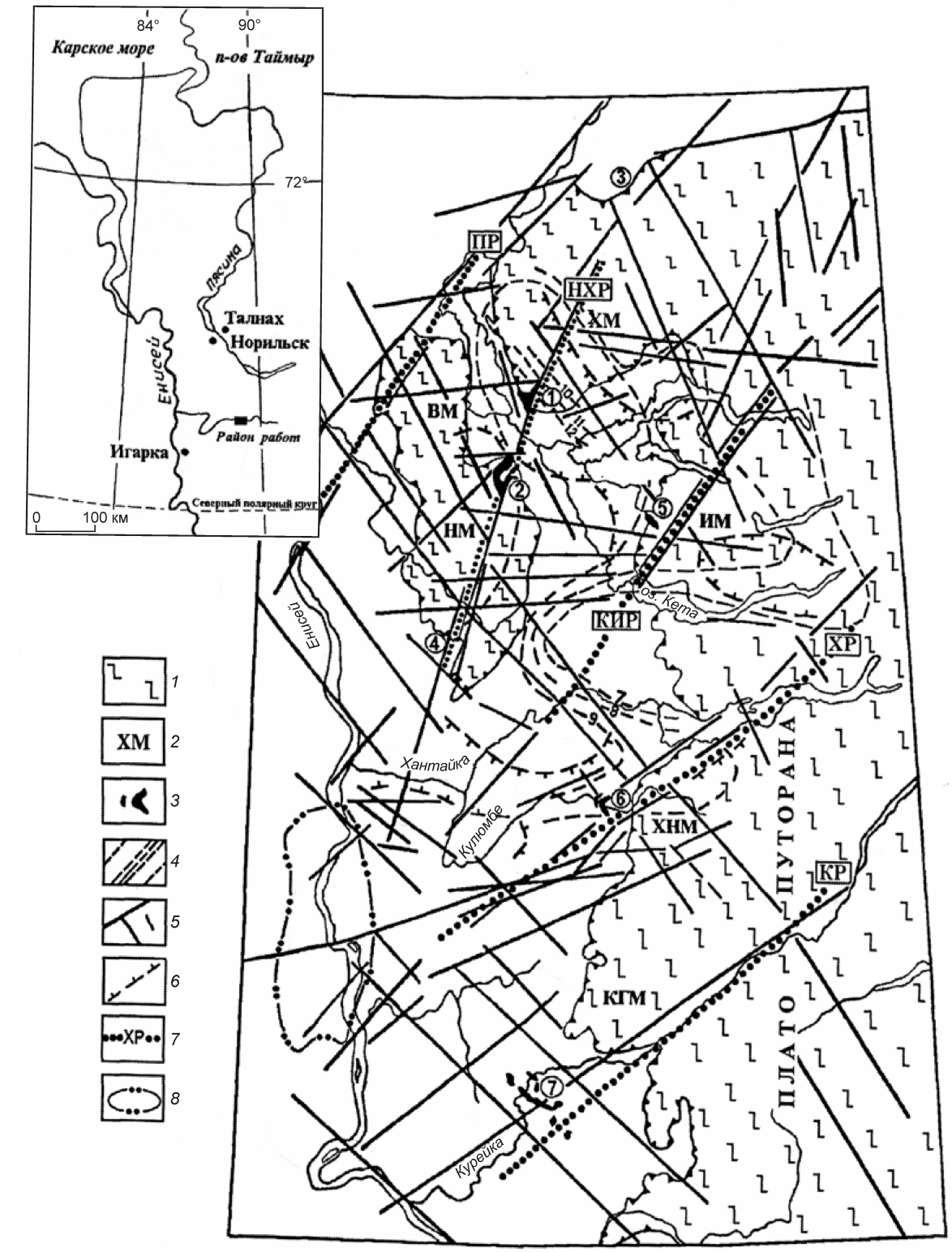
Key words: mafic-ultramafic intrusions, platinum-copper-nickel ore, base metals, platinum metals, ore mineral composition.

Одним из основных направлений расширения минерально-сырьевой базы цветных и платиновых металлов России по-прежнему остается выявление новых природных объектов медно-никелевой рудной формации, связанной с расслоенными ультрабазит-базитовыми интрузивными комплексами различных типов. К числу новых проявлений, представляющих значительный интерес, наряду с другими дифференцированными массивами уже известных рудных полей (Норильского, Талнахского, Имангдинского, Курейского и др.), выделяемых на северо-западе Сибирской платформы в Норильском горнопромышленном районе, относятся дифференцированные массивы среднего течения р. Кулюмбе. Их планомерное изучение началось в середине 50-х годов XX в., когда были открыты первые сульфидные рудопроявления, в том числе связанные с Кулюмбинским и Галельским интрузивами. Они детально изучены А.М.Виленским [1] и долгое время считались основными обьектами при оценке перспективности данной территории. Отнесены к курейскому комплексу [4], малоперспективному на медно-никелевые руды.

Геологическое доизучение территории в м-бе 1:200 000 коллективом ПГО «Красноярскгеология» под руководством Б.М.Струнина в сотрудничестве с ИГЕМ РАН в 70–80 годы XX в. завершилось составлением геологической карты Норильского района нового поколения [12]. Были открыты несколько новых маломощных интрузивов, в том числе Силурийский с вкрапленной и прожилковой медно-никелевой минерализацией, локализован-

ный в верхнесилурийских отложениях. По комплексу благоприятных тектономагматических признаков выделено Кулюмбинское потенциальное рудное поле и определен новый силурийский этап внедрения рудоносных интрузий.

В 1990–1991 гг. в среднем течении р. Кулюмбе сотрудниками тематической партии НКГРЭ С.К.Михалевым и В.Ф.Кравцовым проведены маршрутно-ревизионные работы, детально изучены Силурийский и другие дифференцированные интру-



зии, открыт маломощный лейкократовый интрузив, первоначально названный «Габбровый», а впоследствии «Верхнеильтыкский». Эти интрузивы впервые для данной площади включены в норильский интрузивный комплекс. В первом из них было обнаружено крупношлировое богатое платино-медно-никелевое оруденение. По рекомендации авторов на площади велись поисковые буровые работы, результаты которых излагаются в данной статье.

Кулюмбинское [12] рудное поле выделяется в среднем течении р. Кулюмбе в 350 км южнее г. Норильск в области распространения средне-верхнепалеозойских и нижнемезозойских отложений (рис. 1). Геолого-структурная позиция рудного поля определяется следующими главными факторами.

В региональном плане рудное поле расположено в одноименной рудной зоне в области сочленения структур первого порядка — Тунгусской синеклизы и Приенисейской зоны смятия, разделенных Имангдинско-Летнинским глубинным разломом [5, 7].

В структурах второго порядка положение рудного поля контролируется пересечением юго-западного периклинального замыкания Хантайской (Нирунгдинской) мульды одноименным глубинным магмоконтролирующим разломом северо-восточного простирания. Другими авторами этот разлом назван «Галельский» [12]. Подобно Имангдинскому рудному полю Кулюмбинское находится на участке пересечения Хантайским разломом вершинной части регионального секторного грабена, аналогичного структуре, контролирующей Кетско-Норильскую никеленосную область.

В структурах более высокого порядка территория рудного поля (рис. 2) локализуется на пересечении глубинных разломов северо-восточного (Имангдинско-Летнинского и Хантайского) и северо-западного (Ямбукано-Хантайского) простирания. Эти глубинные разломы отражаются в региональных геофизических полях, прояв-ляются в виде серии тектонических нарушений соответствующих направлений, а также приразломных даек, флексурных изгибов и складок, тектонических брекчий, зон метасоматитов и проявлений прожилково-вкрапленного и жильного пирротинового и пирротин-пиритового оруденения. Насыщенность территории глубинными разломами на фоне общего погружения кровли фундамента обусловливает ее проницаемость для глубинных рудоносных магм.

В пределах Кулюмбинского рудного поля (см. рис. 2) нижне- и среднепалеозойские осадочные, верхнепалео-зойские угленосные и верхнепалеозойско-нижнемезозойские вулканогенные образования имеют моноклинальное залегание, пологое (под углами 10–15) западное и юго-западное падение. Силурийские породы с размывом залегают на отложениях загорнинской свиты ($O_{2–3}zg$), представленных преимущественно аргиллитами. В нижнесилурийских отложениях выделены следующие свиты (снизу вверх): чамбинская S_1cm (аргиллиты), угиюкская S_1ug (глинистые известняки с прослоями мергелей и аргиллитов), танименская S_1tn (органогенные и глинистые известняки, мергели), муктенская S_1mk (известняки, глинистые известняки, в основании алевро-песчаные известняки). В состав верхнесилурийских отложений входят конгдинская S_2kn (глинистые известняки с терригенной примесью и прослоями доломитовых мергелей, доломитов, гипса) и панкагирская S_2pn (глинистые доломиты с прослоями известняков и ангидритов) свиты.

Девонские осадочные отложения, верхнепалеозойская угленосная толща, верхнепалеозойско-нижнемезозойские вулканогенные породы идентичны подобным образованиям Норильского района [12].

Дифференцированные интрузивы в пределах рудного поля по внутреннему строению, минералого-петрографическим и петрохимическим особенностям, характеру околоинтрузивного контактового метаморфизма и составу связанного с ними платино-медно-никелевого оруденения подразделяются на норильский и курейский комплексы. Характер их временного взаимоотношения не установлен из-за слабой изученности. Слабодифференцированная практически безрудная Иль-

Рис. 1. Схема структурного контроля никеленосных интрузий северо-западной части Сибирской платформы:

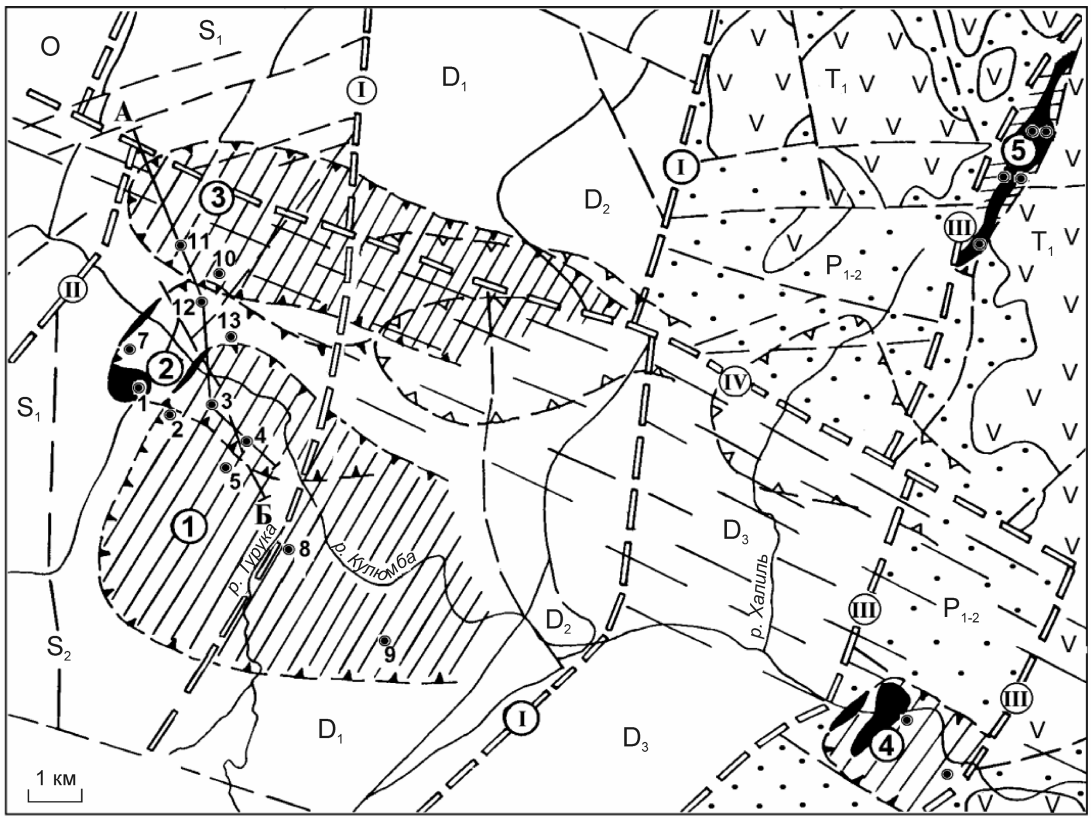
1 — поля распространения туфолавовых образований; *2* — мульды (ХМ — Хараелахская, НМ — Норильская, ВМ — Вологожанская, ИМ — Имангдинская, ХНМ — Хантайская, КГМ — Курейско-Горбиячинская); *3* — дифференцированные никеленосные интрузии рудных узлов (1 — Талнахского, 2 — Норильского, 3 — Тальминского, 4 — Южно-Норильского, 5 — Имангдинского, 6 — Хантайского, 7 — Курейского); *4* — изоглубины кровли кристаллического фундамента с фрагментами ступенчатых перепадов, км; *5* — линеаменты, выявляемые КФС регионального уровня генерализации, отражающие деформированную ортогональную систему трещиноватости глубинного характера; *6* — направления уменьшения интенсивности поля остаточных аномалий силы тяжести; *7* — осевые трассы рудоконтролирующих разломов (ПР — Пясинского, НХР — Норильско-Хараелахского, КИР — Кета-Ирбинского, ХР — Хантайского, КР — Курейского); *8* — Игарский выступ фундамента

тыкская (Верхнеороктинская, по [11]) интрузия Кузьмовского комплекса нами не рассматривается.

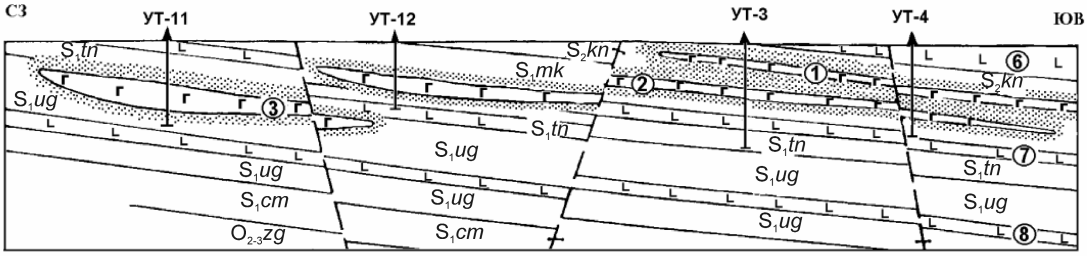
К *норильскому интрузивному комплексу,* впервые условно выделенному авторами в 1990 г. на территории рудного поля, отнесены Силурийский и Верхнеильтыкский интрузивы. По особенностям внутреннего строения, минералого-петрографическому составу пород, околоинтрузивному метаморфизму и характеру рудной минерализации они близки между собой и сопоставимы с интрузивами круглогорского типа норильского комплекса.

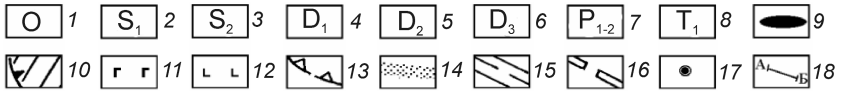
Силурийский интрузив, обнажающийся на р. Кулюмбе в 2,8 км ниже устья р.Турука (см. рис. 2), прослежен буровыми работами на 1 км по простиранию и 6 км по падению. Он представлен одним или двумя маломощными (от 2 до 10 м) телами, локализованными на границе панкагирской и кондгинской свит. В разрезе обнаженной его части выделены следующие разновидности пород (сверху вниз): контактовые долериты (мощность 0,3 м), «магматические брекчии» (2 м), оливинсодержащие и оливиновые габбро-долериты (3 м), пикритоподобные габбро-долериты и троктолиты с элементами атакситовых текстур, переходящие в краевые контактовые габбро-долериты (2 м).

Оливинсодержащие и оливиновые габбро-долериты преобладают в разрезе и идентичны породам Верхнеильтыкского интрузива. Пикрито-



Геологический разрез по линии А-Б





подобные габбро-долериты с содержанием MgO от 10,5 до 12,2 мас. % имеют пойкилоофитовую или гипидиоморфнозернистую структуру, сложены оливином (20–30 об. %), плагиоклазом (40–45%), клинопироксеном (25–30%), ортопироксеном (единичные зерна), биотитом, оксидами и сульфидами. Кумулусный эвгедральный оливин, ассоциирующий в этих породах с кумулусным таблитчатым плагиоклазом ($An_{66–68}$), является наиболее магнезиальным ($Fo_{72–76}$) и количественно преобладает над интеркумулусным высокожелезистым оливином ($Fo_{56–61}$). В ойкокристаллах клинопироксена ($Fs_{15–17}Wo_{35-37}En_{45–50}$) содержатся включения интеркумулусного длиннопризматического плагиоклаза ($An_{54–58}$).

Троктолиты образуют шлиры среди пикритоподобных габбро-долеритов и присутствуют среди обломков «магматических брекчий». Из всех пород массива в них установлена максимальная магнезиальность (15,03 мас. % MgO).

«Магматические брекчии» верхнего эндоконтакта слагают своеобразный по морфологии и составу горизонт. «Обломки» пойкилоофитовых безоливиновых, оливинсодержащих, оливиновых габбро-долеритов, а также троктолитов цементируются метасоматическими образованиями — шпинель-плагиоклаз-фассаитовыми, монтичеллитовыми, шпинель-форстеритовыми скарнами и кальцифирами, волластонит-гроссуляр-везувиановыми скарнами, апоскарновыми серпентиновыми, хлоритовыми и гидрогранатовыми метасоматитами.

В отдельных пересечениях по скважинам из разреза интрузива выпадают некоторые дифференциаты, прежде всего пикритовые, оливиновые и верхние такситовые габбро-долериты. В разрезе Верхней габбровой серии широко развиты шлиры и горизонты лейкократового габбро, идентичные анортозитам Верхнеильтыкского интрузива и характерные для апофиз расслоенных массивов норильского типа.

Породы Силурийского массива характеризуются повышенной железистостью всех мафических минералов и несколько пониженной основностью плагиоклаза в сравнении с интрузивами норильско-талнахского типа. Данных для обсуждения особенностей скрытой расслоенности этого массива недостаточно, но можно полагать, что она мало отличается от таковой Верхнеильтыкского.

Верхнеильтыкский интрузив мощностью (5–6 м) обнажается в 1,7 км ниже Силурийского по р. Кулюмбе, напротив устья р. Безымянная. Он также перебурен серией поисковых скважин, контролируется зоной Ямбукано-Хантайского глубинного разлома, по падению изменяет направление с субширотного на северо-восточное (см. рис. 2). В плане представлен лентовидной залежью шириной 2,5–3 км, в разрезе — субпластовым пологосекущим телом, мощность которого в бортовых частях и пережимах 25 м, на участках раздува до 50–65 м. Интрузив локализован в основном в нижнесилурийских (граница танименской и муктенской свит), реже в верхнесилурийских (конгдинская свита) отложениях.

Наиболее полный изученный нами разрез интрузива общей мощностью около 28 м (рис. 3) представлен преимущественно породами Основной расслоенной серии (лейкократовыми кварц- и оливинсодержащими габбро-долеритами с горизонтом оливиновых габбро-долеритов со шлирами троктолитов), а также породами Верхней и Нижней габбровых серий (лейкогаббро и такситовыми габбро-долеритами).

Краевые (верхние и нижние) контактовые габбро-долериты мощностью 0,3–0,5 м почти полностью преобразованы в плагиоклаз-фассаитовые эндоскарны и наложенные на них известковые скарны. В реликтах наблюдаются микропойкилоофитовые габбро-долериты с обильными сегрегациями кумулусного плагиоклаза ($An_{74–80}$).

Лейкократовые габбро имеют габбровую и габбро-офитовую структуру, сложены эвгедральными зональными таблитчатыми кристаллами плагиоклаза, отвечающего в ядре битовниту ($An_{72–77}$), а в

Рис. 2. Геолого-структурная схема Кулюмбинского рудного поля:

осадочные и вулканогенно-осадочные отложения: 1 — ордовикские карбонатные, 2 — нижнесилурийские глинисто-карбонатные, 3 — верхнесилурийские карбонатные, 4 — нижнедевонские карбонатно-глинистые, 5 — среднедевонские сульфатно-карбонатные, 6 — верхнедевонские сульфатно-глинисто-карбонатные, 7 — пермские терригенные угленосные, 8 — нижнетриасовые вулканогенные; 9 — выходы интрузивов на поверхность; 10 — контуры и ареалы гипербазит-базитовых интрузивов, цифры в кружках (1 — Силурийского, 2 — Верхнеильтыкского, 3 — Нижнеильтыкского, 4 — Кулюмбинского, 5 — Галельского); интрузивы: 11 — гипербазит-базитовые дифференцированные, 12 — базитовые недифференцированные (6 — Зубчатый, 7 — Ильтыкский-1, 8 — Ильтыкский-2); 13 — ареалы интрузивов, предполагаемые по геофизическим данным; 14 — контактово-метаморфические ореолы; 15 — Кулюмбинско-Халильская зона смятия; 16 — трассы глубинных разломов (I — Имангдинско-Летнинский, II — Ороктинский, III — Хантайский, или Яло-Галельский, IV — Ямбукано-Хантайский); 17 — поисковые скважины и их номера; 18 — линия разреза

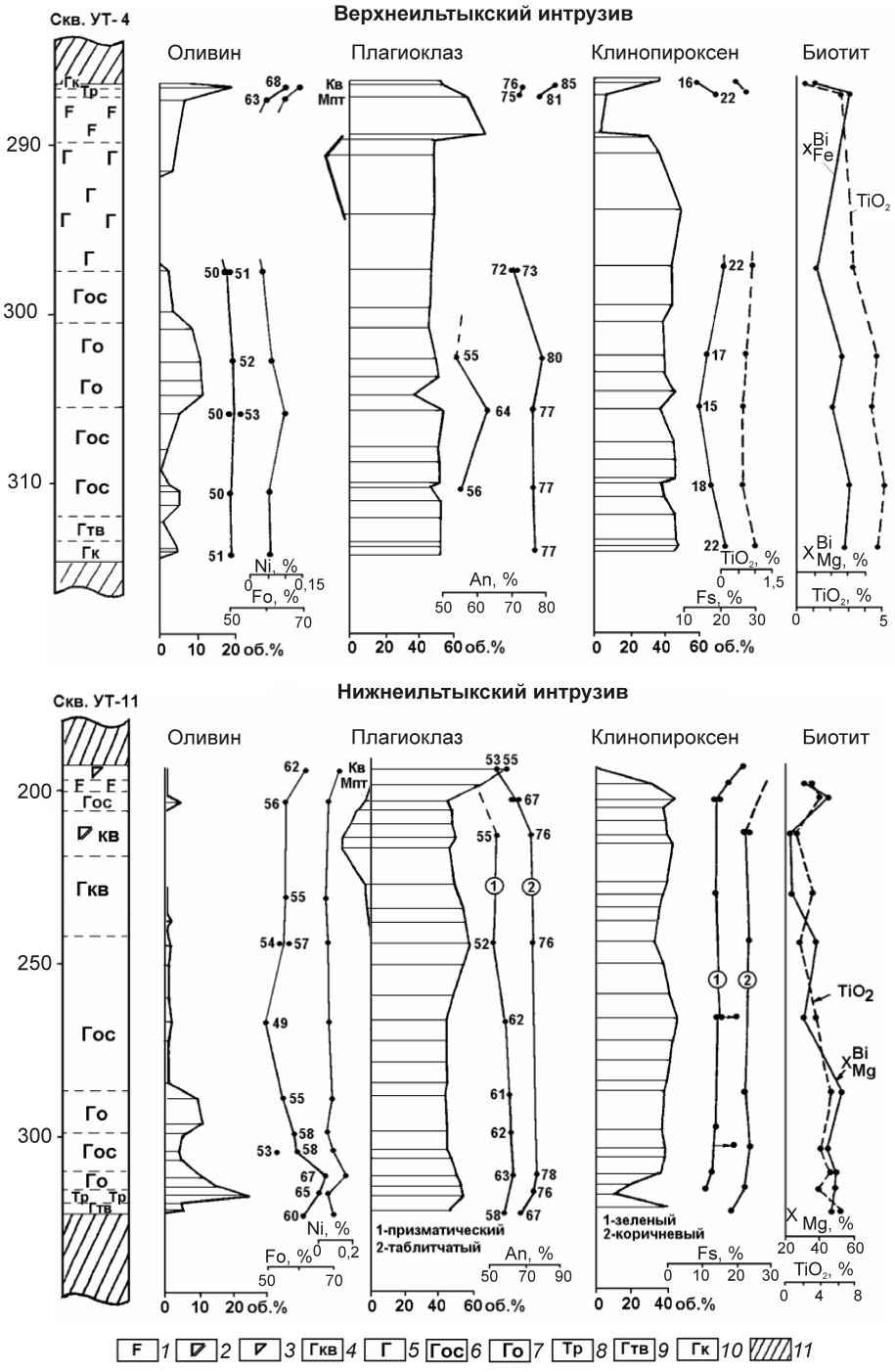


Рис. 3. Изменение количества и состава главных породообразующих минералов в разрезах интрузивов Кулюмбинского рудного узла:

1 — лейкогаббро; *2* — габбро-диориты; габбро-долериты: *3* — пегматоидные, *4* — кварцевые, *5* — безоливиновые, *6* — оливинсодержащие, *7* — оливиновые, *8* — троктолиты, *9* — такситовидные, такситовые, *10* — контактовые; *11* — вмещающие породы

зонах адкумулятивного дорастания лабрадору ($An_{63–70}$). Количество кумулусного плагиоклаза достигает 70–85 об. %. В породах имеется небольшое количество интеркумулусных клинопироксена, оливина и реакционного ортопироксена. Оливин полностью замещен тальком, серпентином и магнетитом.

Верхние такситовидные оливиновые габбро-долериты характеризуются чередованием безоливиновых кварцсодержащих габбро-долеритов с содержанием кварца ~5% и оливиновых и троктолитовых габбро-долеритов, в которых оливин составляет от 20 до 30%. Структура пород офитовая и пойкилофитовая.

Кварцсодержащие или кварцевые габбро-долериты, иногда приближающиеся по составу к габбро-диоритам, могут занимать значительный обьем в кровле Верхнеильтыкского интрузива (скв. УТ-3, УТ-13). Эти породы содержат значительное количество микропегматита и свободного кварца (до 10 об. %), амфибола, биотита, хлорита, изредка калиевого полевого шпата, кислого плагиоклаза.

Безоливиновые и оливинсодержащие габбро-долериты слагают большую часть обьема Основной расслоенной серии. Породы имеют пойкилофитовую структуру, содержат многочисленные сегрегации и вкрапленники кумулусного плагиоклаза. Количество оливина не превышает 1–6 об. %. Высокожелезистый оливин ($Fo_{50–55}$) интеркумулуса образует ксеноморфные выделе-

ния между кристаллами плагиоклаза.

Оливиновые габбро-долериты «подвешенного» горизонта в средней части интрузива содержат большое количество (до 35–40 об. %) равномерно распределенных гломеропорфировых выделений таблитчатых кристаллов кумулусного плагиоклаза, обусловливающих пятнисто-порфировую текстуру пород. Оливин составляет 10–15 об. %.

Лейкотроктолиты (оливин 20–30, плагиоклаз 50–60, клинопироксен до 10, титаномагнетит 3–4%, в интерстициях — биотит, кварц) присутствуют в небольших шлирах среди оливиновых габбро-долеритов.

Нижние такситовые и такситовидные габбро-долериты — породы пестрые по составу (от безоливиновых до оливиновых габбро-долеритов), структуре и степени автометаморфизма. В них имеется сульфидная платино-медно-никелевая минерализация.

Скрытая расслоенность Верхнеильтыкского интрузива рассмотрена на примере разреза скв. УТ-4 (см. рис. 3). Предварительно отметим, что в изученном разрезе устанавливаются два максимума накопления оливина: слабый в средней части разреза в оливиновых габбро-долеритах и более значительный в его верхней эндоконтактовой зоне в троктолитах. Последний максимум весьма обычен для интрузивов норильского типа и широко освещен в петрологической литературе [2, 6, 8, 9].

Оливин Верхнеильтыкского интрузива представлен преимущественно интеркумулусной фазой, обладающей довольно высокой железистостью ($Fo_{50–53}$), которая снижается в троктолитах (Fo_{68}), приближаясь к его железистости в оливинсодержащих габбро-долеритах Верхнеамбарнинского интрузива. Концентрация Ni в оливине варьирует от 0,05 до 0,17 мас. % и сопоставима с его количеством в оливинсодержащих и оливиновых габбро-долеритах интрузивов Норильск-1 и Талнахский.

Плагиоклаз кумулуса имеет таблитчатый габитус, по составу варьирует от $An_{72–77}$ на протяжении значительной части разреза до $An_{80–86}$ в обогащенных оливином породах. Это наиболее основной плагиоклаз среди всех изученных в дифференцированных массивах рудного поля (рис. 4). Призмы интеркумулусного плагиоклаза ($An_{55–64}$) в ойкокристаллах клинопироксена достигают максимальной основности ($An_{75–76}$) в троктолитах верхнего эндоконтакта.

Клинопироксен при общей сравнительно высокой железистости от 9 до 23 мол. % Fs наиболее магнезиален в богатых оливином породах. В клинопироксенах Верхнеильтыкского интрузива по сравнению с таковыми из Силурийского и Нижнеильтыкского устанавливается в целом более высокое содержание Wo-минала, связанное, вероятно, с явлениями контаминации расплава. Пижонит-авгит, присутствующий в породах Силурийского ин-трузива, в Верхнеильтыкском не выявлен. Клинопироксены в породах последнего имеют невысокие концентрации Cr и Ti.

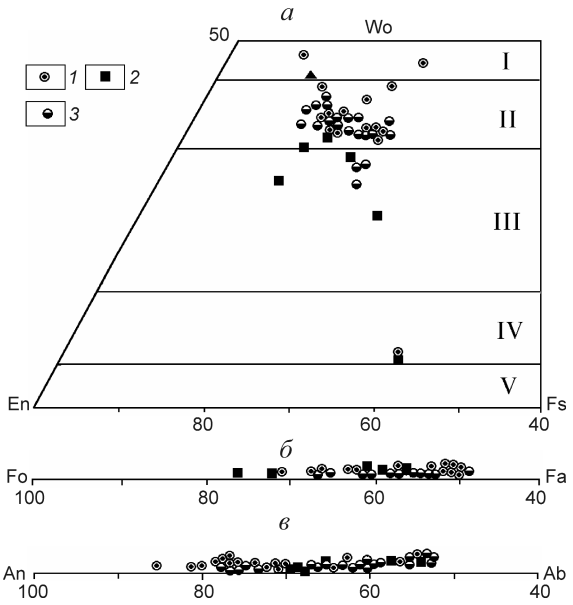


Рис. 4. Составы сосуществующих клинопироксена (*а*), оливина (*б*) и плагиоклаза (*в*) в интрузивах Кулюмбинского узла:

интрузивы: *1* — Силурийский, *2* — Верхнеильтыкский, *3* — Нижнеильтыкский; поля составов пироксенов: I — диопсид, II — авгит, III — пижонит-авгит, IV — пижонит, V — бронзит

Ортопироксены в породах Верхнеильтыкского и Силурийского интрузивов весьма редки, образуют реакционные каймы вокруг зерен оливина, по составу близки к пижонитам.

Биотит в породах интрузива ассоциирует как с титаномагнетитом, так и с сульфидами. Он высокожелезистый (X_{Mg}=34–59%), при этом концентрации Ti коррелируются с его железистостью, а последняя снижается в породах, обогащенных оливином.

В целом скрытая расслоенность Верхнеильтыкского интрузива, обладающего существенно более высокой железистостью породообразующих минералов по сравнению с расслоенными массивами норильского типа, проявлена слабо.

К курейскому интрузивному комплексу вслед за А.М.Виленским [1] на изученной территории авторы относят известные Кулюмбинский и Галельский слаборудоносные интрузивы, диффе-

ренцированные от троктолитовых габбро-долеритов до габбро-диоритов, а также вскрытый поисковым бурением Нижнеильтыкский со сходными схемой дифференциации и характером оруденения. Кулюмбинский и Галельский интрузивы описаны в литературе (приводятся только дополнительные данные по первому из них), Нижнеильтыкский характеризуется впервые.

Нижнеильтыкский интрузив перебурен скважинами УТ-10 и УТ-11 на правобережье р. Кулюмбе в приустьевой части р. Безымянная. Его мощность 75–130 м. Интрузив контролируется зоной Ямбукано-Хантайского разлома и имеет субширотное простирание. Локализуется в более низком стратиграфическом горизонте (угиюкская свита нижнего силура), чем Верхнеильтыкский. В геофизических полях массив отражается комплексной гравимагнитной аномалией. Его форма в разрезе корытообразная, в плане лентовидная с раздувами и пережимами.

Интрузив хорошо дифференцирован. В его разрезе (см. рис. 3) выделяются:

Верхняя габбровая серия — краевые контактовые плагио- и оливинофировые габбро-долериты, лейкократовые безоливиновые габбро-долериты с сегрегациями анортозитов (лейкогаббро), верхние такситовые оливинсодержащие и кварцсодержащие габбро-долериты со шлирами пегматоидных габбро-долеритов, мощность 12–15 м;

Основная расслоенная серия — микропегматитовые и кварцсодержащие габбро-диориты, безоливиновые, оливинсодержащие, оливиновые габбро-долериты со шлирами троктолитов, мощность 100–110 м;

Нижняя габбровая серия — нижние такситовые и контактовые габбро-долериты, мощность 5–7 м.

Верхние краевые контактовые габбро-долериты имеют порфировидную структуру и содержат вкрапленники оливина (Fo_{62}) и плагиоклаза ($An_{55–76}$). Породы интенсивно изменены вторичными процессами. В них развиты волокнистые и игольчатые агрегаты актинолита в срастании с тонкочешуйчатым биотитом, замещающие клинопироксен, пренит, развивающийся по плагиоклазу, а также серпентин, боулингит и магнетит — по оливину.

Лейкократовые безоливиновые габбро-долериты характеризуются габбровой и габбро-офитовой структурой, содержат обильные гломеропорфировые сегрегации кумулусного плагиоклаза ($An_{67–76}$). Общее количество плагиоклаза в породах достигает 60–70 об. %, коричневого титанистого (1,0–1,1 мас. % TiO_2) клинопироксена ($Fs_{17–18}Wo_{38–39}En_{42–44}$) — 25–30 об. %, титаномагнетита — 2–3%.

Верхние такситовидные оливин- и кварцсодержащие габбро-долериты содержат шлировидные обособления крупнозернистых кварцсодержащих пегматоидных габбро-долеритов. Структура пород пойкилоофитовая и офитовая. Количество интеркумулусного высокожелезистого оливина ($Fo_{56–62}$) варьирует от нескольких до 5–7%, а кварца в кварцсодержащих габбро-долеритах — 10–12 об. %.

Габбро-диориты представляют собой крупнозернистые измененные лейкопороды с призматически-зернистой структурой, в которых широко развиты вторичные минералы — амфибол, биотит, хлорит, пренит, соссюрит. В мезостазисе присутствуют кварц и микропегматит, составляющие в сумме 15 об. %. Первичномагматические минералы — клинопироксен и плагиоклаз — интенсивно изменены.

Кварцевые габбро-долериты — крупнозернистые породы с призматически-офитовой и пойкилоофитовой структурой. От габбро-диоритов они отличаются более свежим обликом, меньшим количеством кварца и нахождением его в основном в микропегматите (10 об. %). Кумулусный зональный таблитчатый ($An_{70–76}$) и интеркумулусный призматический ($An_{50–55}$) плагиоклазы составляют ~45–50 об. %. Ойкокристаллы зеленого клинопироксена ($Fs_{14}Wo_{41}En_{45}$) по сравнению с клинопироксенами из других пород массива высокохромистые (0,31% Cr_2O_3) и присутствуют в равных с плагиоклазом количествах. Биотит в кварцевых габбро-долеритах также отличается наиболее железистым составом (X_{Mg}=24–25%). В породах отмечаются (<3 об. %) крупные «лапчатые» зерна интеркумулусного оливина (Fo_{55}).

Оливинсодержащие габбро-долериты слагают основной объем пород массива. Количество оливина ($Fo_{54–57}$) невелико от 1–3 до 5 об. %. Он представлен интеркумулусной фазой, кристаллизуется после плагиоклаза и клинопироксена, образует крупные ксеноморфные выделения, часто замещен серпентином и магнетитом. Встречается «гранулированный» оливин, имеющий максимально железистый состав (Fo_{49}). Плагиоклаз ($An_{52–76}$) количественно преобладает над авгитом ($Fs_{14–23}Wo_{33-41}En_{44–46}$) и, как в других породах, представлен кристаллами таблитчатого и призматического габитуса. Магнезиальность биотита, ассоциирующего с титаномагнетитом, несколько выше (X_{Mg}=26–38%), чем у такового из кварцевых габбро-долеритов. Степень замещения первичномагматических минералов незначительная.

Оливиновые габбро-долериты образуют «подвешенные» горизонты среди оливинсодержащих

габбро-долеритов. Их порфировая структура, придающая породам пятнистый облик, обусловлена наличием многочисленных сегрегаций кумулусного плагиоклаза ($An_{76–78}$), количество которых увеличивается в нижней части горизонта, достигая 30 об. %. Оливин ($Fo_{53–58}$) составляет до 10–15 об. %, формирует как интеркумулус, так и кумулус. Магнезиальность оливина возрастает к границе с троктолитами. Ортопироксен не выявлен. Клинопироксен представлен двумя разновидностями — зеленой ($Fs_{13}Wo_{39}En_{48}$) высокохромистой, низкотитанистой (0,28% Cr_2O_3, 0,58% TiO_2) и коричневой ($Fs_{23}Wo_{33}En_{44}$) высокотитанистой (Cr_2O_3 отсутствует, TiO_2 1,05%). В породах устанавливается экстремальная для массива магнезиальность биотита (X_{Mg}=53%). Вторичное замещение проявлено слабо.

Троктолиты образуют шлиры и горизонты мощностью до 2–3 м среди такситовых и оливиновых габбро-долеритов. Как и в оливиновых габбро-долеритах, кумулусный плагиоклаз аналогичного состава определяет порфировую структуру пород. При общем содержании плагиоклаза 50–65 об. % количество оливина с высокой магнезиальностью ($Fo_{65–67}$) составляет 25–30 об. %. Клинопироксен (до 7–8 об. %), как и в оливиновых габбро-долеритах, представлен двумя разновидностями близкого состава.

Такситовые габбро-долериты характеризуются гетерогенностью структуры и петрографического состава — от безоливиновых и оливинсодержащих до оливиновых и троктолитовых габбро-долеритов. В породах развит преимущественно интеркумулусный оливин ($Fo_{60–65}$). Он незначительно замещен серпентином и магнетитом. Степень автометаморфизма и вторичного изменения пород увеличивается в нижней части горизонта. Магнетит распространен в виде многочисленных вкрапленных и прожилковых выделений. Кроме оксидов, породы содержат сульфидную платино-медно-никелевую минерализацию.

Нижние краевые габбро-долериты по составу и структуре полностью соответствуют верхним контактовым.

Скрытая расслоенность Нижнеильтыкского интрузива при общих с другими расслоенными массивами Норильского района и западного борта Тунгусской синеклизы свойствах имеет свои особенности (см. рис. 3).

Оливин присутствует практически во всех породах массива, но его накопление происходит в основании Основной расслоенной серии, достигая максимума в троктолитах. Магнезиальность возрастает сопряженно с увеличением его количества от 54–56% Fo-минала до 65–67%. Оливин выделяется преимущественно в интеркумулусе после обеих генераций плагиоклаза и только в оливиновых габбро-долеритах и троктолитах встречаются идиоморфные кристаллы кумулусного оливина. Высокая железистость и интеркумулусный характер — основные признаки отличия оливина Нижнеильтыкского интрузива от оливина расслоенных массивов норильского типа. Содержание никеля в оливинах также в 2–3 раза ниже, чем в интрузивах норильского типа, что свидетельствует о кристаллизации минерала из слабо никеленосного расплава.

Плагиоклаз представлен двумя генерациями — зональными таблитчатыми кристаллами в кумулусе, в которых состав центральных частей зерен изменяется весьма незначительно (от An_{67} до An_{76}), и более поздним интеркумулусным призматическим (An_{52}–An_{63}). Тенденция увеличения основности плагиоклаза в направлении к подошве массива весьма незначительная. Слабое его раскисление устанавливается в породах краевых частей массива — Верхней и Нижней габбровых сериях.

Клинопироксен, как и в расслоенных массивах норильского комплекса, представлен зелеными и коричневыми ойкокристаллами. Зеленый клинопироксен — авгит ($Fs_{10–15}Wo_{38-41}En_{44–48}$) содержит 0,1–0,3 мас. % Cr_2O_3 и 0,5–0,8 мас. % TiO_2. Коричневый клинопироксен также принадлежит к авгитам, но имеет более железистый ($Fs_{15–24}Wo_{30-38}En_{38–46}$) и менее известковистый состав. Концентрация Cr_2O_3 в нем не превышает 0,1 мас. %, а TiO_2 составляет 0,8–1,35 мас. %. Отмечаются промежуточные значения содержаний хрома и титана между выделенными разновидностями минерала. Устанавливается общая с другими расслоенными массивами тенденция снижения железистости клинопироксена в более магнезиальных породах массива.

Биотит ассоциирует с оксидами, а также сульфидами в такситовых габбро-долеритах. Магнезиальность биотита и концентрации в нем титана плавно возрастают в направлении подошвы массива, достигая максимума в породах, богатых оливином.

В целом Нижнеильтыкский интрузив обладает слабо выраженной скрытой расслоенностью, что отличает его от дифференцированных интрузивов норильского типа.

Кулюмбинский интрузив картируется на протяжении >500 м по берегам р. Кулюмбе в 2,5 км ниже устья р. Яла (см. рис. 2). Он представлен двумя разобщенными в стратиграфическом разрезе телами,

которые могут считаться взаимосвязанными. Восточное тело, известное как Среднекулюмбинский интрузив [1], локализуется в средней части разреза тунгусской серии. Западное тело, названное нами Гранодиоритовым интрузивом, является, по-видимому, продолжением Джалтульского массива курейского комплекса. Залегает гипсометрически и стратиграфически ниже Среднекулюмбинского в межформационном шве между песчаносланцевыми отложениями бургуклинской свиты P_2br и карбонатными каларгонской D_3kl. Оба интрузива перебурены скважинами.

Истинная мощность Гранодиоритового интрузива 45–55 м. В нем наблюдается четкая макрорасслоенность, присущая массивам курейского комплекса, при этом в разрезе интрузива выделяются следующие горизонты пород (сверху вниз):

Верхняя габбровая серия — лейкократовые гибридно-метасоматические породы, плагиоклазиты, кварцевые монцониты, гранодиориты и диориты с ксенолитами роговиков и биотит-полевошпатовых метасоматитов, мощность 6 м;

Основная расслоенная серия — габбро-диориты, амфиболизированные и альбитизированные габбро-долериты с призматически-зернистой структурой (4 м), безоливиновые и оливинсодержащие (10 м), оливиновые (13 м) габбро-долериты и троктолиты (10 м);

Нижняя габбровая серия — такситовые и контактовые габбро-долериты (5 м).

Среднекулюмбинский интрузив, дифференцированный в меньшей степени, сложен преимущественно безоливиновыми, оливинсодержащими, биотит-оливиновыми габбро-долеритами со шлирами троктолитов и краевыми габбро-долеритами.

По материалам Л.И.Кравцовой [1], в оливиновых габбро-долеритах и троктолитах оливин составляет 8–20 об. %, представлен двумя разновидностями — эвгедральными зернами состава $Fo_{66–78}$ в кумулусе и ксеноморфными зернами состава $Fo_{50–60}$ в интеркумулусе. Наиболее основной плагиоклаз ($An_{75–87}$ по оптике) фиксируется в центре зональных таблитчатых зерен в кумулусе пород, а на периферии кристаллов соответствует $An_{47–54}$. Клинопироксен представлен авгитом с содержанием 20–30 об. % Fs. Приведенные составы главных породообразующих фаз весьма близки к их составам в Нижнеильтыкском интрузиве.

Зона верхнего эндоконтакта Гранодиоритового интрузива гибридно-метасоматического генезиса сложена кварцевыми монцонитами, гранодиоритами, диоритами, плагиогранитами пестрого и изменчивого минерального состава: плагиоклаз (альбит-андезин) 40–60, кварц 1–20, микропегматит 7–30, калишпат 1–5, гастингсит (f=16–30) 5–30%, биотит, хлорит, эпидот, апатит, сфен, ильменит, рутил, циркон. В породах присутствуют ксенолиты биотит-пироксен-плагиоклазовых роговиков и фельдшпатолитов.

Породы Силурийского, Верхнеильтыкского и Нижнеильтыкского дифференцированных, а также недифференцированных интрузивов Кулюмбинского рудного поля принадлежат к семейству долеритов нормального ряда основных плутонических пород [3]. По типу щелочности большинство из них относятся к калиево-натриевой серии. Породы краевых частей массивов — пегматоиды, лейкогаббро, габбро-диориты — обладают слабо повышенной щелочностью, в ряде случаев калиевой специализацией и высоким отношением K_2O/TiO_2 (>0,8). Они высокоглиноземистые (al'=1,5–1,7) в отличие от умеренно глиноземистых оливинсодержащих и оливиновых габбро-долеритов и низкоглиноземистостых пикритов и троктолитов. На диаграмме A–S (рис. 5, *а*) поля составов интрузивных пород полностью совмещены со среднестатистическими полями составов габбро и клинопироксенитов. При этом составы лейкогабброидов Верхне- и Нижнеильтыкского интрузивов близки к составам анортозитов.

Вариационный окисловый профиль Нижнеильтыкского интрузива отражает слабое накопление MgO в средней и нижней частях массива, TiO_2, FeO, Fe_2O_3, P_2O_5 — в пегматоидных габбро-долеритах, CaO, K_2O и Al_2O_3 — в лейкогабброидах Верхней габбровой серии. Такие же особенности поведения компонентов присущи Силурийскому и Верхнеильтыкскому массивам при более широкой вариации состава пород и более контрастном накоплении MgO в подошве Основной расслоенной серии.

Средневзвешенные составы Силурийского и Верхнеильтыкского интрузивов (см. рис. 5, б) занимают промежуточное положение между составами интрузий Курейского и Норильского районов. Их составы, сопоставимые по магнезиальности и глиноземистости с составами интрузий круглогорского типа норильского комплекса или с апофизами рудоносных расслоенных массивов, развитых в пределах Талнахского и Норильского рудных узлов, уступают им по калиевости составов. Состав Нижнеильтыкского интрузива близок к составам других массивов курейского комплекса.

Контактово-метаморфические ореолы Кулюмбинского рудного поля описаны в работах [13, 14]. Отметим, что контактовые ореолы Верхнеильтыкского и Силурийского интрузивов представляют высокотемпературные контактово-метаморфиче-

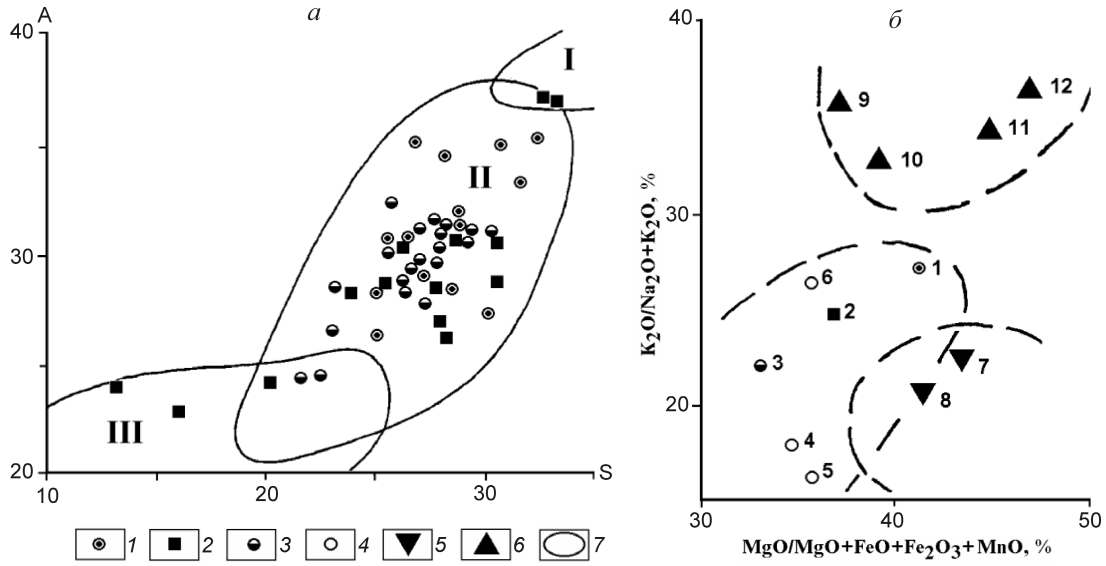


Рис. 5. Петрохимические особенности дифференцированных интрузивов Кулюмбинского рудного узла:

а — положение составов пород на диаграмме A–S; *б* — положение средневзвешенных составов интрузивов на диаграмме K_2O/Na_2O+K_2O – $MgO/MgO+FeO+Fe_2O_3+MnO$; составы пород интрузивов: *1–4* — Кулюмбинского рудного узла (1 — Силурийского, 2 — Верхнеильтыкского, 3 — Нижнеильтыкского, 4 — прочих (4 — Ильтыкский-1, 5 — Ильтыкский-2, 6 — Кулюмбинский), *5* — Курейского района (7 — Нижний-1, 8 — Нижний-2), *6* — Норильского района (9 — Габбровый (Опорский), 10 — краевая часть Хараелахского, 11 — Верхнеталнахские рудоносные интрузивы в целом, 12 — Норильск-1); *7* — статистические поля составов анортозитов (I), габбро (II), клинопироксенов (III)

ские полифациальные комплексы, в строении которых участвуют образования спуррит-мервинитовой, пироксен-роговиковой (мелилит-монтичеллитовая субфация по В.В.Ревердатто, 1970 и др.) и амфибол-роговиковой фаций, сформировавшиеся на прогрессивном этапе термального метаморфизма по глинисто-доломитистым известнякам панкагирской и конгдинской свит верхнего силура. При этом масштабы околоинтрузивного метаморфизма в несколько раз (критерий Ингерсола $К_и$=3–4) превосходят мощность продуцирующих его интрузивов. Этим они похожи на контактовые ореолы рудоносных интрузивов Норильского района.

Платино-медно-никелевая минерализация отмечается во всех интрузивах среднего течения р. Кулюмбе. Она приурочена в основном к нижним частям массивов и к вмещающим породам нижнего экзоконтакта. Мощность зон вкрапленного оруденения со значимыми концентрациями цветных металлов не превышает 1–2 м. Только в нижнем эндоконтакте Силурийского интрузива наблюдаются тела массивных сульфидных руд в виде шлиров.

В *Силурийском интрузиве* вкрапленная медно-никелевая минерализация сосредоточена в верхнем и нижнем эндоконтактах, шлировидные тела массивных руд — в нижнем. Верхний уровень концентрации цветных и благородных металлов приурочен к прикровельным участкам интрузива. Содержания металлов составляют: 0,13 Ni, 0,16 Cu, 0,018% Co, 0,32 Pt, 0,82 г/т Pd (табл. 1). Сульфиды слагают не более 1% объема пород. Они образуют изометричные и ксеноморфные вкрапленники, размеры которых редко превышает 2 мм. Представлены в основном халькопиритом (~50% объема сульфидов), полидимитом в изометричных выделениях размером 0,05–0,6 мм и пиритом (до 30% обьема сульфидов). Полидимит, по-видимому, замещает пентландит. Кроме дисульфидизации пирротина и халькопирита, вторичные изменения сульфидов выражаются в развитии борнита и ковеллина по халькопириту.

При убогой сульфидной минерализации обращает на себя внимание значительная концентрация платиновых металлов в верхней эндоконтактовой зоне Силурийского интрузива. Отношение Σ PGE(г/т)/S(мас. %) здесь составляет 6,3, что превышает относительную концентрацию платиноидов в нижних частях интрузива. Это характерно для верхних платиноносных горизонтов в дифференцированных интрузивах Норильского района [6].

Второй уровень концентрации цветных и платиновых металлов приурочен к оливиновым и оливинсодержащим габбро-долеритам нижней части интрузива в виде невыдержанного горизонта с мак-

1. Содержание цветных (мас. %) и благородных (г/т) металлов в интрузивах и вмещающих породах Кулюмбинского рудного узла

Тип минерализации	Ассоциации сульфидов	Номера образцов	Ni	Cu	Co	S	Pt	Pd	Rh	Au	Ag
Силурийский интрузив											
Вкрапленный Кровля интрузива	Cp+Po	4-14-90	0,13	0,16	0,018	0,18	0,32	0,82		0,06	
	Po+Cp+Pn	4-5-90	0,21	0,56	0,016	1,49	0,20	1,52	н/о	0,10	н/о
		14-5-90	0,24	0,37	0,009	1,04					
Нижняя часть интрузива	Cub+Po+Cp+Pn	Ут-4/247,45	0,15	0,50	0,080	0,93	н/о	н/о		н/о	
Шлиры массивных руд	Po+Cp+Pn	14-4-90	2,80	10,00	0,080	32,60	4,30	20,30	0,21	1,87	н/о
							3,80	17,70	0,79	1,37	29,20
		4-12-90	3,20	8,50	0,080	30,20	3,80	17,80	0,24	1,42	н/о
							3,60	16,40	0,79	1,11	28,90
	Cp+Po+Pn	14-1-90	5,32	13,42	0,170	н/о					
	Cub+Cp+Po+Pn	19-2-90	2,75	12,00	0,090	22,02	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
		19-3-90	4,55	16,55	0,200	н/о					
Верхнеильтыкский (Габбровый) интрузив											
Вкрапленный Нижняя часть интрузива	Po+Cp+Pn	УТ-4/310,3–310,45	0,11	0,28	0,007	0,45					
		310,45–311,80	0,01	0,01		1,05					
		310,70–311,40			<0,005	<0,01					
					0,005	0,10					
		311,40–311,65	0,12	0,35	0,007	0,69	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
		311,65–311,90	0,04	0,18	0,005	0,41					
		УТ-7/83,5–84,55	0,01	0,02	<0,005	0,08					
		84,55–85,00	0,03	0,07	0,005	0,28					
Прожилково-вкрапленный В породах нижнего экзоконтакта	Cp+Py+Pn	85,50–86,20	0,05	0,19	0,005	0,72					
		85,00–85,50	0,03	0,85	0,010	1,95	0,54	3,10	0,09	0,19	2,33
		86,20–87,40	0,01	0,02	0,050	0,63					
	Po+Cp+Pn	16-8-90	0,20	0,78	0,012	2,10					
		16-6-90	0,12	0,36	0,010	1,24					
Нижнеильтыкский интрузив											
Вкрапленный Нижняя часть интрузива	Po+Cp+Pn	УТ-11/316,2–317,0	0,05	0,17	0,007	0,85	<0,20	0,31	<0,02	<0,02	0,94
		317,0–317,7	0,06	0,20	0,008	1,08		0,52		0,03	0,75
		317,7–319,2	0,01	0,02	0,005	0,24	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
		319,2–320,4	0,04	0,08		0,56	<0,20	23,00	<0,02	0,02	0,70
		320,4–321,3	0,03	0,05		0,69		0,21		<0,02	<0,70
		УТ-10/410,3–412,1	0,02	0,02	0,006	0,13	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Прожилково-вкрапленный В породах нижнего экзоконтакта	Po+Cp+Pn	412,1–413,1	0,06	0,03	0,005	0,73	<0,20	0,56	<0,02	0,03	0,75
	Cp+Po+Pn	413,1–413,7	0,05	0,17	0,005	0,69	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Кулюмбинский интрузив											
Вкрапленный Нижняя часть интрузива	Po+Cp+Pn+ +Cub	2-90	0,02	0,03	н/о	0,18	0,01	0,02	0,001	н/о	н/о
				0,02		0,10		0,02			
Шлиры массивных руд	Py+Cp+Po+Pn	3-90	0,01	0,15		39,50	0,01	0,01	0,005		

Примечание. Анализы выполнены в лабораториях ООО «Норильский Никель» и ИГЕМ РАН.

симальной мощностью 1 м. Содержания металлов составляют: 0,15–0,24 Ni, 0,37–0,56 Cu, 0,009–0,016% Co, 0,2 Pt, 1,52 г/т Pd (см. табл. 1). Сульфиды образуют мелкие (не более 2 мм) интерстициальные и более крупные (до 5 мм) овоидные вкрапленники с неправильными ограничениями. Сульфиды составляют 3–4% объема пород. Они представлены в основном парагенезисом пирротин+халькопирит+пентландит. Пирротин (не более 1,8% объема породы или не более 50% объема сульфидов) имеет гексагональную и моноклинную модификации. Моноклинный пирротин (не более 10% обьема моносульфидов железа) развивается в гексагональном пирротине по периферии его выделений и вдоль трещин. Концентрация Ni в пирротине 0,13–0,27%. Распределение его между гексагональным и моноклинным пирротином близко к 1:1 (табл. 2, обр. 4-5/90, 4-6/90). Основная масса пентландита развита в виде порфировидных зерен размером до 1 мм. Соотношение Ni/Fe в пентландите близко к 1:1. Пирротин замещается марказитом и пиритом, а пентландит виоларитом. Наряду с обычными пентландит-халькопирит-пирротиновыми вкрапленниками, в пределах одного шлифа наблюдаются выделения сульфидов, представленные ассоциацией троилит+гексагональный железистый пирротин+кубанит+пентландит.

Содержание платиновых металлов в оруденелых породах нижнего эндоконтакта интрузий составляет 1,7 г/т Σ PGE, при Pt/Pd 0,21 и Σ PGE/S 1,1–1,6. При более низких абсолютных значениях содержаний платиновых металлов по сравнению с кондиционными вкрапленными рудами Талнахского рудного узла их относительные концентрации близки [10].

Шлиры массивных медно-никелевых руд в нижнем эндоконтакте Силурийского массива уплощенно-линзовидной, конусообразной и изометричной форм по размеру достигают 30 см. Из четырех обнаруженных шлиров массивных руд два сложены высокосернистой ассоциацией сульфидов — пирротин+халькопирит+пентландит. В них отмечается значительное колебание содержаний цветных металлов, обусловленное изменением количественных соотношений основных сульфидов (см. табл. 1). Пирротин в таких рудах составляет 45–65 об. %. Образует крупные (0,25–5 до 8 мм) таблицы и зерна с неправильными ограничениями, практически лишенные вростков пентландита. Характерны только мелкие неправильной формы и прожилковидные выделения халькопирита. Пирротин представлен двумя структурными разновидностями — гексагональной и моноклинной. Моноклинный пирротин составляет не более 10% обьема моносульфидов железа, развит вдоль трещин и каемок пентландита в гексагональном пирротине. Концентрация никеля в моноклинном пирротине в 2 и более раз превышает его содержание в гексагональном (см. табл. 2). Пентландит образует порфировидные выделения размером до 2 мм между зернами пирротина. Халькопирит (25–40% объема руды) слагает обособления размером до 5 мм, занимает промежутки между зернами пирротина. Он также образует линзы, неправильной формы выделения в пирротине-1 часто с мелкими (не более 0,05 мм) кристаллами магнетита и тонкие (не более 0,05 мм) прожилки часто с микрозернистым пентландитом, секущие зерна пирротина.

В пирротин-халькопиритовых рудах с содержанием Cu до 13,52% наблюдается кубанит. Он неравномерно в виде пластинок и таблиц до 0,8 мм развит в руде, составляя не более 5% объема сульфидов. Акцессорные минералы в шлирах массивных руд с пирротином — сфалерит, джерфишерит, сплавы золота и серебра. Джерфишерит относится к низкосернистой разновидности (см. табл. 2). Концентрация золота в сплавах золота и серебра достигает 65%. Сульфиды, особенно пирротин, интенсивно замещаются пиритом, марказитом и гидроксидами железа. Пентландит полностью замещен виоларитом. Шлиры с низкосернистой ассоциацией сульфидов сложены кубанитом, железистым гексагональным пирротином, халькопиритом и железистым пентландитом. Кубанит, составляющий ~55% объема руды, представлен в основном зернистой разновидностью, образующей сплошное поле, среди которого наблюдаются выделения пирротина, халькопирита и пентландита. Реже встречается пластинчатый кубанит. Зерна пирротина размером до 0,6 мм имеют гексагональную форму. Концентрация Ni в таких железистых пирротинах не превышает 0,19 мас. % (см. табл. 2). Пентландит образует крупные (до 1,5, редко 4 мм) порфировидные зерна и реже мелкие (первые микрометры) округлые и угловатые зернышки в кубаните. Выделения халькопирита чаще всего обнаруживаются в виде мелких (не более 0,1 мм) угловатых и округлых зерен в кубаните и пирротине. Халькопирит составляет не более 10% объема руды.

Концентрация благородных металлов в шлирах массивных руд значительна (см. табл. 1). Даже в пирротиновых разновидностях платиновые металлы в сумме составляют 20–25 г/т при отношении Pt/Pd 0,21 и Σ PGE/S 0,66–0,75, близкими к таковым в соответствующих рудах Талнахского рудного узла.

В существенно кубанитовых рудах обнаружены собственные минералы платины и палладия — висмутовый мончеит и паоловит в виде мелких (не

2. Состав рудных минералов в интрузивах и контактово-метаморфических породах среднего течения р. Кулюмбе

Вмещающие породы	Номера образцов	Ассоциации сульфидов	Название минерала	Содержание элементов, мас. %					
				Fe	Ni	Co	Cu	S	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Силурийский интрузив									
Δ	4-1/90	Py+Cp+Po1	Pol	12,10	45,48	-	0,11	42,83	100,52
			Py	44,17	0,02	1,94	0,03	53,24	99,40
Го	4-14/90	Cp+Pn	Pn	33,03	32,84	0,36	0,20	33,03	99,46
			Cov	0,60	-	-	66,26	33,69	100,55
			Ch	2,50	-	-	76,60	20,11	99,21
	4-5/90	Po_h+Cp+Pn	Po_h	60,79	0,13	0,05	-	39,71	100,68
			Po_m	59,39	0,27	0,10	0,10	40,11	99,97
			Pn	32,84	32,19	1,59	-	33,18	99,80
			Py	46,75	0,19	0,11	-	53,33	100,38
Гпп	4-6/90	Po_h+Cub+Cp+ +Pn	Cub	41,09	-	0,05	23,50	35,44	100,08
			Po_h	60,87	0,27	0,12	0,04	38,41	99,71
			Pn	31,97	34,35	0,57	0,06	33,63	100,58
Mas	4-12/90	Po_m+Cp+Viol	Po_m	59,02	0,50	0,09	0,02	39,57	99,20
			Po_h	60,66	0,27	-	0,03	39,18	100,14
			Viol	23,62	31,61	0,61	0,08	42,01	97,93
			Dj	38,78	14,88	0,48	1,47	32,60	100,10
					K	10,32	Cl	1,57	
				39,46	14,18	-	1,37	33,12	100,83
					K	10,98	Cl	1,72	
	19-3/90	Cub+Cp+Po_h+ +Pn	Pn	34,98	31,46	1,17	0,03	32,70	100,34
			Po_h	61,34	0,13	0,13	0,53	32,27	94,40
			Viol	35,59	19,72	1,54	-	42,99	99,84
			Py	49,92	0,68	0,12	-	53,53	104,25
			Cub	41,11	-	0,06	23,26	34,88	99,31
Го	УТ-2/5,8	Po	Po_h	60,91	0,18	0,05	-	38,32	99,46
	УТ-2/7,9	Po+Cp+Pn	Po_h	60,75	0,55	-	-	38,37	99,67
			Pn	28,95	35,73	2,33	0,14	32,90	100,05
	УТ-2/15,8	Po	Po_h	61,15	0,08	0,06	-	38,59	99,88
	УТ-4/245,25	Cub+Cp+Pn	Pn	32,66	32,98	0,72	-	32,95	99,31

более 0,1 мм) включений в кубаните.

По основным геохимическим показателям сульфидное медно-никелевое оруденение в Силурийском интрузиве близко к рудам, приуроченным к продуктивным интрузивам Норильска и Талнаха: Ni/Cu=0,15–0,40 до 0,65, Σ PGE/S=0,66–1,15. И только в кровле массива, как указывалось, Ni/Cu=6,3, Pt/Pd=0,13–0,39.

В верхних эндоконтактовых зонах *Верхнеильтыкского интрузива* лейкогаббро и оливинсодержащих габбро-долеритов сульфидная минерализация отмечается спорадически (скв. УТ-3). Сульфиды составляют не более 1 об. % породы. Их мелкие (не более 0.5 мм) интерстициальные вкрапленники состоят из ассоциаций пирротин+пентландит, пирротин+халькопирит, пирит+халькопирит. Пирротин в гексагональной и моноклинной модификациях имеет концентрации Ni 0,10–0,57 мас. %, Co 0,9–0,12 мас. % (см. табл. 2). Тиошпинели и пентландит образуют в пирротине тонкие (1–2 мкм) линзочки, что не позволяет сделать количественный анализ. Пирит слагает метакристаллы, в которых фиксируется примесь никеля.

Основные концентрации цветных и благородных металлов в Верхнеильтыкском массиве приурочены к нижним приподошвенным участкам,

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Верхнеильтыкский (Габбровый) интрузив									
Го	16-3-9	Po+Cp+Pn	Po_h	60,94	0,18	-	-	39,43	100,55
			Pn	31,24	33,08	1,43	0,05	33,97	99,77
Met	16-8-9	Po+Cp+Pn	Po_m	60,53	0,56	-	-	39,22	100,31
			Pn	27,74	37,69	0,52	0,08	32,80	98,83
			Viol	24,95	32,17	0,58	0,21	42,99	100,90
	16-7-9	Cp+Pn	Gers	2,85	30,10	1,76	0,08	19,03	98,65
					As	44,50	Sb	0,33	
				3,83	31,28	0,08	0,02	20,37	99,24
					As	43,63	Sb	0,03	
			Ram	0,81	27,51	0,53	0,09	2,17	100,00
					As	68,29	Sb	0,70	
			Py	45,49	0,40	-	-	53,10	98,99
			Viol	26,85	29,04	0,05	0,79	42,36	99,09
F	УТ-3/196,8	Po+Cp+Zig	Po_m	60,16	0,57	0,09	-	38,85	99,67
			Zig	10,14	20,65	27,90	0,03	42,93	101,65
Гос	УТ-3/205,5	Py+Cp	Py	46,72	0,10	-	-	53,09	99,91
	УТ-3/222	Po+Pn	Po_h	60,72	0,19	0,11	-	38,43	99,45
Го	УТ-3/235,7	Po+Cp+Pn	Po_m	61,07	0,70	0,02	0,02	38,37	100,18
			Pn	25,44	33,30	8,04	0,04	33,44	100,26
			Cp	31,19	-	-	34,27	34,15	99,61
Met	УТ-3/247,5	Pn+Py	Pn	22,79	35,81	9,11	0,09	33,35	101,15
			Py	46,73	0,34	0,14	0,08	53,53	100,82
Гос	УТ-4/310,45	Tr+Cp+Pn	Tr	63,24	-	0,02	-	37,77	101,03
			Pn	30,30	32,89	2,68	-	32,83	98,70
	УТ-4/311,4	Po+Cp+Cub+ +Pn	Po_h	61,72	0,08	0,04	-	37,41	99,25
			Pn	32,57	32,55	0,77	-	33,17	99,06
Гтв	УТ-4/311, 9	Py+Cp +Pn	Pn	26,83	38,21	1,63	0,70	32,85	100,22
			Py	45,66	0,43	0,07	-	53,81	99,97
	УТ-4/312,9	Tr+Po_h+Cp+Pn	Tr	63,75	-	0,03	-	36,62	100,40
			Po_h	61,71	0,24	0,03	-	37,93	99,91
			Pn	29,28	32,07	5,68	-	33,35	100,38
	УТ-4/313,0	Po_h+Cp+Pn	Po_h	60,79	0,06	0,02	0,02	39,51	100,40
			Mak	52,67	1,35	9,34	0,10	36,01	99,47
	УТ-7/80,3	Po_h+Cp+Pn	Po_h	62,40	0,17	0,03	0,13	36,63	99,36
			Pn	31,03	33,09	2,97	-	32,42	99,51

сложенным оливинсодержащими и оливиновыми габбро-долеритами (см. табл. 1). Значимые концентрации цветных и благородных металлов, близкие к таковым в кондиционных вкрапленных рудах, отмечаются в эндоконтактах интрузива, где их мощность не превышает 0,5 м. Как и в рудах Талнахского рудного узла аналогичного состава, содержание в них меди превышает концентрацию никеля в 1,5–3 раза. Отношение Ni/Cu составляет 0,33–0,81. Судя по единичным пробам на платиновые металлы, относительная концентрация платиноидов Σ PGE/S составляет 1,9, что несколько превышает этот показатель в рудах Талнаха.

В участках с максимальными концентрациями цветных металлов (Ni 0,11–0,28 мас. %, Cu 0,28–0,85%) сульфиды составляют до 6 об. % породы. Они слагают как мелкие (не более 2 мм) интерстициальные, так и более крупные (до 1 см) овоидные вкрапленники. Сульфиды представлены ассоциацией пирротин+халькопирит+пентландит. Пирротин составляет 50–70% объема сульфидов. Он слагает выделения размером до 0,6 мм (пирротин-1), реже мелкие <0,15 мм зерна в халькопирите (пирротин-2). Пирротин в основном гексагональный, реже в сростках с троилитом и моноклинным пирротином. Концентрация в нем Ni 0,06–0,24 мас. % (см. табл. 2). Пентландит встречается в основном в порфировидных выделениях размером до 0,5 мм, редко

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нижнеильтыкский интрузив									
Met	УТ-10/412,7	Po+Pn+Cp+Py	Po	60,10	0,35	-	-	39,10	99,55
			Py	46,10	0,12	0,07	-	53,10	99,39
				42,60	3,98	0,06	-	53,50	100,14
	УТ-10/413,6	Cp+Po+Ph+Py	Pn	28,30	35,50	1,20	-	33,30	98,30
			Pol	16,95	40,22	0,10	-	42,43	99,70
			Py	43,90	2,38	0,40	-	53,20	99,88
Гос	УТ-11/247, 4	Po+Cp+Pn	Рок	60,38	0,24	0,14	-	39,22	99,98
Го	УТ-11/315,3	Po+Cp+Pn	Po_h	58,92	0,07	-	-	40,21	99,20
			Pn	31,48	34,59	1,50	-	33,29	100,86
Гтр	УТ-11/318,0		Po_m	59,73	0,76	0,06	-	39,99	100,54
			Pn	28,85	35,36	2,79	-	33,16	100,16
			Nik		42,87	0,65		-	99,36
					As	55,75	Sb	0,09	
Гос	УТ-11/320,4	Po+Cp+Pn	Po_m	59,09	0,91	0,07	-	39,22	99,29
			Pn_I	28,17	35,89	3,47	-	32,94	100,47
			Pn_{II}	29,30	35,74	3,35	-	32,11	100,50
Met	УТ-11/321,4	Po+Cp+Py	Po	58,71	0,22	0,11	-	40,94	99,98
			Py	46,46	0,19	0,09	-	53,55	100,29
	УТ-11/322,3	Po+Cp+Pn	Po_m	59,73	0,86	0,14	-	39,68	100,41
			Pn	30,67	35,11	0,72	-	33,10	99,60
			Py	46,39	0,69	-	-	53,13	100,21
Кулюмбинский интрузив									
Го	Фев. 90	Po+Cp+Pn+ +Cub	Po	61,39	0,18	0,05	-	39,27	100,89
			Pn	31,25	32,88	2,87	0,06	33,16	100,22
			Cub	41,65	-	23,31	-	35,29	100,25

П р и м е ч а н и е. «-» — не обнаружено; Tr — троилит; Po — пирротин; Po_h — пирротин гексагональный; Po_m — пирротин моноклинный; Pn — пентландит; Cp — халькопирит; Cub — кубанит; Py — пирит; Viol — виоларит; Zig — зигенит; Ram — раммельсбергит; Nik — никелин; Mak — маккинавит; Cov — ковеллин; Ch — халькозин; Dj — джерфишерит; Δ — «магматическая брекчия»; габбро-долериты: Гос — оливинсодержащие, Го — оливиновые; Гпп — пикритоподобные, Гтв — такситовидные, Гтр — троктолитовые; F — лейкогаббро; Met — контактово-метаморфические породы; Mas — шлиры массивных руд. Анализы выполнены Т.И.Голованова на рентгеновском микроанализаторе MS-46 «Cameka» в ИГЕМ РАН.

образует пластинки в пирротине. Соотношение концентраций Ni/Fe в нем близко к 1, изредка попадается никелевая разновидность минерала. Концентрация Co в пентландите достигает 6 мас. %. Замещающий этот пентландит маккинавит также содержит значительные концентрации Co. Нужно отметить, что для медно-никелевой минерализации, связанной с интрузивами Кулюмбинского рудного узла, по сравнению с рудами Норильского района характерно повышенное содержание Co как в пентландите, так и в пирротине.

В метаморфических и метасоматических породах нижнего эндо- и экзоконтакта Верхнеильтыкского интрузива концентрация цветных металлов составляет, %: 0,05–0,20 Ni, 0,18–0,78 Cu, 0,005–0,012 Co. Размер неправильных, прожилковидных и изометричных вкрапленников сульфидов до 1,5–2 см. Вкрапленники сложены ассоциацией пирротин+халькопирит+пентландит, обычно при преобладании пирротина. Крупные (до 3 мм) изометричные с неправильными ограничениями зерна пирротина с четко выраженными трещинами отдельности по (0001) содержат редкие мелкие (не более 0,05 мм) линзовидные включения пентландита. По периферии крупнозернистого пирротина встречаются мелкие (0,1–0,3 мм) изометричные и округлые его выделения. В отличие от оливиновых габбро-долеритов в породах эндо- и экзоконтакта интрузива пирротин моноклинный с более значительной концентрацией никеля (см. табл. 2). Пор-

фировидные выделения пентландита размером до 0,7 мм по составу отвечают сульфидным парагенезисам с моноклинным пирротином. В участках с существенно халькопиритовой минерализцией обнаружены сульфоарсениды и арсениды никеля — кристаллы герсдорфита (не более 0,2 мм) с включениями (<0,02 мм) неправильной формы выделений никелина, раммельсбергита, виоларитизированного пентландита и пирротина. Сульфиды в значительной степени замещены вторичными рудными минералами — пирротин пиритом, а пентландит виоларитом.

В *Нижнеильтыкском интрузиве* концентрации цветных и благородных металлов даже в приподошвенных частях массива невелики: 0,012–0,063 Ni, 0,021–0,171 Cu, не более 0,005% Co, не более 0,2 Pt, 0,21–0,31 Pd, не более 0,02 г/т Rh (см. табл. 1). Отношение Ni/Cu составляет 0,24–0,54, а суммы концентраций платиновых металлов к сере — 0,62–0,80.

Сульфиды в интерстициальных вкрапленниках до 2 мм, реже овоидных выделениях до 1–2 см составляют не более 3 об. % пород и представлены ассоциацией пирротин+халькопирит+пентландит. Пирротин (55–80% объема всех сульфидов) представлен моноклинной модификацией, на удалении от подошвы массива — гексагональной. Концентрация в нем Ni 0,07–0,94 мас. % (см. табл. 2). С моноклинным пирротином ассоциирует более никелистый пентландит, в сростках с гексагональным пирротином концентрация никеля в пентландите падает, а кобальта возрастает. Пентландит образует порфировидные выделения, реже каймы вокруг зерен пирротина, еще реже пламевидные зерна в пирротине. Выделения халькопирита (5–10% объема сульфидов) приурочены к контактам сульфидных вкрапленников с силикатами.

Несмотря на низкие концентрации платиновых металлов, в полированных шлифах найдены выделения висмутотеллуридов палладия — меренскиита и майчнерита, арсенида палладия и никеля состава $(Pd, Ni)_2As$.

В заключение отметим следующее.

Дифференцированные интрузии в пределах Кулюмбинского рудного поля подразделяются на два комплекса — норильский и курейский. К норильскому комплексу условно относятся Силурийский и Верхнеильтыкский интрузивы. Силурийский интрузив имеет признаки полной дифференциации, отличается повышенной магнезиальностью, высокой относительно мощности степенью рудонасыщенности, окружен высокотемпературным контактово-метаморфическим и метасоматическим ореолом. Он может рассматриваться как апофиза невскрытого рудоносного массива норильского комплекса, расположенного, вероятно, в области пересечения Хантайского (Яло-Галельского) и Ямбукано-Хантайского глубинных разломов. Верхнеильтыкский интрузив, напротив, отличается пониженной магнезиальностью, железистостью и кремнекислотностью при повышенном содержании глинозема и щелочей. По внутреннему строению, вещественному составу, характеру скрытой расслоенности и оруденения он является аналогом интрузий лейкократового габбро круглогорского типа Норильского района. Небольшой объем собственно лейкогаббро в составе интрузии, меньшая степень кристалличности пород и их автометаморфизма по сравнению с типоморфными интрузивами могут свидетельствовать о значительном (5–10 км) удалении обнажений и вскрытых бурением участков интрузива от предполагаемого по гравиметрическим данным рудоносного плутона и рудоконтролирующего Хантайского разлома.

Нарастание степени метаморфизма и метасоматоза в контактовом ореоле Верхнеильтыкской интрузии по ее падению вплоть до образования высокотемпературных минеральных ассоциаций спуррит-мервинитовой фации и мелилит-монтичеллитовой субфации в контактовых мраморах, а также увеличение масштабов развития магнезиальных скарнов с форстеритом, монтичеллитом и шпинелью могут указывать на приближение к продуцирующему процессы высокотемпературного метаморфизма плутону, выделяемому по гравиметрическим данным.

Нижнеильтыкский интрузив, наряду с Кулюмбинским и Галельским, относится к кулюмбинскому типу курейского комплекса. В отличие от типоморфных интрузий собственно курейского типа на р. Курейка и джалтульского типа в междуречьи Горбиячин–Джалтул кулюмбинский тип обладает невысокими средневзвешенной магнезиальностью и степенью рудоносности. Он сопоставляется с маломагнезиальными и слаборудоносными разновидностями интрузий моронговского комплекса, развитыми в Норильском районе по периферии рудных узлов и вдоль зон глубинных разломов.

Интрузивы среднего течения р. Кулюмбе несут платино-медно-никелевую минерализацию, геохимические характеристики которой подобны рудам Норильского района. При этом концентрации цветных и благородных металлов на отдельных участках интрузивов и во вмещающих породах близки к содержаниям их во вкрапленных рудах, а в шлирах сульфидов эндоконтакта Силурийского массива — к содержаниям в сплошных рудах норильских месторождений. В локальных участках верхнего

эндоконтакта интрузивов происходит обогащение металлами платиновой группы, как и в полнодифференцированных массивах норильского типа. Геохимической особенностью медно-никелевой минерализации интрузивов в бассейне р. Кулюмбе является относительно повышенная концентрация кобальта. Минералогически она выражается в значительном содержании этого металла в пирротине и особенно в пентландите. Среди собственных минералов платиновых металлов в массивах Кулюмбинского рудного поля установлены висмутовый мончеит, меренскиит, майчнерит, паоловит и арсениды палладия и никеля.

Благоприятная тектоническая обстановка Кулюмбинского рудного поля, наличие апофиз дифференцированных интрузивов условно норильского комплекса с богатым шлировым оруденением и высокотемпературным околоинтрузивным метаморфизмом и метасоматозом позволяют рекомендовать продолжение поисковых работ в этом районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виленский А.М., Кавардин Г.И., Кравцова Л.И., Старицына Г.Н.* Петрология трапповых интрузий правобережья нижнего течения Енисея. – М.: Наука, 1964.

2. *Геология* и рудоносность Норильского района / О.А.Дюжиков, В.В.Дистлер, Б.М.Струнин и др. – М.: Наука, 1988.

3. *Классификация* и номенклатура магматических горных пород: Справочное пособие / О.А.Богатиков, В.И.Гоньшакова, С.В.Ефремова и др. – М.: Недра, 1981.

4. *Лурье М.Л., Масайтис В.Л., Полунина Л.А.* Интрузивные траппы западной окраины Сибирской платформы // Петрография Восточной Сибири. М., 1962. Т. 1. С. 5–70.

5. *Малич Н.С.* Тектоническое развитие чехла Сибирской платформы. – М.: Недра, 1975.

6. *Малосульфидное* платиновое оруденение в норильских дифференцированных интрузивах / С.Ф.Служеникин, В.В.Дистлер, О.А.Дюжиков и др. // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36. № 3. С. 195–217.

7. *Маслов Г.Д.* Тектоника Игарско-Норильского района и рудоконтролирующие структуры // Тектоника Сибири. Новосибирск, 1963. Т. 2. С. 336–350.

8. *Особенности* петрологии и оруденения дифференцированных интрузий Норильского рудного узла (месторождения Норильск-1, Норильск-2, г. Черной) / М.К.Иванов, Т.К.Иванова, А.В.Тарасов и др. // Петрология и рудоносность Талнахских и Норильских дифференцированных интрузий. Л., 1971. С. 197–305.

9. *Петрология* сульфидного магматического рудообразования / В.В.Дистлер, Т.Л.Гроховская, Т.Л.Евстигнеева и др. – М.: Наука, 1988.

10. *Служеникин С.Ф.* Платино-медно-никелевые и платиновые руды Норильского района и их рудная минерализация // Российский химический журнал. 2010. LIV. № 2. С. 38–49.

11. *Старицына Г.Н.* О формировании Верхне-Ороктинской интрузии (северо-запад Сибирской платформы) // Геология и петрология интрузивных траппов Сибирской платформы. М., 1966. С. 156–170.

12. *Струнин Б.М., Дюжиков О.А., Бармина О.А., Комаров В.В.* Геологическая карта Норильского рудного района масштаба 1:200 000. – М.: АО «Геоинформмарк», 1994.

13. *Туровцев Д.М.* Контактовый метаморфизм норильских интрузий. – М.: Научный мир, 2002.

14. *Туровцев Д.М., Служеникин С.Ф., Михайлов С.К.* Высокотемпературный контактовый метаморфизм карбонатных пород в ореолах норильских гипербазит-базитовых интрузий // Руды и металлы. 2002. № 5. С. 57–65.

УДК 553.491:553.068.3 © А.Г.Мочалов, А.Н.Перцев, 2012

МИНЕРАЛЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В СРАСТАНИЯХ С ПИРОКСЕНОМ ГАББРО-ПИРОКСЕНИТ-ДУНИТОВЫХ ПЛУТОНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КОРЯКСКОГО НАГОРЬЯ, РОССИЯ

А.Г.МОЧАЛОВ (ИГГД РАН), А.Н.ПЕРЦЕВ (ИГЕМ РАН)

Охарактеризованы минералы платиновой группы из агрегатов с диопсидом габбро-пироксенит-дунитовых плутонических комплексов южной части Корякского нагорья. В диопсидах методом SIMS изучены редкие элементы. Минералы платиновой группы возникают практически на каждой стадии кристаллизационной эволюции пикритовых расплавов от образования дунитов до габбро. Большая часть агрегатов минералов платиновой группы с диопсидом представляет новый осмисто-платиновый минералого-геохимический тип. Минералы этого типа образовались в пироксенитах на контактах с дунитами магматогенно-флюидно-метасоматическим путем.

Ключевые слова: минералы платиновой группы, диопсид, габбро-пироксенит-дунитовые плутонические комплексы, осмисто-платиновый минералого-геохимический тип.

Мочалов Александр Геннадиевич, mag1950@mail.ru, *Перцев Алексей Николаевич,* alexei_n@igem.ru.

PLATINUM-GROUP MINERALS IN INTERGROWTHS WITH PYROXENE FROM GABBRO-PYROXENITE-DUNITE PLUTONIC COMPLEXES OF THE KORYAK UPLAND, RUSSIA

A.G.Mochalov, A.N.Pertsev

Platinum-group minerals are characterized in intergrowths with pyroxene from gabbro-pyroxenite-dunite plutonic complexes of the southern Koryak upland. Trace elements in diopsides were analized by SIMS. The formation of platinum-group minerals occurs practically through all stages of crystallization evolution of picritic melts from dunite to gabbro generation. Most aggregates of platinum-group minerals with diopside represent a new Os-Pt mineralogical-geochemical type. The minerals of this type are formed by igneous-related fluid-metasomatic mechanism in pyroxenites at the contact with dunites.

Key words: platinum-group minerals, diopside, gabbro-pyroxenite-dunite plutonic complexes, osmium-platinum mineralogical-geochemical type.

В работах [2, 3, 6, 13] приведена детальная характеристика минералов платиновой группы (МПГ) всех россыпных крупных, средних и мелких месторождений и промежуточных коллекторов, распространенных в районе габбро-пироксенит-дунитовых массивов Гальмоэнан и Сейнав южной части Корякского нагорья. Вариации фазового и химического составов МПГ и минералов-включений «шлиховой платины» россыпей позволяют разделить ее на иридисто-платиновый (Pt>Ir) (главный промышленный) и платиновый (Pt) (второстепенный промышленный) минералого-геохимические типы. Детально охарактеризованы коренные источники россыпеобразующей минерализации Pt>Ir-типа — крупнопорфирокластические дуниты с реликтами полигональных крупнозернистых до пегматоидных разностей с обильным распространением микронных выделений хромшпинелида и хроммагнетита в оливине («черные» дуниты). Обоснован генезис МПГ Pt>Ir-типа, связанный с неоднократной синмагматической рекристаллизацией первично-магматических дунитов и флюидным перераспределением в этом процессе элементов платиновой группы (ЭПГ) в крупные минеральные (россыпеобразующие) агрегаты. Минерализация Pt>Ir- и Pt-типов может осложняться гидротермально-метасоматической ассоциацией МПГ, связанной с процессом серпентинизации ультраосновных пород. Этот процесс направлен на уничтожение (растворение) ранних ассоциаций МПГ и образование на их месте интерметаллидов и твердых растворов Cu и Pt.

В работе [14] приводится характеристика МПГ пород одного из главных коренных источников россыпей — габбро-пироксенит-дунитовых массивов Гальмоэнан и Сейнав. Здесь МПГ находятся в двух ключевых минеральных ассоциациях: I — рассеянной с МПГ Pt-типа, распространенной в кумулятивных сериях мелкозернистых дунитов, пироксенитов, габбро и в крупнозернистых и пегматоидных разностях «черных» дунитов; II — рудной с МПГ Pt>Ir-типа в рекристаллизованных крупно- и среднезернистых дунитах и прожилково-вкрапленных, шлировых и жильных проявлениях хромититов. Было сделано заключение [2, 7, 8, 10, 13], что МПГ Pt-типа вместе с сульфидами Fe и Ni, содержащими элементы платиновой группы, являются главным источником минералов рудообразующего (россыпеобразующего) Pt>Ir-типа.

При исследовании «шлиховой платины» россыпей выявлены нередкие агрегаты срастания клинопироксена с МПГ (Cpx+МПГ) (рис. 1). Если учесть,

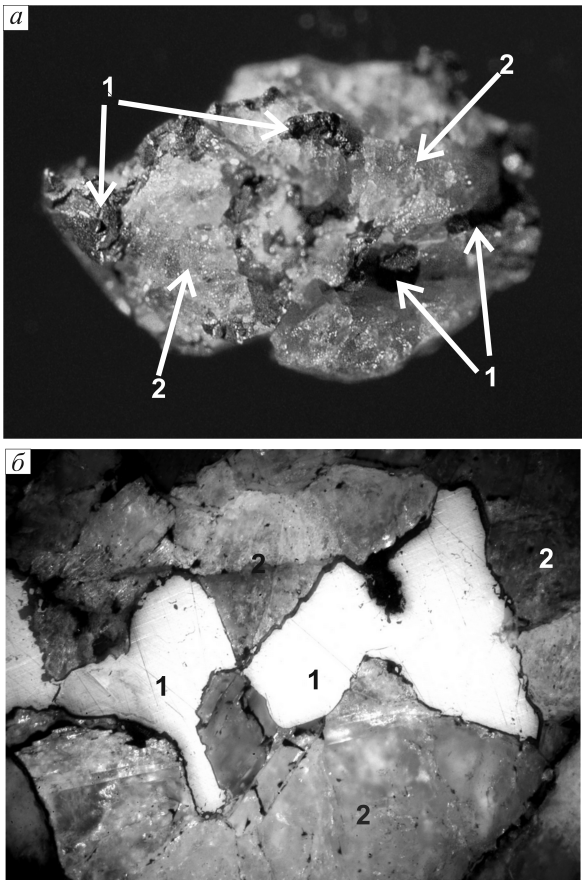


Рис. 1. Агрегаты срастания МПГ с клинопироксеном (*а*), изображение в полированном разрезе (*б*), ув. 20:

1 — МПГ, 2 — клинопироксен

что клинопироксениты широко распространены в ультрамафитах и габброидах габбро-пироксенит-дунитовой ассоциации, то эти ранее не изученные агрегаты Cpx+МПГ, несомненно, представляют интерес для идентификации их коренного источника, поскольку состав клинопироксена по главным и редким элементам ранее описан в разрезах массива Гальмоэнан [15, 19]. Коллекция сростков Cpx+МПГ, собранная в россыпных месторождениях, дает возможность связать определенный тип Pt-минерализации с определенными петрогенетическими этапами формирования ультрамафит-габбровой ассоциации массива Гальмоэнан. Получение подобной коллекции из коренных источников практически невозможно, так как потребовало бы переработки многотонных масс пород.

Представляется, что сопоставление ранее изученных минералого-геохимических парагенезисов ЭПГ дунитов с таковыми из оливин-клинопироксеновых и габброидных кумулятов позволит в дальнейшем моделировать целостную картину развития платинового рудообразования южнокорякских островодужных плутонов дунит-клинопироксенит-габбровой ассоциации.

Для решения поставленной задачи изучены 110 агрегатов Cpx+МПГ из случайной выборки многочисленных сростков (см. рис. 1). Химические анализы МПГ и пироксенов выполнены Н.Н.Кононковой на электронном микрозонде Camebax Microbem в ГЕОХИ РАН при условии съемки, описанной в работах [2, 13]. Из проанализированных клинопироксенов (148 анализов) отобраны 11 агрегатов Cpx+МПГ для анализа на редкие элементы методом вторично-ионной масс-спектроскопии (SIMS). Образцы отбирались по всему спектру магнезиальности клинопироксенов — Mg#=100%·Mg/(Mg+Fe) и содержанию TiO_2 и Al_2O_3. Анализ клинопироксена на элементы ^{30}Si, ^{88}Sr, ^{90}Zr, ^{140}Ce, ^{149}Sm, ^{167}Er, ^{174}Yb, ^{163}Dy, ^{153}Eu, ^{146}Nb, ^{139}La, ^{89}Y и ^{47}Ti проведен С.Г.Симакиным и Е.В.Потаповым методом SIMS в ИМИ РАН (г. Ярославль) по отработанной методике на приборе CAMECA IMS 4f [16].

В ряде работ [1, 4, 19 и др.] обоснована принадлежность южнокорякских островодужных плутонов к дунит-клинопироксенит-габбровой ассоциации, к которой относятся массивы Юго-Восточной Аляски [18, 20, 21, 24 и др.] и других палеоостроводужных образований тихоокеанских складчатых зон [22, 25 и др.]. Описано их строение: дунитовое тело надстраивается верлит-клинопироксенитовой, а затем габброидной оболочкой (рис. 2, *б*). Формирование дунитовых тел объясняется многократными поступлениями недифференцированной магмы в камеру и кристаллизацией хромшпинель-оливинового кумулята с периодическим удалением остаточного расплава. Из остаточного расплава последовательно формировались оливин-клинопироксеновые кумуляты и габброиды. Дуниты массива обнаруживают закономерную зональность деформационных структур, обусловленную синмагматической рекристаллизацией, длительной тектонической транспортировкой и остыванием. Обосновано предположение о том, что породы массивов комагматичны пикрит-базальтовым потокам позднемеловой – палеоценовой Ачайваямской островной дуги [1, 15, 19].

Из южнокорякских островодужных плутонов к дунит-клинопироксенит-габбровой ассоциации относится наиболее хорошо изученный массив Гальмоэнан [1, 3, 13, 19]. Он имеет следующую общую зональность: сильно деформированные дуниты→локально деформированные верлиты и пироксениты→недеформированные пироксенит-габбровые и габбровые тела с закаленными внешними

контактами (см. рис. 2, *б*). Зональность массива в целом коррелируется со снижением магнезиальности оливина и клинопироксена, уменьшением хромистости и возрастанием содержания Fe^{3+} в минералах группы шпинели [19, табл. 1]. Осложняют зональную структуру массива оливинитовые жилы в пироксенитах, а также габбро-норитовые дайки, интрудирующие все структурные подразделения массива с закаленными контактами. Первично-кумулятивные дуниты претерпели несколько стадий твердопластических деформаций во время кристаллизации более поздних дунитов и пироксенитов. Кристаллизация поздних недеформированных пироксенит-габбровых и габбровых интрузий соответствовала прекращению твердопластических деформаций в плутоническом ультрамафитовом теле. Закономерная последовательность кристаллизации, вероятно, могла локально нарушаться внедрениями новых мелких порций магм, в том числе слабодифференцированных.

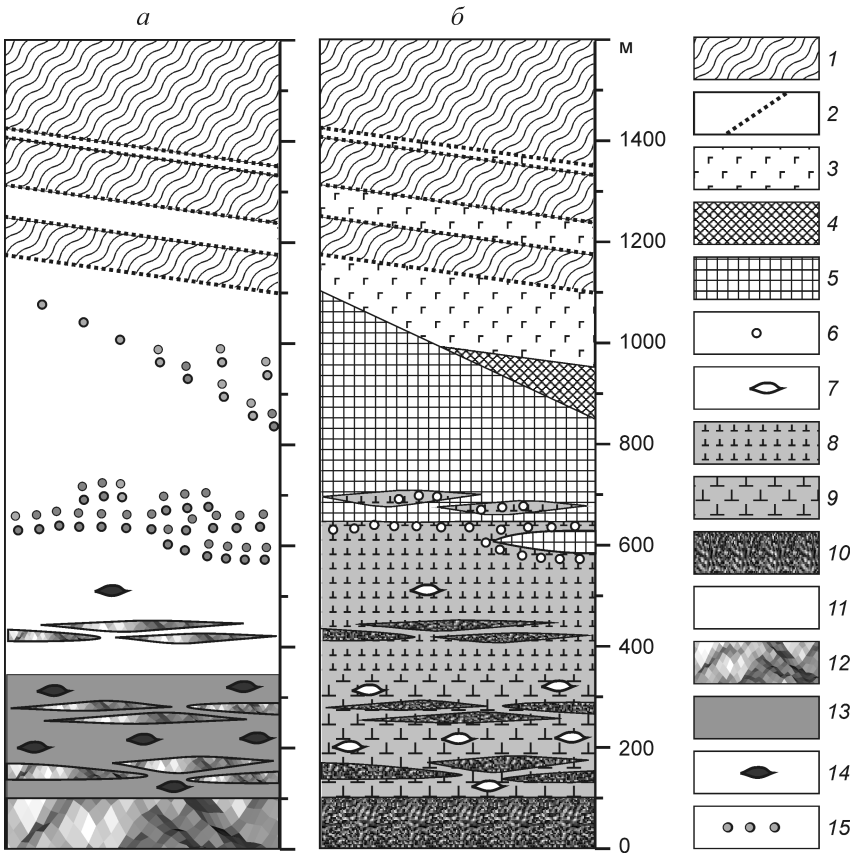


Рис. 2. Обобщенные схемы распространения россыпеобразующих типов МПГ (*а*) и габбро-пироксенит-дунитовой зональности (*б*) массива Гальмоэнан:

1 — вулканогенно-кремнистые отложения ватынской свиты; *2* — зоны закалки (микронориты, кварцевые и пироксен-кварцевые роговики); *3* — габброиды; *4* — оливиновые клинопироксениты, имеющие постепенные переходы к оливиновым габброидам; *5* — верлиты, оливиновые клинопироксениты; *6* — рассеянный диопсид; *7* — хромититовые выделения; *8* — дуниты мелкопорфирокластические; *9* — дуниты крупнопорфирокластические; *10* — дуниты полигональные крупнозернистые и пегматоидные с обильным распространением микронных выделений хромшпинелида и хроммагнетита в оливине («черные» дуниты); зоны распространения россыпеобразующих формаций МПГ: *11* — магматогенного Pt-типа, *12* — магматогенно-флюидно-метасоматического Pt-типа, *13* — крупнопорфирокластических дунитов флюидно-метаморфогенного Pt>Ir-типа, *14* — хромититов того же типа; *15* — магматогенно-флюидно-метасоматического Pt>Os-типа

В детально описанном разрезе массива Гальмоэнан [13, рис. 1, 8, 9, 19] пироксен встречен в виде микроскопических включений в оливине среди крупнопорфирокластических, полигональных крупнозернистых и пегматоидных «черных» дунитов (см. рис. 2, *б*). В зоне дунитов с эквигранулярными и порфирокластическими деформационными структурами, а также дискордантными хромшпинелидовыми шлирами с россыпеобразующими интерметаллидами платины и железа Pt>Ir-типа (см. рис. 2, *а*, *б*) пироксен практически не встречается. В части разреза, сложенной преимущественно мелкопорфирокластическими дунитами (см. рис. 2, *б*), он образует неравномерно распределенные интерстиционные индивиды и агрегаты, а также прожилки. Важной особенностью этой части дунитового разреза является наличие нескольких генераций диопсидовых жил — деформированных мономинеральных и недеформированных оливин-диопсидовых [19, табл. 1, рис. 3]. В непосредственной близости от контакта с пироксенитовым горизонтом (от первых до первых десятков метров) в дунитах неравномерно проявлена вкрапленность интерстиционного диопсида, а также отмечаются жилы оливиновых клинопироксенитов мощностью до 2–3 м (см. рис. 2, *б*). Вблизи контакта с пироксенитовым горизонтом местами наблюдает-

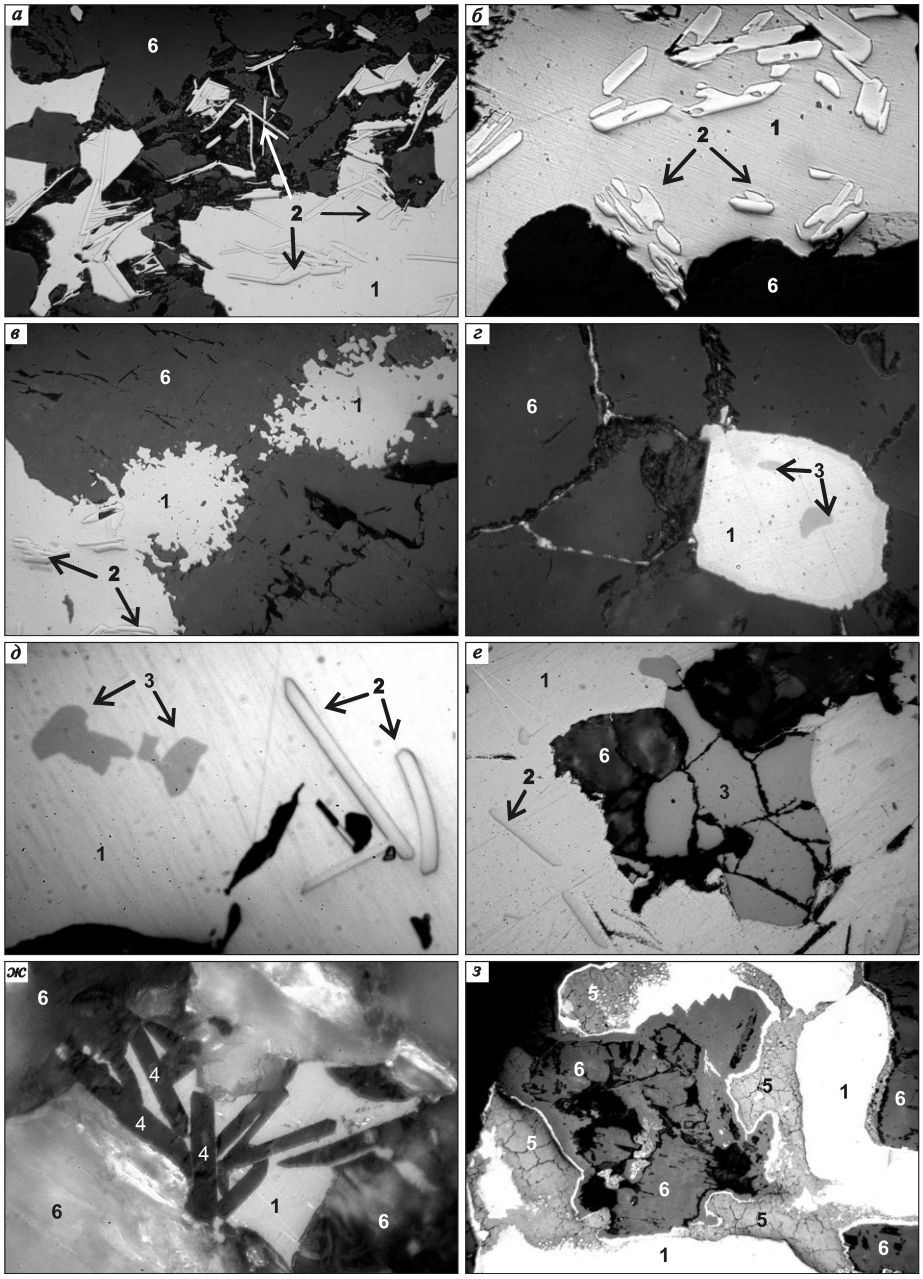


Рис. 3. Полированные шлифы агрегатов Срх + МПГ:

ув.: *а* — 25, *б* — 100, *в*, *г*, *ж*, *з* — 75, *д*, *е* — 250; 1 — изоферроплатина; 2 — самородный осмий; 3 — сульфиды Rh; 4 — оксиды Ru, Os и Fe; 5 — оксиды Pt и Fe; 6 — диопсид

ся твердопластическое перемешивание двух контрастных по составу пород в виде линзовидного переслаивания дунитов (часто с интерстиционным диопсидом) и оливиновых клинопироксенитов. При этом размеры линз варьируют от первых сантиметров до первых десятков метров. С удалением от дунитов верлиты сменяются сплошным полем оливиновых клинопироксенитов (см. рис. 2, *б*), среди которых присутствуют разности с магматическими кумулятивными структурами. Такие магматические дифференциаты, как магнетитовые оливиновые клинопироксениты, оливиновые габбро и горнблендиты, образуют в результате кристаллизации в мелких камерах отдельные тела, располагающиеся по периферии массива. Мелкие субвулканические тела оливиновых габбро, габбро-монцонитов и микрогаббронноритов неравномерно проявлены в самых наружных зонах массива и имеют активные контакты с вмещающими толщами ватынской серии ($K_2al–cm$).

Зерна Срх+МПГ размером от 0,5 до 5 мм могут образовывать мелко-, средне- и крупнозернистые агрегаты (см. рис. 1). Минералы платиновой группы и клинопироксен в основном находятся в гипидиоморфнозернистых срастаниях. В полированных шлифах встречаются кубические индивиды МПГ, но чаще их форма ксеноморфная относительно пироксена. Редко МПГ образуют дендритоподобные выделения или тонкие прожилки в межзерновом пространстве диопсидов (рис. 3).

Среди МПГ в срастаниях с диопсидом выявлено 16 минеральных видов (табл. 1). Главный минерал — изоферроплатина (табл. 2) и ее криптоагрегаты [12], с одной стороны, с самородной платиной, с другой — тетраферроплатиной. Остальные МПГ

1.Минералы платиновой группы из агрегатов с клинопироксеном (1), коренных пород массива Гальмоэнан (2, 3) и россыпного месторождения иридисто-платинового минералого-геохимического типа, руч. Ледяной (4)

Минералы платиновой группы	1	2	3	4
Самородная платина (Pt,Fe,Rh,Pd)	ААИ	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Изоферроплатина (Pt, Rh,Pd)$_3$Fe	АААИ	ИИИА	То же	АИ
Изоферроплатина (Pt,Ir)$_3$Fe	Не обн.	АИ	АААИИ	АААИИ
Тетраферроплатина PtFe	А	ААИ	ААИ	ААВ
Туламинит Pt$_2$FeCu	А	Не обн.	ААИ	ААВ
Хонгшит PtCu	Не обн.	То же	А	А
Самородная медь с платиной (Cu,Pt)	А	А	А	А
Самородный осмий (Os)	ВВА	ВИ	Не обн.	В
Самородный осмий (Os,Ir)	Не обн.	Не обн.	В	В
Самородный иридий (Ir,Os,Pt)	То же	То же	В	В
Гексаферрум (Fe,Ru,Os,Ir)	«	В	Не обн.	Не обн.
Фаза-1 Rh$_3$Fe	А	В	То же	То же
Куперит PtS	АВ	Не обн.	АВ	«
Сперрилит PtAs$_2$	Не обн.	ИИА	ИИА	В
Платарсит Pt(As,S)$_2$	То же	Не обн.	Не обн.	В
Эрликманит OsS$_2$	«	«	В	В
Лаурит RuS$_2$	В	«	В	В
Кашинит (Ir,Rh)S$_2$	Не обн.	«	Не обн.	В
Купроиридсит CuIr$_2$S$_4$	То же	«	То же	В
Ирарсит IrAsS	«	«	В	В
Прассоит (Rh,Pt)$_{17}$S1$_5$	«	«	Не обн.	В
Фаза-2 (Rh,Pt)$_6$S$_5$	В	«	То же	Не обн.
Фаза-3 (Rh,Pt)S	В	«	«	То же
Фаза-4 (Rh,Pt)$_4$S$_5$	В	«	«	«
Фаза-5 (Rh,Pt)$_3$S$_4$	В	«	«	«
Купрородсит CuRh$_2$S$_4$	Не обн.	«	«	В
Холлингвортит RhAsS	То же	В	В	В
Соболевскит PdBi	«	Не обн.	В	Не обн.
Фаза-6 — оксиды Pt и Fe	А	То же	Не обн.	А
Фаза-7 — оксиды Ir, Os, Ru и Fe	А	«	То же	В
Фаза-8 — оксиды Ru, Os и Fe	В	«	«	Не обн.
Фаза-9 — оксиды Rh, Pt и Fe	В	«	«	То же

Примечание. 2 — из мелкозернистых дунитов, пироксенитов и габбро, 3 — из хромититов и рекристаллизованных средне- и крупнопорфирокластических дунитов с реликтами полигональных крупнозернистых и пегматоидных разностей. И — кристаллы, мономинеральные агрегаты, А — полиминеральные агрегаты, В — микровключения в кристаллах и агрегатах. Распространенность минералов, мас. %: ИИИ, ААА — от 10 до 100, ИИ, АА — от 1 до 10, И, А, В — до 1.

образуют с изоферроплатиной срастания — тетраферроплатину, туламинит, Pt-содержащую самородную медь и неизвестные оксиды Pt и Fe, Rh, Pt и Fe (см. табл. 2, рис. 3, *з*). В виде включений обнаружены самородный осмий, куперит, лаурит (см. табл. 2), ряд новых фаз родия (табл. 3; см. рис. 3, *г–е*) — Rh$_3$Fe, (Rh,Pt)$_6$S$_5$, (Rh,Pt)S, (Rh,Pt)$_4$S$_5$, (Rh,Pt)$_3$S$_4$ и неизвестные оксиды Ru, Os, Fe (см. табл. 2, рис. 3, *ж*).

Агрегаты Cpx+МПГ (42%) насыщены выделениями самородного осмия (~10 мас. %), в 48% зерен его содержание от единичных кристаллов до 1 мас. % (см. рис. 3). В целом содержание самородного осмия составляет >4,5 мас. % (табл. 4). Такого количества самородного осмия нет ни в Pt>Ir-типе, ни в Pt-типе [2, 6, 13, 14]. Содержание сульфидного родия составляет ~0,2 мас. %, а на долю всех сульфидов приходится ~0,6 мас. % (см. табл. 4). Неизвестные оксиды ЭПГ (см. табл. 1, 2) также широко распространены по сравнению с другими минералого-геохимическими типами.

Химический состав изоферроплатины в агрегатах Cpx+МПГ (рис. 4; см. табл. 2) аналогичен таковому из Pt-типа (табл. 5; см. табл. 4). От изоферроплатины Pt>Ir-типа она отличается пониженными содержаниями Ir, Fe, Ni и повышенными — Pd, Rh,

2. Состав минералов платиновой группы из сростков с клинопироксеном, мас. %

n	Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	Fe	Cu	Ni	Co	S	As	Сумма
Криптоагрегаты самородной платины и изоферроплатины													
X (21)	90,44	0,40	0,59	0,06	1,38	1,23	4,16	1,09	0,05	0,03	Не обн.	Не обн.	99,42
S	2,12	0,19	0,36	0,04	0,27	0,60	0,40	1,72	0,03	0,02			
Изоферроплатина													
X (81)	88,94	0,33	0,30	0,04	1,06	0,92	6,95	0,87	0,05	0,03	То же	То же	99,48
S	1,01	0,23	0,26	0,06	0,18	0,41	1,11	0,33	0,03	0,02			
Криптоагрегаты изоферроплатины и тетраферроплатины													
X (6)	79,75	0,28	0,29	0,08	0,55	1,19	13,22	2,74	0,07	0,16	"	"	98,32
S	1,78	0,19	0,26	0,03	0,40	0,64	2,24	1,41	0,03	0,15			
Тетраферроплатина													
X (5)	75,81	0,24	0,45	0,01	0,61	1,11	19,84	0,85	0,08	0,09	"	"	99,09
S	1,38	0,21	0,16	0,01	0,26	0,95	0,97	0,44	0,07	0,08			
Туламинит													
X (3)	72,54	0,24	2,61	0,00	0,56	0,71	10,58	11,31	0,22	0,03	"	"	98,79
S	0,71	0,13	0,58	0,00	0,19	0,32	0,69	0,62	0,21	0,01			
Самородный осмий													
X (79)	2,28	1,71	94,99	0,40	0,37	0,10	0,06	0,06	0,02	0,02	"	"	100,02
S	0,65	1,83	1,90	0,17	0,16	0,09	0,05	0,04	0,02	0,03			
Куперит													
X (6)	82,96	0,12	0,24	0,03	0,41	1,69	0,11	0,05	0,01	0,03	13,71	0,16	99,51
S	1,36	0,12	0,31	0,04	0,05	0,76	0,05	0,02	0,02	0,02	1,23	0,04	
Лаурит													
X (13)	2,32	0,91	22,94	38,30	2,69	0,07	0,22	0,05	0,03	0,01	31,90	Не обн.	99,43
S	0,95	0,58	9,81	8,55	0,96	0,18	0,17	0,04	0,03	0,02	2,22		
Фаза-6 — оксиды Pt и Fe													
X (5)	76,98	0,14	0,18	0,03	0,28	2,06	10,55	1,68	0,04	0,07	0,24	0,24	75,09
S	7,47	0,07	0,10	0,04	0,14	2,34	7,71	0,57	0,04	0,05	0,29	0,13	
Фаза-7 — оксиды Ru, Os и Fe													
X (4)	1,87	0,36	16,18	46,92	1,98	Не обн.	17,39	0,17	0,03	0,09	0,30	Не обн.	85,27
S	0,73	0,12	2,04	3,43	0,59		3,58	0,10	0,02	0,07	0,24		
Фаза-9 — оксиды Rh, Pt и Fe													
X (4)	12,11	3,61	0,35	0,08	52,12	0,64	21,14	2,84	0,01	0,07	0,16	0,23	93,36
S	1,91	3,59	0,23	0,08	3,01	0,20	4,29	2,27	0,02	0,07	0,04	0,16	

Примечание. Здесь и в табл. 3–6: *X* — среднее значение, в скобках — число анализов, *S* — стандартное отклонение.

Cu (см. табл. 4, 5, рис. 4). Химический состав самородного осмия в агрегатах Cpx+МПГ (см. табл. 2) характеризуется весьма низкими содержаниями Ir в отличие от такового из Pt>Ir-типа (1,71±1,83 против 11,7±8,47 ат. %).

Таким образом, более половины агрегатов Cpx+МПГ можно отнести к оригинальному минералого-геохимическому типу — осмисто-платиновому (Pt>Os) [9]. Главный минерал этого типа — изоферроплатина — по всем параметрам аналогична таковой из магматогенного Pt-типа. В то же время, она насыщена самородным осмием, который в Pt-типе из пироксенитов массивов Гальмоэнан и Сейнав [14] не имеет широкого распространения.

Клинопироксены агрегатов Cpx+МПГ в целом представлены диопсидом с небольшой эгирин-авгитовой составляющей и содержаниями, мас. %: Na_2O 0,21±0,04, MnO 0,13±0,11, Cr_2O_3 0,28±0,12, Al_2O_3 1,45±0,33, TiO_2 0,16±0,05. По составу (табл. 6, рис. 5) они аналогичны кумулятивным клинопироксенам пород, прежде всего оливиновых клинопироксенитов и верлитов (см. рис. 5, *а*, II) и магнетитсодержащих оливиновых пироксенитов (см.

3. Состав самородной меди новых минеральных фаз минералов платиновой группы из сростков с клинопироксеном

Расчет	Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	Fe	Cu	Ni	Co	S	As	Сумма
Самородная медь с платиной — (Cu,Pt,Fe) (*n*=2)													
Мас. %	61,82	0,66	1,48	0,10	1,66	0,81		28,80	0,06	0,03	Не обн.	Не обн.	101,18
Ат. %	34,79	0,37	0,85	0,10	1,77	0,83	11,37	49,75	0,10	0,06	То же	То же	100,00
$K_{форм.}$	0,35	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,11	0,50	0,00	0,00	"	"	1,00
Самородная медь с платиной — (Cu,Pt) (*n*=2)													
Мас. %	45,94	0,01	0,60	0,01	0,12	0,26	0,32	52,43	0,04	0,01	"	"	99,73
Ат. %	21,92	0,00	0,29	0,00	0,10	0,23	0,54	76,83	0,06	0,02	"	"	100,00
$K_{форм.}$	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,77	0,00	0,00	"	"	1,00
Фаза-1 — Rh_3Fe (*n*=2)													
Мас. %	13,25	2,86	0,07	0,00	65,71	0,68	14,53	0,72	0,04	0,05	"	"	97,89
Ат. %	6,79	1,48	0,03	0,00	63,80	0,64	26,00	1,12	0,06	0,08	"	"	100,00
$K_{форм.}$	0,27	0,06	0,00	0,00	2,55	0,03	1,04	0,04	0,00	0,00	"	"	4,00
Фаза-2 — $(Rh,Pt)_6S_5$ (*n*=4)													
Мас. %	14,82	1,07	0,97	0,29	61,57	1,05	0,68	0,34	0,07	0,03	19,16	0,13	100,20
Ат. %	5,77	0,42	0,39	0,22	45,45	0,75	0,92	0,41	0,10	0,04	45,39	0,13	100,00
$K_{форм.}$	0,63	0,05	0,04	0,02	5,00	0,08	0,10	0,04	0,01	0,00	4,99	0,01	11,00
Фаза-3 — (Rh,Pt)S (*n*=6)													
Мас. %	14,47	1,54	0,32	0,37	59,84	0,67	0,58	0,09	0,04	0,02	22,32	0,74	101,01
Ат. %	5,32	0,57	0,12	0,27	41,71	0,45	0,74	0,10	0,05	0,02	49,92	0,71	100,00
$K_{форм.}$	0,11	0,01	0,00	0,01	0,83	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	1,00	0,01	2,00
Фаза-4 — $(Rh,Pt)_4S_5$ (*n*=12)													
Мас. %	11,41	2,07	0,22	0,27	58,52	0,67	0,10	0,04	0,03	0,02	25,97	0,23	99,54
Ат. %	4,00	0,74	0,08	0,18	38,84	0,43	0,12	0,04	0,03	0,02	55,31	0,21	100,00
$K_{форм.}$	0,36	0,07	0,01	0,02	3,50	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	4,98	0,02	9,00
Фаза-5 — $(Rh,Pt)_3S_4$ (*n*=6)													
Мас. %	10,46	3,63	0,07	0,23	57,39	0,70	0,14	0,05	0,04	0,02	27,25	0,23	100,20
Ат. %	3,58	1,26	0,03	0,15	37,27	0,44	0,16	0,06	0,04	0,02	56,79	0,21	100,00
$K_{форм.}$	0,25	0,09	0,00	0,01	2,61	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	3,98	0,01	7,00

Примечание. $K_{форм.}$ — коэффициент в формуле минерала, *n* — число анализов.

рис. 5, *а*, III) [15, 19]. Некоторые наиболее магнезиальные диопсиды из агрегатов Cpx+МПГ на графике попадают в поле диопсидовых дунитов (см. рис. 5, *а*, I). По составу они близки к жильным и интерстициональным клинопироксенам дунитов. Незначительная часть наименее магнезиальных диопсидов из агрегатов Cpx+МПГ попадает на графике в поле габброидов (см. рис. 5, *а*, IV).

Выявленный тренд увеличения содержания TiO_2 при падении магнезиальности в диопсидах (см. рис. 5, *а*) соответствует тренду увеличения содержания Pd в изоферроплатине (рис. 5, *б*) из этих же агрегатов Cpx+МПГ. Это обстоятельство подчеркивает взаимную обусловленность развития породообразующей и платинометальной систем.

В агрегатах Cpx+МПГ наибольшее количество зерен диопсида имеет умеренную магнезиальность Mg#=88±3, пик которой (Mg#=88±1) приходится на граничную область дифференциации оливин-клинопироксеновых ультрамафитов без магнетита → с магнетитом (см. рис. 5, *а*). Насыщенность изоферроплатины самородным осмием увеличивается от агрегатов Cpx+МПГ с диопсидами с показателем Mg#=89,4±2,21 (число анализов 34) к диопсидам с Mg#=87,9±1,98 (84). Диопсиды с такой магнезиальностью более характерны для магнетитсодержащих клинопироксенитов (см. рис. 5, *а*).

Диопсиды из агрегатов Cpx+МПГ характеризуются значительными вариациями содержаний редких несовместимых элементов (рис. 6; см. табл. 6). Распределение последних в целом соответствует таковому в пироксенитах южнокорякских островодужных плутонов габбро-клинопироксенит-дунитовой ассоциации [19]. Однотипные спектры

4. Минеральный и химический составы агрегатов минералов платиновой группы с клинопироксеном (1), россыпных месторождений платинового (2) и иридисто-платинового (3) минералого-геохимических типов южной части Корякского нагорья

Минералы	*n*	Содержание минерала, мас. %	Содержание элементов платиновой группы, мас. %						Сумма
			Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	
Сростки минералов платиновой группы с клинопироксеном									
Изоферроплатина	109	94,80	81,83	0,31	0,35	0,05	1,04	0,91	84,49
Тетраферроплатина – туламинит	15	0,14	0,11	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,11
Самородный осмий	79	4,51	0,10	0,06	4,28				4,44
Самородный иридий		Не обн.							
Халькогениды ЭПГ	45	0,55	0,11	0,01	0,03	0,06	0,19	<0,01	0,40
Сростки МПГ с диопсидом			82,15	0,38	4,66	0,11	1,23	0,91	89,44
Месторождения рек Гальмотапельваям и Тапельваям									
Изоферроплатина	125	99,62	88,10	0,40	0,32	0,02	1,07	0,90	90,81
Тетраферроплатина – туламинит	14	0,23	0,18	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,18
Самородный осмий	10	0,26	<0,01	0,01	0,24				0,25
Самородный иридий		Не обн.							
Халькогениды ЭПГ	23	0,12	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
Платиновый тип			88,33	0,41	0,56	0,02	1,07	0,90	91,29
Месторождения р. Левтыринываям (р.л. 280–183), ручьи Ледяной и Пенистый									
Изоферроплатина	487	98,71	86,74	1,49	0,31	0,05	0,73	0,29	89,61
Тетраферроплатина – туламинит	163	0,68	0,52	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,53
Самородный осмий	33	0,23	<0,01	0,03	0,19				0,22
Самородный иридий	23	0,14	0,02	0,09	0,03				0,14
Халькогениды ЭПГ	152	0,24		0,01	0,05	0,04	0,02	«	
Иридисто-платиновый тип			87,3	1,63	0,58	0,09	0,75	0,29	90,64

Примечание. Составы рассчитаны по оригинальной программе на основании ситовых, минералогических, минераграфических, химических анализов и измерения плотности проб «шлиховой платины»; *n* — число анализов.

содержания редких некогерентных элементов диопсидов из агрегатов Cpx+МПГ и пород с хорошо выраженными минимумом Zr и максимумом Sr (см. рис. 6) свидетельствуют о близком, комагматичном их родстве. Очевидно, что образование агрегатов Cpx+МПГ было связано с магматической кристаллизацией оливин-клинопироксеновых кумулятов и габброидов. Кристаллизация происходила из расплава или при его воздействии на более ранние ультраосновные породы из флюидно-метасоматического раствора.

Корреляция содержаний редких несовместимых элементов, в частности Zr и Y, с магнезиальностью диопсидов из агрегатов Cpx+МПГ (рис. 7) показывает, что их большая часть хорошо согласуется с трендом кристаллизационной дифференциации от ультрамафитов к габброидам. Наиболее магнезиальный образец пироксена из агрегата Cpx+МПГ попадает на диаграмме в область интерстиционных выделений и диопсидовых прожилков дунитов. В клинопироксенах при высокой Mg#=91–94 содержания несовместимых элементов соответствуют таковым в клинопироксенах из пород пироксенитового горизонта и пироксенит-габбровых тел (см. рис. 7, табл. 6). Очевидно, высокая магнезиальность таких диопсидов контролировалась вмещающими дунитами, тогда как содержания в них несовместимых элементов соответствовали равновесиям с расплавами разной степени дифференцированности. Поэтому, весьма вероятно, эти агрегаты Cpx+МПГ образовались метасоматическим путем при взаимодействии дунитов с расплавами, из которых кристаллизовались пироксениты и габбро [11].

Геохимия пироксенов в агрегатах Cpx+МПГ свидетельствует о том, что образование МПГ Pt>Os-типа было связано с магматической кристаллизацией плутонических тел массива, будь то кристаллизация из самого расплава или его флюидно-метасоматическое воздействие на более ранние ультраосновные породы. Наибольшее количество МПГ Pt>Os-типа образовано под влиянием расплавов, из которых кристаллизовались магнетит-оливин-клинопироксеновые ультрамафиты. В дунитах

формирование срастаний МПГ Pt>Os-типа с диопсидом обусловлено метасоматическими процессами под влиянием расплавов, из которых кристаллизовались пироксениты и габброиды.

Изоферроплатина из агрегатов Cpx+МПГ, с одной стороны, является аналогом таковой из магматогенного Pt-типа, с другой — она насыщена самородным осмием, который в Pt-типе не имеет широкого распространения (см. табл. 1, 4). Известно, что Os среди ЭПГ наиболее подвижен в газовых (кислородсодержащих) средах [17], а его минералы в ультрамафитах подвергаются многократному растворению, газовому перераспределению и метакристаллизации [5, 7, 8]. В этой связи представляется, что во время кристаллизации изоферроплатины и диопсида в процессе эволюции плутонических тел массива Os был мобилизован из вмещающих, более ранних по образованию, ультраосновных пород и сконцентрирован на «королек» платины и железа. Мобилизация Os и его перераспределение протекали более широко под влиянием расплавов с повышенным потенциалом кислорода (из которых происходили магнетитсодержащие клинопироксениты). Поэтому образование агрегатов клинопироксена и МПГ Pt>Os типа, скорей всего, надо считать продуктами магматогенно-флюидно-метасоматического типа поздних расплавов вблизи контактов с ранними ультраосновными породами и контаминацией из последних Os. Такой механизм генезиса сростков МПГ Pt>Os-типа с диопсидом не противоречит геохимии редких элементов в пироксенах агрегатов Cpx+МПГ.

5. Составы изоферроплатины агрегатов минералов платиновой группы с клинопироксеном платинового и иридисто-платинового минералого-геохимических типов

Элементы, мас. %	Cpx+МПГ	Платиновый тип			Иридисто-платиновый тип		
	1	2	3	4	5	6	7
	X (81)	*X* (125)	*X* (51)	*X* (16)	*X* (431)	*X* (56)	*X* (37)
Pt	88,94	87,88	86,76	87,75	86,90	86,57	86,66
Ir	0,33	0,34	0,11	0,37	1,59	2,74	2,25
Os	0,30	0,23	0,13	0,24	0,30	0,16	0,29
Ru	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05
Rh	1,06	1,05	0,85	1,08	0,76	0,52	0,48
Pd	0,92	0,92	0,83	0,70	0,29	0,04	0,22
Fe	6,95	7,22	9,89	8,43	8,65	9,10	8,89
Cu	0,87	1,35	0,38	0,74	0,61	0,32	0,70
Ni	0,05	0,02	0,26	0,07	0,10	0,16	0,16
Co	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01
Сумма	99,48	99,06	99,26	99,44	99,27	99,63	99,71

Примечание. 2 — россыпные месторождения рек Гальмотапельваям и Тапельваям; массивы Гальмоэнан и Сейнав: 3 — мелкопорфирокластические дуниты, пироксениты, габбро, 6 — хромититы и рекристаллизованные средне- и крупнопорфирокластические дуниты с реликтами полигональных крупнозернистых и пегматоидных разностей [2]; щелочно-ультраосновной массив Кондер (Хабаровский край): 4 — мелкозернистые дуниты, 7 — рекристаллизованные порфировидные дуниты; 5 — россыпные месторождения р. Левтыринываям (р.л. 280–183), ручьи Ледяной и Пенистый [2, 13].

В связи с особым положением МПГ Pt>Os-типа в разрезе габбро-пироксенит-дунитовых плутонических комплексов (см. рис. 2, *а*) и минералого-геохимической спецификой он выделен нами как новый тип платиновой минерализации [9, 10]. Характерные признаки этого типа также установлены среди МПГ (см. табл. 5) щелочно-ультраосновных массивов Хабаровского края [8, 23].

В итоге всестороннего изучения агрегатов Cpx+МПГ южнокорякских островодужных плутонов габбро-клинопироксенит-дунитовой ассоциации сделаны следующие выводы.

Клинопироксены агрегатов Cpx+МПГ относятся к диопсидам умеренной магнезиальности (88±3)

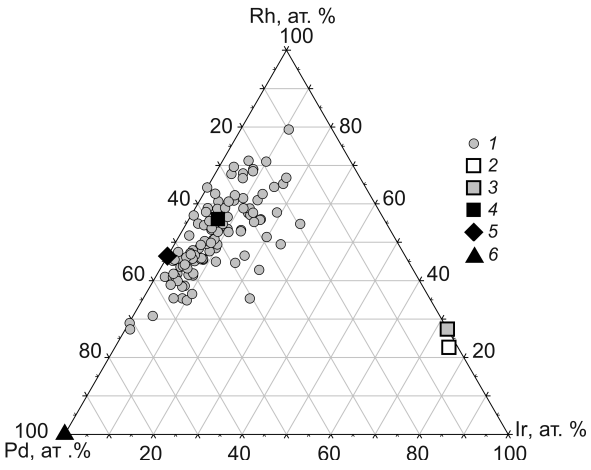


Рис. 4. Соотношения в изоферроплатине Pd, Rh и Ir:

1 — из агрегатов Cpx+МПГ; из пород зональных габбро-пироксенит-дунитовых массивов Гальмоэнан и Сейнав: *2* — хромититов, *3* — средне- и крупнопорфирокластических дунитов с реликтами полигональных крупнозернистых и пегматоидных разностей, *4* — мелкозернистых дунитов, *5* — пироксенитов, *6* — габбро

6. Химический состав диопсида в дунитах, пироксенитах, габбро и агрегатов минералов платиновой группы с клинопироксеном

Компоненты	1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	X (3)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (3)	*X* (3)	*X* (1)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)	*X* (2)
Оксиды главных элементов (мас. %, электронный зонд)																		
SiO_2	54,76	53,08	53,25	53,55	54,23	52,96	50,42	52,75	54,70	53,64	54,27	53,95	54,27	52,80	54,92	53,56	54,94	55,63
TiO_2	0,13	0,12	0,11	0,19	0,11	0,24	0,65	0,21	0,15	0,13	0,13	0,24	0,22	0,16	0,16	0,10	0,10	0,07
Al_2O_3	1,17	1,37	1,42	1,70	1,13	2,31	5,41	1,74	1,01	1,10	1,39	2,13	2,03	1,51	1,48	1,13	1,13	1,19
FeO	2,61	2,04	2,06	2,63	2,84	5,57	6,89	5,04	3,96	2,68	3,85	5,20	5,59	3,97	4,54	3,07	2,17	2,93
MnO	0,05	0,03	0,07	0,04	0,10	0,15	0,21	0,12	0,11	0,12	0,10	0,16	0,18	0,16	0,14	0,10	0,09	0,08
MgO	16,61	16,51	16,70	16,21	16,77	15,68	14,59	16,30	16,98	17,44	16,86	16,17	16,44	16,35	17,01	17,27	17,52	17,77
CaO	24,18	24,65	24,63	24,87	23,92	22,97	22,35	23,42	23,73	24,16	23,79	23,37	22,35	23,56	23,19	23,37	24,01	23,47
Na_2O	0,31	0,25	0,28	0,25	0,22	0,25	0,45	0,26	0,23	0,20	0,22	0,22	0,26	0,24	0,25	0,22	0,22	0,17
Сумма	99,81	98,04	98,53	99,43	99,32	100,13	100,97	99,83	100,85	99,44	100,59	101,59	101,32	98,76	101,67	98,81	100,67	101,76
Mg#	91,9	93,5	93,5	91,7	91,3	83,4	79,0	85,2	88,4	92,1	88,6	84,7	84,0	88,0	87,0	90,9	93,5	91,5
Редкие элементы (г/т, ионный зонд)																		
Cr	3122	2965	2955	2673	2455	430	768	792	1223	2587	1670	1066	856	1954	1145	1954	2760	2626
Ti	696	736	719	1087	607	1487	4269	1306	897	566	857	1704	1326	958	981	640	614	537
Sr	163	112	113	119	102	118	73	119	135	107	119	124	125	110	119	116	131	117
Y	3,0	2,4	2,4	3,9	1,52	5,98	22,7	5,0	2,8	1,5	2,5	6,09	6,3	3,0	3,6	1,9	2,20	1,68
Zr	1,4	0,90	0,91	1,9	0,573	3,43	22,0	2,1	0,72	0,53	0,94	3,17	2,6	1,3	1,8	0,75	0,77	0,49
La	0,39	4,9	0,38	0,99	0,12	0,38	3,3	0,37	0,19	0,12	0,17	0,29	0,49	0,17	0,49	0,16	0,16	0,10
Ce	1,2	5,6	0,85	2,8	0,45	1,5	11	1,2	1,0	0,45	0,60	1,17	2,1	0,72	1,5	0,60	0,53	0,37
Nd	1,3	1,1	0,92	2,7	0,59	2,1	10	1,7		0,46	0,89	1,82	2,4	1,2	1,3	0,65	0,86	0,51
Sm	0,39	0,39	0,35	0,82	0,27	0,92	3,2	0,69	0,33	0,28	0,43	0,92	0,97	0,51	0,62	0,36	0,25	0,20
Eu	0,14	0,14	0,12	0,29	0,10	0,32	1,1	0,39	0,20	0,10	0,18	0,34	0,42	0,17	0,21	0,12	0,15	0,08
Dy	0,46	0,36	0,43	0,74	0,27	1,1	3,8	0,78	0,47	0,25	0,44	1,11	1,1	0,58	0,51	0,30	0,37	0,22
Er	0,38	0,33	0,21	0,42	0,13	0,68	2,5	0,47	0,27	0,16	0,22	0,69	0,49	0,35	0,40	0,28	0,20	0,16
Yb	0,28	0,20	0,23	0,34		0,55	2,2	0,43	0,26		0,25	0,55	0,62	0,32	0,35	0,21	0,15	0,14
Li	0,68	0,22	0,22	0,19	0,88	1,4	4,8	10	2,2	1,0	2,5	3,90	3,4	1,2	2,1	1,1	4,42	1,08

Примечание. 1 — интерстиционный клинопироксен в дуните, 2 —деформированный диопсидовый прожилок в дуните, 3 — недеформированный оливин-диопсидовый прожилок в дуните, 4 — оливиновый клинопироксенит, 5 — магнетит-оливиновый клинопироксенит, 6 — оливиновый габбро-норит [19], 7–17 — образцы зерен Cpx+МПГ; Mg# — $100 \cdot Mg/(Mg+Fe)$, ат. %.

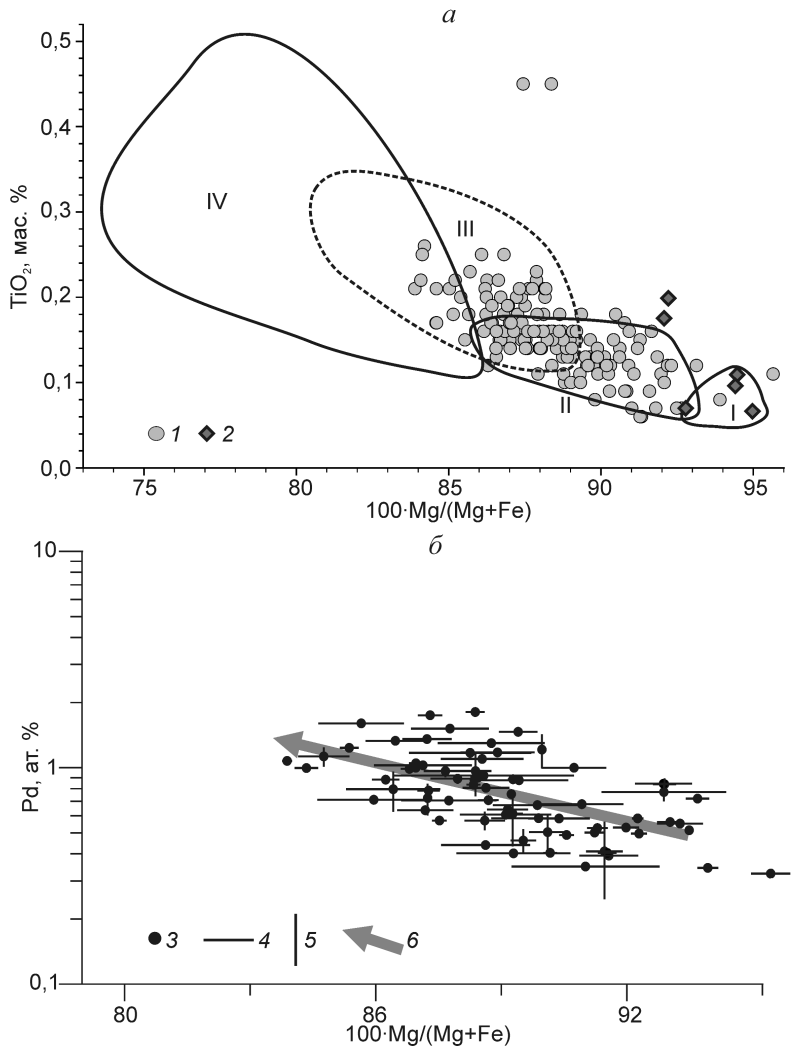


Рис. 5. Распространение состава диопсида в агрегатах Cpx+МПГ относительно обобщенных полей состава клинопироксена массива Гальмоэнан (*а*) и корреляция содержания Pd в изоферроплатине от магнезиальности диопсида в агрегатах Cpx+МПГ (*б*):

1 — диопсид в агрегатах Cpx+МПГ; *2* — интерстициальный и жильный клинопироксен в дунитах; *3* — конкретный состав Pd и магнезиальности; *4* — диапазон магнезиальности диопсида по двум анализам индивида; *5* — диапазон содержания Pd по двум анализам индивида изоферроплатины; *6* — предполагаемый тренд изменения составов агрегатов Cpx+МПГ в процессе кристаллизации пород мафит-ультрамафитовой ассоциации; обобщенные поля: I — диопсидовых дунитов, II — оливиновых клинопироксенитов, верлитов, III — магнетитсодержащих оливиновых клинопироксенитов, IV — плагиоклазсодержащих пироксенитов и габброидов; состав диопсида — 148 микрозондовых анализов, клинопироксена — 160

с содержаниями, мас. %: TiO_2 от 0,06 до 0,45, Al_2O_3 от 0,33 до 2,17, Cr_2O_3 от 0,08 до 0,60. Увеличение содержания TiO_2 при падении магнезиальности в диопсидах происходит с повышением содержания Pd в интерметаллидах платины, что говорит об их взаимообусловленном генезисе.

Диопсиды агрегатов Cpx+МПГ по химическому составу главных и редких несовместимых элементов в основном аналогичны пироксенам оливиновых клинопироксенитов, в том числе и магнетитсодержащих.

Минералы платиновой группы возникают практически на каждой стадии кристаллизационной эволюции пикритовых расплавов от образования дунитов до габбро, о чем свидетельствует геохимия пироксенов в срастаниях с МПГ, а также присутствие МПГ Pt-типа в кумулятивных сериях пород — дунитах, пироксенитах и габбро. В то же время, на процессы образования МПГ Pt-типа в

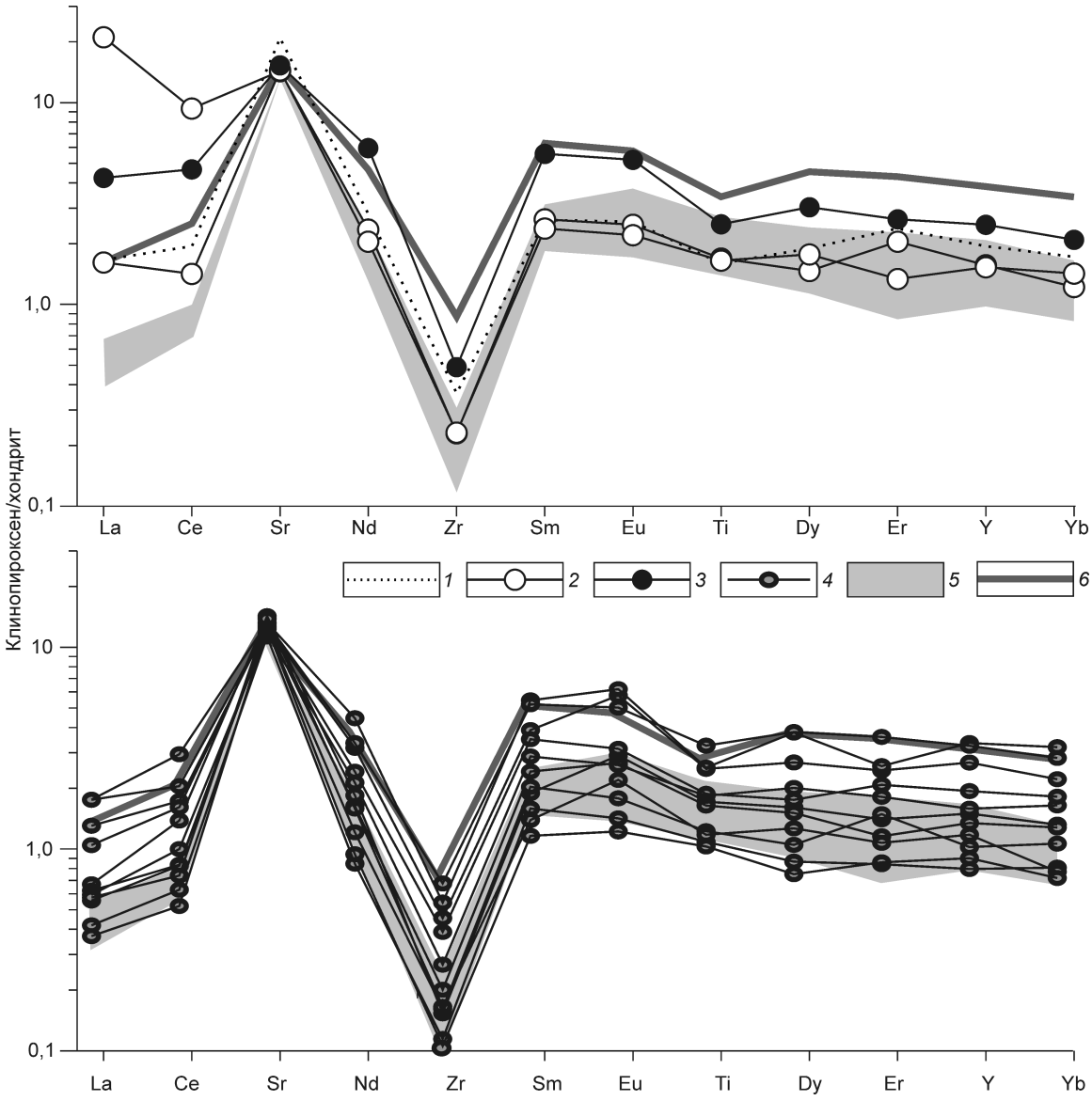


Рис. 6. Спектры редких несовместимых элементов в клинопироксенах из пород габбро-пироксенит-дунитового массива Гальмоэнан и агрегатов Cpx+МПГ:

1 — интерстиционный диопсид в дуните (см. табл. 6, обр. G14-05); *2* — деформированный диопсидовый прожилок в дуните (см. табл. 6, обр. 25-320а); *3* — недеформированный оливин-диопсидовый прожилок в дуните (см. табл. 6, обр. 25-320б); *4* — диопсид из агрегатов Cpx+МПГ; *5* — диопсид в высокомагнезиальных оливиновых клинопироксенитах, обр. G9-02, G14-08, G14-10, G14-13 [19]; *6* — диопсид в магнетит-оливиновом клинопироксените (см. табл. 6, обр. G12-06)

пироксенитах оказывают влияние ЭПГ, контаминированные из эндоконтактов ранее появившихся ультраосновных и основных пород, что, в свою очередь, приводит к образованию МПГ Pt>Os-типа.

Ассоциация МПГ в агрегатах с клинопироксеном выделена в новый Pt>Os минералого-геохимический тип. Изоферроплатина Pt>Os-типа, с одной стороны, является аналогом таковой Pt-типа, с другой — она насыщена самородным осмием. Представляется, что происхождение Pt>Os-типа обусловлено контаминацией Os из МПГ эндоконтактов ранних ультраосновных пород на минеральные «корольки» Pt и Fe, зародившиеся в более поздних магматогенно-флюидно-метасоматических пироксенитах.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ №10-05-00030-а и № 11-05-12048-офи-м.

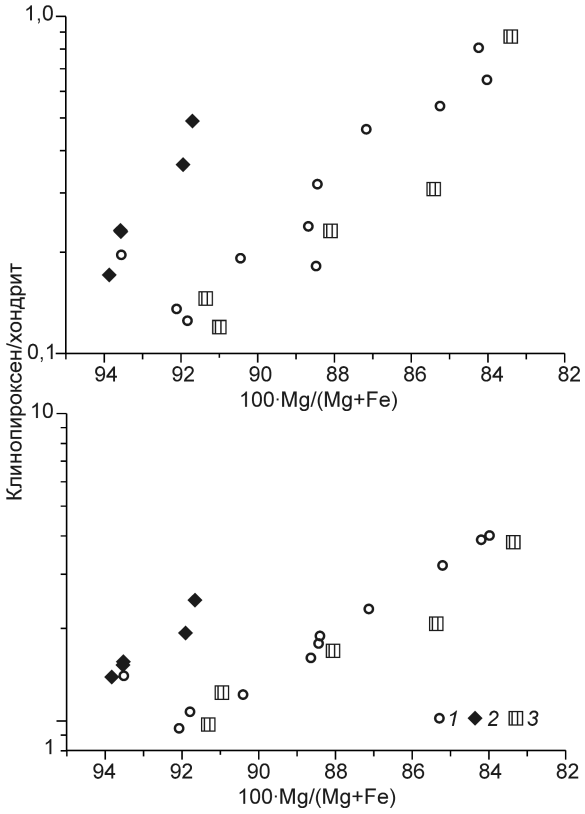


Рис. 7. Корреляция состава Zr и Y от магнезиальности диопсида в агрегатах Cpx+МПГ и пород габбро-пироксенит-дунитового массива Гальмоэнан:

1 — диопсид в агрегатах Cpx+МПГ; *2* — интерстициальный и жильный диопсид дунитов; *3* — клинопироксен из оливин-пироксеновых кумулятов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батанова В. Г., Астраханцев О.В.* Тектоническая позиция и генезис зональных мафит-ультрамафитовых плутонов севера Олюторской зоны (Корякское нагорье) // Геотектоника. 1992. № 2. С. 87–103.

2. *Вариации* состава «шлиховой платины» россыпных месторождений южной части Корякского нагорья (Россия) / А.Г.Мочалов, В.П.Зайцев, Ю.В.Назимова и др. // Геология рудных месторождений. 2002. № 6. С. 556–570.

3. *Влияние* синмагматической рекристаллизации дунитов зонального массива Гальмоэнан на мобилизацию рудных компонентов (Корякское нагорье) / А.Н.Перцев, А.Г.Мочалов, В.П.Зайцев и др. // Уральская летняя минералогическая школа – 99 «под знаком платины». Екатеринбург, 1999. С. 133–145.

4. *Геология* юга Корякского нагорья / Ред. Ю.М.Пущаровский. – М.: Наука, 1987.

5. *Жерновский И.В., Мочалов А.Г.* Генетическая кристаллография гексагональных твердых растворов осмия, рутения и иридия // Геология рудных месторождений. 1999. № 6. С. 546–561.

6. *Мочалов А.Г.* Россыпи платиновых металлов // Россыпные месторождения России и других стран СНГ. М., 1997. С. 127–165.

7. *Мочалов А.Г.* Генезис россыпеобразующих минералов платиновой группы // Уральская летняя минералогическая школа – 99 «под знаком платины». Екатеринбург, 1999. С. 166–184.

8. *Мочалов А.Г.* Россыпеобразующие формации минералов платиновой группы Дальнего Востока России // Рудные месторождения и процессы рудообразования. М., 2005. С. 367–386.

9. *Мочалов А.Г.* Новый осмисто-платиновый минерало-геохимический тип зональных габбро-пироксенит-дунитовых массивов юга Корякского нагорья (Россия) // ДАН. 2009. Т. 426. № 2. С. 226–229.

10. *Мочалов А.Г.* Развитие россыпеобразующих формаций габбро-пироксенит-дунитовых плутонических комплексов // Новые горизонты в изучении процессов магмо- и рудообразования. Мат-лы Всероссийской конференции ИГЕМ РАН, 8–11 ноября 2010 г. М., 2010. С. 281–282.

11. *Мочалов А.Г., Бортников Н.С.* Новые критерии генезиса минералов платиновой группы в срастаниях с пироксенами из зональных габбро-пироксенит-дунитовых массивов юга Корякского нагорья (Россия) // ДАН. 2008. Т. 421. № 4. С. 520–524.

12. *Мочалов А.Г., Жерновский И.В., Дмитренко Г.Г.* Состав и распространенность самородных минералов платины и железа в ультрамафитах // Геология рудных месторождений. 1988. № 5. С. 47–58.

13. *Мочалов А.Г., Зайцев В.П., Перцев А.Н., Власов Е.А.* Минералогия и генезис «шлиховой платины» россыпных месторождений южной части Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. 2002. № 3. С. 212–238.

14. *Назимова Ю.В., Зайцев В.П., Мочалов А.Г.* Минералы платиновой группы габбро-пироксенит-дунитового массива Гальмоэнан южной части Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. 2003. № 6. С. 547–565.

15. *Перцев А.Н., Мочалов А.Г., Астраханцев О.В.* Роль многоуровневой кристаллизации в происхождении островодужных платиноносных плутонов: массив Гальмоэнан, Южная Корякия // Петрография на рубеже XXI века: итоги и перспективы. Сыктывкар, 2000. Т. III. С. 287–289.

16. *Соболев А.В., Мигдисов А.А., Портнягин М.В.* Распределение несовместимых элементов между клинопироксеном и базальтовым расплавом по данным исследования расплавных включений в минералах массива Троодос, о-в Кипр // Петрология. 1996. № 4. С. 326–336.

17. *Шеффер Г.* Химические транспортные реакции (транспорт неорганических веществ через газовую фазу и его применение). – М.: Мир, 1964.

18. *Bird M.L., Clark A.L.* Microprobe study of olivine chromitites of the Goodnews Bay ultramafic complex,

Alaska, and the occurrence of platinum // J. Res. U.S. Geol. Survey. 1976. 4 (6). P. 717–725.

19. *Crustal* Evolution of Island–Arc Ultramafic Magma: Galmoenan Pyroxenite-Dunite Plutonic Complex, Koryak Highland (Far East Russia) / V.G.Batanova, A.N.Pertsev, V.S.Kamenetsky et al. // J. Petrology. 2005. Vol. 46. № 7. P. 1345–1366.

20. *Himmelberg G.R., Loney R.A.* Characteristics and petrogenesis of Alaskan-type ultramafic-mafic intrusions, Southeastern Alaska // US Geol. Surv. Prof. 1995. Pap. 1564. P. 1–47.

21. *Irvine T.N.* Bridget Cove Volcanics, Juneau Area, Alaska: possible parental magma of Alaskan-type ultramafic complexes // Carnegie Institution Washington Yearbook. 1973. Pap. 72. P. 478–491.

22. *Johan Z., Slansky E., Kelly D.A.* Platinum nuggets from the Kompiam area, Enga Province, Papua New Guinea: evidence for an Alaskan-type complex // Mineral. Petrol. 2000. Vol. 68. P. 159–176.

23. *Mochalov A.G., Khoroshilova T.S.* The Konder alluvial placer of platinum metals // International platinum. Athens: Theophrastus publications. 1998. P. 206–220.

24. *Nixon G.T., Cabri L.J., Laflamme J.H.G.* Platinum-group element mineralization in lode and placer deposits associated with the Tulameen Alaskan-type complex, British Columbia // Canadian Mineralogist. 1990. Vol. 28 (3). P. 503–535.

25. *Platinum* mineralization in the Alaskan-type intrusive complex near Fifield, New South Wales, Australia Part 1. platinum-group minerals in clinopyroxenites of the Kelvin Grove Prospect, Owendale Intrusion / Z.Johan, M.Ohnenstetter, E.Slansky et al. // Mineral. Petrol. 1989. Vol. 40. P. 289–309.

УДК 553.43'462 (571.511) © М.З.Комарова, 2012

МЕСТОРОЖДЕНИЕ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД НА ТАЙМЫРЕ

М.З.Комарова (Гипроникель)

Приводится характеристика экзотической субщелочной интрузии Болгохтох и связанного с ней медно-молибденового оруденения. Вспоминается общение с М.Н.Годлевским.

Ключевые слова: Таймыр, интрузия Болгохтох, медно-молибденовые руды.

Комарова Мая Зальмановна, Shevelevs91@yandex.ru.

COPPER-MOLYBDENUM ORES IN TAIMYR

M.Z.Komarova

Characteristics of exotic Bolgohtoh subalkaline intrusions and associated copper-molybdenum mineralization. I remember communicating with M.N.Godlewski.

Key words: Taimyr intrusion Bolgohtoh, copper-molybdenum ore.

Болгохтохское медно-молибденовое месторождение, связанное с одноименной интрузией пород субщелочного и кислого составов, — специфический по формационному типу интрузивного магматизма и металлогенической специализации объект в области широкого развития траппов, базит-ультрабазитовых интрузий и платино-медно-никелевых месторождений на северо-западе Сибирской платформы. Более 10 лет с 1965 по 1976 гг. изучался специалистами Норильской комплексной геологоразведочной экспедиции (НКГРЭ), в том числе автором и Л.Макеевой [2–6], В.Самусенко (1968–1969 гг.), В.Гончаренко (1969 г.), В.Щукиным (1976 г.), а также сотрудниками Центральной Арктической геологоразведочной экспедиции (Б.Батуев, 1976 г.). Сначала исследовался материал первой скважины, разбурившей гранитоидную интрузию до глубины 370 м. По мере развития геолого-геофизических и геологоразведочных работ объект рассматривался в качестве рудопроявления, а после подсчета запасов был переведен в ранг месторождения. В силу географо-экономических и других конъюнктурных факторов на данном этапе объект не востребован, однако у геологов, чья деятельность связана с освоением Крайнего Севера и его перспективами, интерес к месторождению остается.

Подготовка статьи связана с именем М.Н.Годлевского. На одной из конференций, где докладывались новые данные по Болгохтохскому рудопроявлению, Михаил Николаевич предложил написать совместную статью по этому объекту, поскольку располагал результатами определения абсолютного возраста болгохтохского гранитоида. У автора с коллегами также имелись данные абсолютного воз-

раста монофракции биотита из гранитов, проанализированной в лаборатории ВСЕГЕИ. Определения возраста разнились от пермского, по данным М.Н.Годлевского, до триасового (триас-юрского), по датировке из ВСЕГЕИ. Это вместе с нерешенными вопросами формационной принадлежности интрузива и оруденения, их положения в геологической истории северо-запада Сибирской платформы и послужило основанием для обсуждения плана статьи и необходимых специальных исследований. Решение первоочередных задач отодвинуло намеченную работу. Потом не стало Михаила Николаевича. Представление данной статьи обусловлено желанием завершить начатое дело по Болгохтохскому объекту и добавить несколько слов в копилку воспоминаний коллег, благодарных учеников и просто друзей М.Н.Годлевского.

В конце 50-х годов во ВСЕГЕИ, где автор работала после окончания института, появился седой красивый мужчина в элегантном костюме и не соответствующей общему облику какой-то теплой обуви, кажется, это были валенки. Ощущалась тяжелая походка. Его имя произносили с восхищением и как будто несколько настороженно. Тогда же о нем, его непростой судьбе поведала мне Галина Сергеевна Строкова (с ней мы дружили вплоть до ее отъезда в Австралию) — дочь Сергея Сергеевича Смирнова, семья которого из шести человек всегда принимала Михаила Николаевича в своей весьма скромной двухкомнатной академической квартире. Каждый раз, посещая Ленинград, Михаил Николаевич неизменно приглашал Галю в театр или филармонию. Встречи были наполнены теплом, взаимным доверием и симпатией.

Незабываемые дни общения с М.Н.Годлевским были у нас в Норильске в начале 60-х годов, куда мой муж Лев Конович Цывьян и я незадолго приехали на работу по приглашению руководства НКГРЭ. Только что было открыто Талнахское месторождение. Интенсивно бурились скважины, шла проходка первой шахты «Маяк». На базу Западно-Караелахской партии, где складировался и документировался керн скважин, вскрывавших весь стратиграфический разрез, дифференцированную интрузию, зоны экзоконтакта собирались геологи из различных институтов. Из ЦНИГРИ прибыла группа исследователей во главе с М.Н.Годлевским. Крупнейший специалист в области магматизма, генезиса медно-никелевых месторождений, Михаил Николаевич притягивал к себе геологов экспедиции. Разумеется, интерес к новому и уже многообещающему объекту был велик, а интересовало всех все — и интрузив, и уже выявленные метаморфические образования в экзоконтактах, и, конечно, само оруденение. Контакт с Михаилом Николаевичем возник как-то сразу и просто. Геологи-норильчане поначалу стеснялись задавать вопросы — вдруг они окажутся нелепыми или примитивными. Но манера общения Михаила Николаевича была настолько тактичной и уважительной к любому участнику беседы, что вопросы задавали все, независимо от ранга, возраста и даже, наверное, объема знаний. У него консультировались и уже сложившиеся специалисты, и геологи-практики с различной степенью «подкованности», и техники-геологи, которым было необходимо приобрести навыки для ведения документации и умелого опробования. Никогда не выражая превосходства, он проявлял живой интерес ко всему, что видел сам или кто-то другой, говорил тихо и просто. Поэтому с ним было очень легко. Однако при всей своей деликатности и тактичности Михаил Николаевич не терпел невежества в сочетании с зазнайством и мог высказаться вполне нелицеприятно. Так, услышав о стремлении одной самоуверенной особы о защите диссертации по совокупности, он сказал достаточно резко, что «совокупность работ нужно иметь, а таковой нет». В то же время, Михаил Николаевич обладал изумительным качеством чувствовать талантливых и пытливых исследователей, умением делиться своими знаниями. Он вырастил целую плеяду энтузиастов — высококлассных специалистов. Это мои друзья-коллеги, выходцы из Норильска — Саша Лихачев, Дима Туровцев, Саша Баталиев, москвичи Вадим Ершов и Галя Попова. Наконец, это незабвенная Вера Юдина — самый преданный М.Н.Годлевскому человек, благодарная ему за поддержку в трудные годы безработицы, когда он с огромными усилиями сумел принять ее в аспирантуру и никогда об этом не жалел, получив в дар прекрасного ученого в области метаморфизма. Вера Вениаминовна преклонялась перед своим учителем, глубоко ценила его душевные качества. После кончины Михаила Николаевича она с семьей как могла, поддерживала его спутницу Нину Юрьевну.

Вернемся к Талнаху. М.Н.Годлевский притягивал к себе геологов экспедиции. Все знали о его нелегкой судьбе и буквально преклонялись перед мужеством человека, геолога с большой буквы, сумевшего, несмотря на трудность передвижения из-за больных ног, добраться по бездорожью до талнахского керна. Разумеется, помогали ему все, кто имел транспорт. В ту пору это был вездеход или трактор. Неприхотливость, привычка к сложностям в быту стали нормой жизни Михаила Николаевича, когда шла речь о деле, которому он служил. Запомнился такой щемящий душу эпизод. Вечером

при возвращении из города на Талнах мы с Л.Цывьяном перешли по временно наведенному через р. Норилка мосту, куда за нами должен был подойти вездеход. Увидели человека, который, собрав сумку (или рюкзак) и накинув плащ, двинулся нам навстречу. Это был Михаил Николаевич. Тщетно прождав обещанный «авторитетной» личностью транспорт, он уже немало прошагал по раскисшей дороге, отдыхая на бревнах, и двинулся дальше в расчете на случайную попутку. Разумеется, прибывшая машина доставила Михаила Николаевича в Норильск. Отсутствие какой-либо обиды или возмущения с его стороны еще раз показало, что прошлое оценивается по-разному. Впереди была жизнь, а в ней — геология, остальное он считал чепухой.

М.Н.Годлевского интересовали любые новости по геологии, тектонике, магматизму и рудогенезу, связанные с работами в Талнахском регионе. Л.К.Цывьян, будучи начальником Листвянской геолого-геофизической партии, а затем геолого-съемочного участка Западно-Караелахской геологоразведочной партии, давал рекомендации по дальнейшему направлению буровых работ. Обсуждение получилось живым и еще раз подчеркнуло высочайшую эрудицию и многогранность мышления М.Н.Годлевского. Бывая у нас дома, Михаил Николаевич подолгу беседовал со Львом, которого тоже коснулись репрессии как сына врага народа. Он делился многим из прошлых испытаний, о чем нелегко было слушать, а пережить такое и остаться человеком казалось непостижимым. Взаимные симпатии М.Н.Годлевского и Л.К.Цывьяна сохранились навсегда, несмотря на редкие встречи.

Возвращаясь к Болгохтоху, приведем дополнительные материалы к более ранним публикациям автора с коллегами [2–6]. В геологическом строении месторождения участвуют глинисто-карбонатные осадки верхнего отдела ордовика и силура, карбонатные и терригенно-карбонатные отложения всех трех отделов девона, терригенные отложения тунгусской серии и туфолавовые толщи поздней перми – раннего триаса. Структурно-тектоническая позиция месторождения определяется его размещением на северо-западной оконечности Норильско-Вологочанской мульды, в сводовой части брахиантиклинальной складки, сложенной нижне-среднепалеозойскими отложениями с редкими силлами долеритов. К дизъюнктивным нарушениям относятся Боганидский разлом и серия субпараллельных ему сбросов.

Интрузивные породы, вскрытые на разбуренном участке, принадлежат к двум формациям — траповой (пластовые недифференцированные тела долеритов) и малых интрузий. Интересующая нас формация представлена Болгохтохским массивом крупнокристаллических пород и сопровождающими его образованиями дайковой и жильной фаций. По геолого-геофизическим данным Болгохтохский интрузив имеет форму штока, осложняющего свод брахиантиклинали и наклоненного в запад–северо-западном направлении. Общая (неполная) мощность штока достигает 200–270 м. В составе массива участвуют крупнокристаллически-зернистые порфировидные породы субщелочного (граносиениты, сиениты, диорит-сиениты, граносиенит-порфиры и др.) и кислого (граниты, гранодиориты, гранит-порфиры) составов. Характерно его зональное в плане и вертикальном разрезе строение, что обусловлено присутствием в апикальных и краевых зонах гранит- и сиенит-порфиров, преобладанием в верхней и центральной зонах собственно гранитов, в средних — сиенитов и граносиенитов, в более глубоких и приосевых — сиенит-диоритов, гранодиоритов. Таким образом, в указанном направлении происходит увеличение в породах доли основного плагиоклаза и в некоторой степени темноцветных минералов — амфиболов и (или) биотита. Среди пород дайковой фации распространены гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры и граносиенит-порфиры. Мощность тел порфиров варьирует от первых метров до 100–160 м. Отдельно выделены маломощные (от первых сантиметров до первых метров) дайки (жилы) аплитов и лампрофиров, секущие крупнозернистые породы штока и часто — малые интрузии гранит-порфиров. К последним относятся гранит-аплиты, сиенит-аплиты, а также лампрофиры — вогезиты, керсантиты, минетты и др. При сравнении объекта с малыми интрузиями хребта Бырранга (складчатой зоны Таймыра), детально изученными М.Г.Равичем [10], можно говорить о значительном сходстве между одноименными петрографическими разновидностями рассматриваемого месторождения и интрузивного массива близ рек Правая Убойная и Базовая. Они близки по структурному облику, минеральному и химическому составам.

Крупнокристаллические гранитоиды в эндоконтакте штока, порфиры дайковых тел, а также окаймляющие Болгохтохский массив породы рамы интенсивно преобразованы контактово-метаморфически и гидротермально-метасоматически. Преобладают окварцевание, калишпатизация, альбитизация, грейзенизация и скарнирование (с образованием известковых, реже магнезиальных скарнов). Эти процессы сопровождают медно-молибденовое оруденение.

Болгохтохское месторождение морфологически представлено типичным штокверком, приурочен-

ным к краевым, апикальным частям массива, дайкам метаморфизованных гранит- и сиенит-порфиров, а также к вмещающим гранитоиды апотерригенно-карбонатным и аподолеритовым роговикам и метасоматитам экзоконтактового ореола. Конфигурация рудовмещающих зон в плане и разрезе согласуется с общими контурами гранитоидного штока и дайковых тел порфиров.

Особенностью месторождения является совмещение двух рудных формаций — медно-молибденовой (медно-порфировой) и скарновой. Установлено более десятка минеральных парагенезисов рудных и сопровождающих их жильных (нерудных) минералов. Среди рудных минералов главные и промышленно ценные — халькопирит, молибденит (содержащий примесь рения), второстепенные — пирит, борнит, блеклые руды, халькозин, пирротин, редкие — самородная медь, пентландит, галенит, сфалерит, кубанит, ковеллин, маккинавит, марказит, шеелит. Из оксидных фаз присутствуют магнетит, гематит, вольфрамит, из гипергенных — повеллит, ферримолибдит, гетит и др. Жильные минералы представлены главным образом кварцем, калиевым полевым шпатом, альбитом, мусковитом (серицитом), реже кальцитом, амфиболами, гранатом, эпидотом, флогопитом, скаполитом, пироксеном, акцессорные — сфеном, ортитом, апатитом, флюоритом, турмалином. Из продуктивных рудных ассоциаций отмечаются молибденит-кварц-мусковитовая (грейзеновая), молибденит-халькопирит-кварц-полевошпатовая, молибденит-халькопирит-полевошпатовая, пирит-кварцевая (березитовая), магнетитовая, халькопирит-пирротиновая, сфалерит-галенитовая.

Выделены две рудные залежи (Южная и Восточная), которые различаются по составу рудовмещающих пород и руд. Основная минеральная разновидность Южной залежи — молибденитовая с подчиненныой ролью молибден-халькопиритовой, пирит-борнит-халькопиритовой, сфалерит-галенитовой, магнетитовой и пирротиновой. Для Восточной залежи характерно магнетитовое, молибденит-халькопиритовое, реже существенно молибденитовое оруденение.

Сходство изученного объекта с субщелочными и щелочными малыми интрузиями хребта Быранга (Горный Таймыр), в частности с порфировидными граносиенитами, сиенит-порфирами, лампрофирами, а также окварцованными порфировидными сиенитами р. Верхняя Таймыра [10], по петрологическим особенностям (штокоподобной или трещинной морфологии тел, структурно-текстурному облику, комплексу петрографических разновидностей), химическому составу и отчасти типу рудной специализации (молибденовой в первом случае и молибден-вольфрамовой во втором) позволяет учитывать его при расшифровке природы оруденения. Кроме того, для малых интрузий Горного Таймыра на основе геологических наблюдений обоснован их послелавовый возраст, а также связь со складчатыми дизъюнктивно нарушенными структурами, что также перекликается с особенностями Болгохтохского месторождения.

Изучавшая геологические материалы Болгохтохского месторождения И.Г.Павлова [8], в связи с проявлением здесь медно-порфировой и скарновой рудных формаций подчеркивает его сходство с месторождением Речк (Венгрия), где к телу субвулканических андезитов и его экзоконтаку приурочено штокверковое оруденение зонального строения — медно-порфирового, медно-скарнового и полиметаллически-скарнового типов. Андезиты и связанное с ними оруденение соответствуют позднеорогенной стадии развития альпийской геосинклинали, а возраст датируется эоценом (в пределах 35–37 млн. лет). Ранее [5–7] также указывалось на близость Болгохтохского и многих других месторождений медно-молибденовых и молибденовых руд (Каджаран, Сорское, Клаймекс), для которых характерна приуроченность штокверкового (прожилково-вкрапленного) оруденения, соответственно, к зонам дробления в плутоне монцонитов и сопровождающим его дайкам гранодиорит- и сиенит-порфиров, эндоконтактам гранитоидов кислого ряда, штокам риолит-порфиров. Повсеместно отмечаются интенсивные гидротермально-метасоматические преобразования пород — окварцевание, калишпатизация, серицитизация (биотитизация), альбитизация. Основными промышленными парагенетическими ассоциациями являются кварц-молибденитовая, кварц-молибдент-халькопиритовая, а также кварц-полевошпатовая с молибденитом.

Статистически установлено [9], что >50% месторождений медно-молибденовой и скарновой формаций связаны с интрузиями сиенитов и сиенит-диоритов. В их число следует включить и Болгохтохское месторождение, рудная зона которого находится в поле развития интрузивных пород субщелочного и кислого составов и сопровождающих его дайковых тел порфиров. По имеющимся геологическим наблюдениям интрузивный шток гранитоидов, породы дайковой и жильной фаций, как и собственно медно-молибденовое оруденение, возникли позднее трапповых образований, что согласуется с данными абсолютного возраста по нашим данным. Результаты измерений, выполненных на полевых шпатах, показали более ранний (перм-

ский) возраст гранитоидов (240+1 млн. лет). Таким образом, вопрос о времени образования Болгохтохского месторождения нуждается в дополнительном обосновании.

Болгохтохское месторождение, принадлежащее практически по всем рудно-магматическим признакам к медно-молибденовой формации, связанной с массивом пород субщелочного и кислого составов, в настоящее время относится к экзотическим для Сибирской платформы образованиям — области проявления траппового магматизма и дифференцированных рудоносных интрузий, имеющих, по определению М.Н.Годлевского [1], двойственное происхождение, с металлогенической платино-медно-никелевой специализацией.

В то же время, существуют геологические [5, 6] и геофизические предпосылки (В.Самусенко и др., 1968 г.; В.Гончаренко, В.Самусенко, 1969 г.) для нахождения подобных объектов в дугообразной зоне, обрамляющей северо-западную окраину платформы. Появление медно-молибденового, возможно, вольфрам-молибденового, полиметаллического, ртутно-мышьяковистого оруденения в связи с малыми интрузиями типа Болгохтохского или известными в Таймырской складчатой зоне [2–6, 10] может быть обязано, по мнению А.Д.Щеглова [11], «определенным этапам развития земной коры, в частности, совершенно особому периоду ее развития — постконсолидационной (послеплатформенной) тектономагматической активизации».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годлевский М.Н.* Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. – М.: Госгеолтехиздат, 1959.

2. *Комарова М.З.* Об интрузии гранитоидов в Норильском районе // Геология и геофизика. 1968. № 5. С. 104–107.

3. *Комарова М.З.* О контактовом ореоле Болгохтохской интрузии // Мат-лы конференции норильских геологов. Норильск, 1968.

4. *Комарова М.З.* Новые сведения о Болгохтохской интрузии и связанном с ней медно-молибденовом оруденении // Проблемы петрогенезиса и рудообразования, корреляция эндогенных процессов. Иркутск, 1979. С. 117–118.

5. *Комарова М.З.* Формация малых интрузий субщелочного и кислого состава на северо-западе Сибирской платформы // Прогнозирование и оценка никеленосности новых рудных районов на севере Сибирской платформы. Л., 1983. С. 83–94.

6. *Комарова М.З., Макеева Л.В.* Медно-молибденовое оруденение Болгохтохского месторождения // Тр. ЦНИГРИ. 1989. Вып. 230. С. 44–49.

7. *Мовсесян С.А., Исаенко М.П.* Комплексные медно-молибденовые месторождения. – М.: Недра, 1974.

8. *Павлова И.Г.* Медно-порфировые месторождения. – Л.: Недра, 1978.

9. *Покалов В.Т.* Месторождения молибдена // Рудные месторождения СССР. М., 1974.

10. *Равич М.Г., Чайка Л.А.* Малые интрузии хребта Быранга // Тр. НИИГА. 1959. Т. 88.

11. *Щеглов А.Д.* Металлогения срединных массивов. – Л.: Недра, 1971.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ

27 ноября 2012 г. исполнилось 60 лет **Вадиму Станиславовичу Звездову** — заведующему отделом металлогении и прогноза месторождений цветных и благородных металлов.

В.С.Звездов работает в ЦНИГРИ с 1975 г. после окончания геологического факультета МГУ. Основной объект его многолетних исследований — месторождения меднопорфирового семейства: геоструктурные обстановки их локализаци, рудно-метасоматическая зональность, строение и механизм формирования рудоносных штокверков, минералого-геохимические особенности руд. Он участвовал в изучении месторождений названного типа в Казахстане (Актогай, Айдарлы, Борлы, Коксай, Коунрад и др.), Узбекистане (Кальмакыр, Дальнее, Кызата), золото-медных месторождений в кольцевых массивах повышенной щелочности Центральной Камчатки (Кирганикское, Шаромское) и Южной Якутии (Рябиновое, Якокутское), проявлений медно-мышьяковых руд Корякии (Малетойваямское, Октябрьское), медно-никелевых месторождений Норильского района (Норильск-1, Талнахское).

По результатам исследований меднопорфировых месторождений в 1984 г. защитил кандидатскую диссертацию «Условия формирования рудоносных штокверков некоторых меднопорфировых месторождений Казахстана и Средней Азии», которая внесла заметный вклад в создание геолого-генетических и прогнозно-поисковых моделей меднопорфировых месторождений, составляющих основу разработанной коллективом института методики прогноза, поисков и оценки этих объектов.

Последующие исследования В.С.Звездова сыграли важную роль в создании моделей меднопорфировых рудообразующих систем и месторождений (классификационно-признаковых, геолого-промышленных, структурно-петрофизических, параметрических, концентрационных, градиентных, прогнозно-поисковых и др.). Эти модели построены с учетом данных практически по всем месторождениям мира и легли в основу монографии «Меднопорфировые месторождения» серии «Модели месторождений цветных и благородных металлов», а также методических руководств по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, изданных в ЦНИГРИ под редакцией А.И.Кривцова.

Разработанные в институте с участием В.С.Звездова методические основы прогноза и поисков месторождений цветных и благородных металлов апробированы в Амурской, Камчатской и Магаданской областях, Якутии, Приморском и Хабаровском краях, Чукотском АО. Он — соавтор серии прогнозно-металлогенических карт Дальневосточного ФО России, притрассовой зоны БАМ, Амурской, Камчатской областей и других регионов страны. В последние годы Вадим Станиславович является руководителем госконтрактных работ, в рамках которых на основе прогнозно-поисковых моделей комплексных рудно-магматических систем «порфирового» типа оценены перспективы выявления меднопорфировых и сопряженных золото-серебряных месторождений в вулканоплутонических поясах Востока России и выделенных в их пределах перспективных металлогенических зонах и потенциальных рудных районах.

Результаты работ В.С.Звездова отражены в многочисленных отчетах, методических руководствах, монографиях и статьях (более 60), докладах на отечественных и зарубежных совещаниях и конференциях. В 2006 г. ему присвоено звание «Отличник разведки недр», в 2011 г. — «Почетный разведчик недр».

Поздравляем Вадима Станиславовича с юбилеем, от всей души желаем крепкого здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов.

Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала

20 декабря 2012 г. исполнилось 60 лет кандидату химических наук, заведующему отделом аналитических исследований ЦНИГРИ **Алексею Вадимовичу Мандругину**.

А.В.Мандругин работает в институте с 1987 г. после окончания химического факультета МГУ и защиты кандидатской диссертации. Является высококвалифицированным специалистом в области анализа руд благородных и цветных металлов. Под его руководством и непосредственном участии разработаны и метрологически аттестованы более 15 методик анализа, в том числе 10 отраслевых. А.В.Мандругин — один из авторов оригинальной методики определения шлиховой платины, с использованием которой проведен подсчет запасов платины месторождения Кондер. Им разработаны высокочувствительные методики кинетического определения в рудах редких платиновых металлов — Ir, Os, Ru. С помощью современных методов масс- и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, рентгенофлуоресценции и др. созданы комбинированные методики определения Au, Ag и платиновых металлов в рудах и горных породах на основе предварительного пробирного концентрирования. Методики широко применяются в практике анализа рядовых геологических проб и внешнего контроля состава минерального сырья разведываемых месторождений, а также при аттестации стандартных образцов состава руд и продуктов их обогащения при проведении сертификационных анализов.

А.В.Мандругин — автор более 100 научных работ. Активно участвует в общественной жизни. Он — заместитель председателя секции технологии и аналитики Ученого совета ЦНИГРИ, член Бюро НСАМ.

За добросовестную и плодотворную работу А.В.Мандругин награжден юбилейным знаком «300 лет геологической службы России», знаком «Отличник разведки недр», знаком «За заслуги в аналитическом контроле», учрежденным Ассоциацией Аналитических центров «Аналитика», грамотами ЦНИГРИ и Минприроды России.

Поздравляем Алексея Вадимовича Мандругина с юбилеем, желаем крепкого здоровья, новых творческих успехов и достижений в исследованиях.

Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала

19 ноября 2012 г. исполнилось 60 лет ученому секретарю ФГУП «ЦНИГРИ», кандидату технических наук **Александру Николаевичу Щендригину**.

А.Н.Щендригин работает в ЦНИГРИ с 1983 г., зарекомендовал себя высококвалифицированным специалистом в области информатики, компьютерных технологий и маркетинга. Значительный вклад внес в создание и внедрение компьютерных технологий в издательскую, рекламную и выставочную деятельность, в планирование и сопровождение научно-исследовательских и геологоразведочных работ института. Его организаторские способности проявились в подготовке и проведении международных и отраслевых выставок, презентаций, съездов, конференций, совещаний, пропаганде научно-технических достижений института. Под его руководством налажены системы сопровождения конкурсных заявок ЦНИГРИ на выполнение научно-исследовательских и геологоразведочных работ по госзаказам, проведения закупок товаров, услуг для нужд института в электронной форме, обеспечения архивной деятельности.

А.Н.Щендригин готовит заседания Ученого совета ЦНИГРИ и его секций, оформляет материалы о результатах научно-исследовательских и геологоразведочных работ, полученных по госконтрактам за счет средств федерального бюджета и по договорам с недропользователями.

За трудовую деятельность А.Н.Щендригин награжден юбилейным знаком «300 лет горно-геологической службы России» и знаком «Отличник разведки недр». Высокий профессионализм и трудолюбие принесли ему заслуженное уважение коллег по работе. Находясь в постоянном поиске, он внедряет в практику новые технологии и организационные решения.

Поздравляем Александра Николаевича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, дальнейших творческих успехов.

Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала

СПИСОК СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ» В 2012 ГОДУ

VII Всероссийский съезд геологов. № 5. С. 5.

Недропользование

Иванов А.С., Рыбин В.П., Иванов М.А. К вопросу оценки эффективности затрат федерального бюджета на геологоразведочные работы по твердым полезным ископаемым в системе лицензирования. № 2. С. 5.

Мызенкова Л.Ф, Августинчик И.А., Карпекина Н.Ф., Анашкин С.М. Основные инвестиционные потоки транснациональных компаний на освоение мировых горнорудных проектов в 2000–2010 гг. № 3. С. 6.

Прикладная металлогения

Варгунина Н.П., Кулаков Ф.В., Данильченко В.А. Перспективы золотоносности Яно-Колымской провинции по результатам региональных геохимических работ. № 2. С. 10.

Константинов М.М. О роли рифтогенных структур в формировании золоторудных провинций. № 4. С. 5.

Кулешевич Л.В., Голубев А.И. Благородные металлы в щелочных метасоматитах Средней Падмы, Карелия. № 1. С. 17.

Рафаилович М.С., Шевчук С.И. Золото-вольфрамовые месторождения Центральной Азии. № 2. С. 47.

Романовский Н.П. Вольфрамовые руды как важная составная часть минерально-сырьевой базы Дальнего Востока России. № 4. С. 14.

Савельев Д.Е., Сначев В.И. Бедновкрапленные хромовые руды Южного Урала и перспективы их практического использования. № 2. С. 36.

Черненко М.Ю. Минерагенический потенциал субформаций каменноугольных отложений Донецкого угленосно-горнорудного бассейна. № 2. С. 40.

Эйриш Л.В. Закономерности локализации и принципы прогноза золоторудных месторождений на Дальнем Востоке России. № 1. С. 5.

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

Клещенков А.В., Зеленщиков Г.В. Опыт изучения газогеохимических эффектов от рудных залежей на примере Керчикского рудопроявления в Восточном Донбассе, Ростовская область. № 4. С. 24.

Князев Г.Б. Типизация контактово-метасоматических магнетитовых месторождений Урала и юга Сибири по особенностям среднего химического состава руд. № 4. С. 19.

Константинов М.М., Косовец Т.Н., Наталенко М.В., Орлова Г.Ю. Поисково-оценочная система ГЕНОМ: содержание и перспективы. № 1. С. 26.

Корчуганова Н.И., Хотылев О.В., Загубный Д.Г., Сурков А.В. Структурно-геоморфологическое строение Маконского района (Лесная Гвинея) и его влияние на россыпную алмазоносность. № 4. С. 28.

Строение рудных месторождений

Гусев А.И., Гусев Н.И. Полихронное комплексное Cu-Bi-Co-Ni-W месторождение Каракуль Горного Алтая. № 1. С. 33.

Игнатов П.А., Болонин А.В., Васильев И.Д., Шмонов А.М., Фомин А.А., Ким В. Складчатые и разрывные деформации во вмещающих и перекрывающих толщах в карьере кимберлитовой трубки Архангельская. № 1. С. 42.

Компьютерные информационные технологии при поисках твердых полезных ископаемых

Алексеев Я.В. Оценка пространственно-территориальной сбалансированности использования и воспроизводства минеральной сырьевой базы полезных ископаемых. № 3. С. 43.

Бортников Н.С., Петров В.А., Веселовский А.В., Кузьмина Д.А., Лексин А.Б. Геоинформационная система забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса. № 3. С. 18.

Вахрушев А.М. Компьютерная модель формирования массивных сульфидных медно-никелевых руд Норильского месторождения. № 4. С. 36.

Галямов А.Л., Конкин В.Д. Применение компьютерных технологий в прогнозно-металлогеническом районировании черносланцевых комплексов Ленской золоторудной провинции. № 3. С. 35.

Черненко М.Ю. Методология итерационного многомерного моделирования геологических объектов и процессов. № 4. С. 41.

Чижова И.А. Информационные технологии в геологии сквозь призму времени. № 3. С. 27.

Прогноз и оценка месторождений твердых полезных ископаемых с использованием современных компьютерных технологий

Антипов В.С., Журавлев Е.А., Волин К.А., Абушкевич С.А. Выявление космогеологических признаков рудоперспективности с использованием интерактивных компьютерных технологий в среде геоинформационных систем (на примере изучения эталонных золоторудных объектов Енисейского кряжа). № 3. С. 47.

Елшина С.Л., Зиновьев А.А., Иваненкова Е.В., Конкина А.А. Технология геоинформационных систем сопровождения ГРР на цветные металлы (на примере Рудного Алтая). № 4. С. 48.

Игнатов П.А., Новиков К.В., Шмонов А.М., Еремеев Р.В., Лисковая Л.В., Ковальчук О.Е., Толстов А.В. Оценка перспектив и локального прогнозирования кимберлитов с помощью ГИС-технологий на закрытых территориях Накынского кимберлитового поля, Западная Якутия. № 4. С. 54.

Макаров В.А., Макеев С.М., Межубовский В.В., Фисенко В.Г., Самородская М.А. Опыт применения технологии компьютерного прогнозирования золоторудных объектов в заангарской части Енисейского кряжа. № 3. С. 50.

Мониторинг и информационное обеспечение работ по геологическому изучению недр

Забродский Г.С., Егорова И.В. АС «Минерал-Доклад»: автоматизированная система мониторинга и анализа результатов геологоразведочных работ, выполняемых в России. № 3. С. 58.

Мазуркевич К.Н., Коронкевич К.А. Пространственная информационная сеть — ключ к увязке разнородных данных в информационных системах. № 4. С. 51.

Мазуркевич К.Н., Флоренский К.В. Сводная цифровая геолого-картографическая основа России — от бумаги к интерактивному онлайновому представлению данных. № 3. С. 65.

Статьи специалистов Северо-Восточного федерального университета им. М.К.Аммосова

Бабушкина С.А., Алтухова З.А., Зайцев А.И. Вещественный состав и изотопия пород трубки Запретная, Орто-Ыаргинское поле Якутской алмазоносной провинции. № 5. С. 63.

Григорьев Б.В., Скрябин Р.М. О совершенствовании конструкций породоразрушающих инструментов для колонкового бурения с продувкой сжатым воздухом в условиях криолитозоны. № 5. С. 85.

Дроздов А.В., Курилко А.С., Попов В.Ф. Оценка изменения прочностных и емкостных показателей горных пород при формировании криолитозоны (на примере Якутской алмазоносной провинции). № 5. С. 78.

Иудин М.М. Коэффициент Пуассона многолетнемерзлых горных пород. № 5. С. 74.

Максимов Е.П. К оценке потенциальной продуктивности на золото Томмотской магмо- и рудоконтролирующей зоны разломов, Центральный Алдан. № 5. С. 43.

Окунев А.Е., Фридовский В.Ю. О перспективах открытия крупных золоторудных месторождений орогенного типа в терригенных отложениях Южного Верхоянья. № 5. С. 22.

Олейников О.Б., Полуфунтикова Л.И., Павлов В.И., Этигясов С.И. Особенности составов гранатов из мезозойских алмазоносных отложений северо-востока Сибирской платформы. № 5. С. 58.

Пуляев Н.А. Диафториты Алдано-Станового щита: условия образования, методы изучения, металлогеническая специализация. № 5. С. 68.

Соловьев Е.Э., Фридовский В.Ю., Кычкин В.А. Геофизические признаки контроля золоторудных месторождений в зонах разломов. № 5. С. 51.

Сясько А.А., Гриб Н.Н. Прогноз ресурсов золоторудных месторождений по данным геохимического опробования. № 5. С. 36.

Сясько А.А., Гриб Н.Н., Качаев А.В. О перспективности золоторудных месторождений нового типа Алданского щита. № 5. С. 30

Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Дора-Пильское рудное поле: строение, мине-

ралогия и геохимия среды рудообразования. № 5. С. 7.

Статьи, посвященные 110-летию М.Н.Годлевского (27.10.1902–05.06.1984)

Дюжиков О.А. Условия формирования Норильско-Талнахского платиноидно-медно-никелевого гиганта. № 6. С. 38.

Комарова М.З. Месторождение медно-молибденовых руд на Таймыре. № 6. С. 74.

Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения: зарождение, внедрение и становление рудоносных мафит-ультрамафитовых магм. № 6. С. 9.

Михалев С.К., Служеникин С.Ф., Туровцев Д.М., Кравцов В.Ф. Платино-медно-никелевое оруденение в ультрабазит-базитовых интрузивах и контактово-метаморфических породах среднего течения р. Кулюмбе, северо-запад Сибирской платформы. № 6. С. 43.

Мочалов А.Г., Перцев А.Н. Минералы платиновой группы в срастаниях с пироксеном габбро-пироксенит-дунитовых плутонических комплексов Корякского нагорья, Россия. № 6. С. 60.

Чернышов Н.М. Сульфидные платиноидно-медно-кобальт-никелевые руды еланского типа. № 6. С. 24.

Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ

Мухтар А.А., Каткеева Г.Л., Кочегина Е.В., Требухова Т.А., Халикова З.С. Применение метода математического планирования для выбора режимов восстановительного обжига бурожелезнякового концентрата Лисаковского месторождения в целях его последующего обогащения методом магнитной сепарации. № 1. С. 49.

Рецензии

Вах А.С. О книге В.А.Степанова, А.В.Мельникова «Никеленосность Верхнего Приамурья». № 4. С. 65.

Дискуссии

Данковцев Р.Ф., Симкин Г.С. Основные особенности глубинно-плотностной инфраструктуры литосферы Северо-Востока России. № 2. С. 69.

Милецкий Б.Е. Глауконитовые пески — предполагаемая металлорудная формация. № 3. С. 69.

Милецкий Б.Е., Шелудяков Ю.Л. О предполагаемом открытии первого благороднометального рудопроявления в соляной толще Прикаспийской впадины. № 1. С. 62

Остапенко Л.А. Минералого-геохимические признаки вертикальной зональности золото-полиметаллического парагенезиса на месторождениях золото-кварцевой формации Центральной Колымы. № 2. С. 61.

Силин И.И. Геолого-промышленная оценка минеральных ресурсов на стадии поисков. № 1. С. 53.

Поздравляем с юбилеем

И.М.Витковского, А.Г.Волчкова, В.Л.Лося, В.А.Нарсеева, С.В.Яблокову (№ 1), Н.К.Курбанова, Ю.М.Щепотьева, А.А.Фельдмана (№ 2), В.П.Ивановскую, И.А.Карпенко, В.И.Кочнева-Первухова, И.Л.Шофман (№ 3), В.П.Рыбина, Е.М.Аксенова, М.М.Константинова, А.А.Сидорова (№ 4), Н.Г.Клименко (№ 5), В.С.Звездова, А.В.Мандругина, А.Н.Щендригина (№ 6)

Памяти

В.И.Пономаренко, Б.В.Рогачева (№ 2), О.В.Русиновой (№ 4).

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2012 году.