

На правах рукописи



Мирошникова Людмила Константиновна

**Геолого-геохимические предпосылки и признаки локализации медно-никелевого с платиноидами оруденения рудно-магматической системы
Талнахского рудного узла**

Автореферат
диссертации
на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Специальность: 25.00.11 Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Москва - 2017 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ).

Официальные оппоненты:

Дьяконов Виктор Васильевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. кафедрой «Месторождения полезных ископаемых и их разведки им. В.М. Крейтера», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (ФГ АОУ ВО «РУДН»)

Наумов Георгий Борисович – доктор геолого-минералогических наук, советник, Российский Геологический музей им. В.И. Вернадского

Соколов Сергей Валерьевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий отделом региональной геохимии, Федеральное государственное бюджетное учреждение (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов»

Защита диссертации состоится 15.06.2017 г. на заседании диссертационного совета Д 212.121.04 при Российском государственном геологоразведочном университете по адресу: г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, ауд. 4-73. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета. Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 117997, г. Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, Российский государственный геологоразведочный университет, учёному секретарю диссертационного совета Д 212.121.04.

Автореферат разослан

2017г

Учёный секретарь диссертационного совета, доцент  А.И. Бобков

Актуальность работы. Норильский промышленный район, расположенный на территории Центральной Арктики – севера Центральной Сибири, один из крупнейших промышленных регионов, где сосредоточено 76,6 % запасов никеля России и 30,3 % мировых, 64,1 % российских запасов меди, 57,7 % российского кобальта, 40,2 % мировых и 95,5 % российских запасов платиносодержащих металлов.

Минерально-сырьевая база Норильского горнорудного района представлена месторождениями сульфидных медно-никелевых руд, которые в настоящее время интенсивно разрабатываются. Если учесть, что технология горно-металлургического передела, ориентированная на богатые руды, совершенствуется, а подготовка месторождений к их освоению занимает многие годы, то уже в ближайшее время может остро встать вопрос укрепления сырьевой базы Заполярного Филиала ПАО ГМК «Норильский Никель» (ЗФ ПАО ГМК НН). Для ее расширения требуется открытие месторождений богатых медно-никелевых руд, которые могли бы с наименьшими затратами на их освоение обеспечить не только стабильную работу предприятий комбината, но и решить проблему создания новых рабочих мест. Кроме того, для обеспечения конкурентоспособности на рынке цветных металлов, необходимо осуществлять добычу и переработку руды с минимальными затратами. *Поэтому поиски богатых медно-никелевых руд на площадях, расположенных в непосредственной близости к промышленно освоенной территории, являются актуальными и экономически обоснованными. Следовательно, особую важность составляет задача поисков сульфидных медно-никелевых платиносодержащих руд в пределах месторождений, фланги и глубокие горизонты которых изучены недостаточно.*

По результатам ранее проведенных геолого-геохимических исследований на территории региона с применением различных методик математической обработки и интерпретации геолого-геохимических данных был накоплен огромный фактографический и аналитический материал (Разгонов, 1970, 1975 г.; Жук-Почкутов, 1977–80 гг.; Рябов, 1982–

85 гг.; Пузанов, 1990–1992 гг.; Певзнер, Кузьмин, 1971–78 гг.; Степанов, 1991; Додин, Тарасов, 1990 г.; Иванова, 1990 г. и др.). Однако рекомендуемые предыдущими исследователями методы интерпретации геохимических аномалий не в полной мере учитывали геологическое строение площади, и их методические приемы не были приведены в соответствие с объектами прогноза и поисков. Вследствие этого использование данных разработок в качестве поисковых критериев для обнаружения на флангах норильско-талнахского типа месторождений сульфидных руд результатов не дали. Автор работы полагает, что в решении проблемы разработки стратегии разномасштабных геохимических поисков в Норильском районе большой эффект может дать переход на геолого-структурный анализ пространственных взаимоотношений геохимических аномалий, поскольку геохимическая зональность остается ведущим фактором прогнозирования оруденения. Известно, что максимальной рудоносностью обладают осевые зоны фронтальных частей полно дифференцированного интрузива (Суханова, 1971), поэтому особенно важно рассмотреть геохимические аномалии на площади, расположенной на продолжении осевых зон рудоносного интрузива.

В диссертации предлагается решение актуальной практической проблемы – обоснования стратегии поисков сульфидных медно-никелевых платиносодержащих руд в Норильском районе на основе выявленных автором разноранговых геолого-геохимических магматических, структурно-тектонических, литолого-стратиграфических, метаморфогенно-метасоматических предпосылок и признаков локализации этих руд в рудно-магматической системе Талнахского рудного узла (ТРМС), а также структурного анализа пространственных взаимоотношений аномалий (Cu, Ni, Ag, Co, Cr, Ti, Zn) рудных объектов и околорудного пространства (Sr, Ba, Mo, Zr), определяющих геохимическую зональность рудных тел, месторождений и рудного узла.

Область исследования. Основные защищаемые положения диссертации соответствуют следующим пунктам паспорта

специальности 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения: «п. 1. Условия образования месторождений твердых полезных ископаемых»; «п. 2. Металлогения и минерагения: общая, региональная и специальная, цели и задачи»; «п. 4. Прогнозирование, поиски, разведка и геолого-экономическая оценка месторождений».

Объектом исследования являются геолого-геохимические предпосылки и признаки локализации медно-никелевого с платиноидами оруденения рудно-магматической системы Талнахского рудного узла в ранге рудного узла, месторождения, рудоносной зоны и рудных тел для последующего установления практических приемов геолого-геохимических методов прогноза в Норильском регионе.

Предметом исследования является моделирование структуры геохимического поля ТРМС в поисковых целях с применением информационных технологий прикладного программного продукта «ГЕОСКАН», и распределения коэффициентов разделения Ni/Cu и (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os) в сульфидных медно-никелевых с платиноидами телах рудоносной зоны.

Целью данной работы является выявление главных особенностей геолого-геохимического строения и состава геохимических полей ТРМС, а также выделение среди них аномальных полей (АПП) – геохимических критериев локального прогнозирования и поисков этих объектов на флангах известных месторождений Талнахской рудно-магматической системы

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1) установить закономерности распределения элементов в различных промышленно-генетических типах оруденения: сплошных сульфидных платиноидно-медно-никелевые рудах; малосульфидных платинометалльных; метаморфо- метасоматического ореола с сульфидным платиноидно-никелево-медным, полиметаллическим, пирит-магнетитовым оруденениями;

2) установить геохимическую специфику составляющих траппового магматизма: эффузивных и интрузивных образований позднепермского - раннетриасового возрастов, вмещающих

рудоносных интрузивы отложений и метаморфических комплексов контактовых ореолов рудоносных Хараелахского и Талнахского интрузивов;

3) рассмотреть закономерные изменения в строении и рудоносности интрузивов по площади и на их основе построить структурно-геохимическую модель Талнахского рудного узла и месторождений;

4) определить геохимические маркеры структурно-тектонических элементов ТРМС: глубинных разломов, контролирующих распространение рудоносных интрузивов, отрицательных пликативных структур, в которых локализованы интрузивы и сводов палеоподнятий, ограничивающих их распространение;

5) установить геохимическая зональность рудных образований на уровнях рудного узла, месторождений и рудных тел. б)определить главные особенности геолого-геохимического строения и состава геохимических полей, обобщить геолого-геохимические предпосылки и признаки локализации медно-никелевого платиносодержащего оруденения Талнахской РМС и на их основе разработать рекомендации для локального прогноза скрытых рудных объектов на флангах месторождений.

В работе применялись теоретические и экспериментальные методы исследований. Экспериментальная часть включала обоснование способов обработки аналитических данных с использованием алгоритмов, приемлемых для работы с первичными ореолами. Теоретическая часть – разработку геолого-геохимических способов прогнозирования рудных объектов с позиций структурно-геохимического моделирования локализации и ранжирования ореолообразующей системы.

Фактический материал и методы исследований. Практически весь трудовой путь автора связан с изучением Талнахских месторождений, а более половины его с геохимическими исследованиями. Работа основана на фактическом материале, собранном и проанализированном автором за период с 1975 по 2002 гг., полученным в ходе геологоразведочных работ, проводимых Норильской комплексной геологоразведочной экспеди-

цией, в которых автор принимала непосредственное участие. Ею было задокументировано более 50 000 п.м керн скважин с отбором литохимических проб. В составе группы, осуществляемой подсчет запасов Октябрьского месторождения, занималась документацией рудного керна, составлением схем технологического опробования различных минеральных типов руд и подготовкой аналитических данных для разработки кондиций. В диссертационной работе использованы анализы 31000 литохимических проб, отобранных из керна 150 скважин, пробуренных на территории Талнахского рудного узла и его флангов.

Компьютерная обработка основного массива геохимических данных производилась с использованием следующих технологий: 1) метод многомерных полей системы «ГЕОСКАН», позволяющей моделировать структуру геохимического поля в поисковых целях; 2) программа многомерных наблюдений «АМНА», основанная на анализе многомерных геохимических наблюдений методами классификации и распознавания, в результате которого из совокупности наблюдений выделились однородные группы – классы, объединяющие образы объектов предположительно общей природы; для каждого выделенного класса была рассчитана корреляционная матрица, отражающая структуры корреляционных связей между элементами и их ассоциациями; 3) метод факторного анализа для установления существенных связей между химическими элементами, изучения закономерностей геохимической изменчивости в породах. Результаты обработки базы геохимических данных выше перечисленными методами были апробированы в диссертации автора на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук «Геолого-геохимические основы прогноза коренных месторождений медно-никелевых руд в Норильском районе (на примере Талнахского рудного узла)» и цитируются в настоящей работе. Для изучения зональности рудоносных объектов впервые использовались геохимические параметры коэффициентов концентрации (K_k) и коэффициентов разделения Ni/Cu и $(Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)$.

Проанализированы фондовые и опубликованные материалы по исследованию месторождений Норильского региона. Геохимическая изученность района равномерна, соответствует масштабу 1:25000, достигает глубин 2000–3000 м, площадь геохимических исследований более 200 км². Для изучения зональности геохимических полей были составлены геолого-геохимические разрезы и схемы по различным стратиграфическим подразделениям от нижнего девона до нижнего триаса, а также рудоносных интрузивов и их контактовых ореолов.

Аналитические работы. Основная масса проб, отобранных из керна скважин, анализировались эмиссионным методом в лаборатории Норильской комплексной геологоразведочной экспедиции. Каждая из 31 000 литохимических проб анализировалась на 22 элемента: Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Zn, Ag, Mo, Zr, Ti, V, Y, Yb, Ba, Sr, Mn, P, Sc, Ga, Sn, La, Li. В работе использованы приведенные в монографии В.В. Рябова «Магматические образования Норильского района» результаты исследований, выполненные в лабораториях Аналитического центра ОИГГМ РАН (г. Новосибирск), в которой определялись: рентгенофлуоресцентным анализом породообразующие оксиды и Ba (масс.%) (840 анализов); атомно-абсорбционным методом содержания Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Pt, Pd, Rh, Ru, Au, Ag, Sr, Cr, V (г/т) (185 анализов); химическим – частично породообразующие оксиды (масс.%) (185 анализов); рентгеноспектральным (прибор Camebax-Micro) – минералообразующие и примесные оксиды (масс.%) (200 анализов). Химический состав метаморфических, метасоматических и магматических пород (120 анализов) заимствован из опубликованной монографии Д.М. Туровцева «Контактовый метаморфизм норильских интрузий». Аналитические работы проводились методом рентгеновского микроанализа (масс.%) в ИГЭМ РАН на микроанализаторах «Самеса» и «Самебах». Для определения геохимической специализации пород магматического комплекса привлекались результаты изотопных анализов (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, εNd, δ³⁴S) в количестве 15 и 138 анализов (Rb, Sr, Ba, Zr, Sm, Ia, Yb, Y), выполненные в лабораториях Канады и США, приведенные в опубликованных материалах Naldrett, Czamanske

(2003) и в монографии «Изотопная геология норильских месторождений» (Петров О.В. и др., 2016).

Научная новизна заключается в следующем:

1. Представлена геолого-геохимическая модель основных структурных элементов Талнахской РМС - рудоносных Хараелахского и Талнахского интрузивов, которая иллюстрирует закономерности распределения рудного вещества и рудонасыщенность каждой из выделяемых зон интрузива: тыловая (прикорневая) с рассеянной пиритовой минерализацией V–Cr–Co–Ti–Ni, центральная (только вкрапленные руды пирротинового состава) представлена аномалиями Ni–Cu–Cr ($K_{K_{Ni}}$ = до 7, $K_{K_{Cu}}$ = 3,5), $K_{K_{Cr}}$ = 3,5); фронтальная в своей центральной части (вкрапленные, сплошные и прожилково-вкрапленные руды пирротин-кубанитового типа) маркируется аномалиями Ni–Cu–Ag–Co ($K_{K_{Ni}}$ = 237, $K_{K_{Cu}}$ = 217, $K_{K_{Ag}}$ = 29, $K_{K_{Co}}$ = 12), в западной части выделены аномалии Cu–Ag–Ni ($K_{K_{Cu}}$ = 653, $K_{K_{Ag}}$ = 640, $K_{K_{Ni}}$ = 183) или Ag–Cu–Ni ($K_{K_{Ag}}$ = 867) (халькопиритовая, моихукитовая, талнахитовая, кубанитовая минерализация); фланговая (краевая) зона: аномалии Ti–Cu–Ni–Co (в приразломной части прожилково-вкрапленные руды пирротин-халькопирит-магнетитового состава) и в области выклинивания интрузивов в скарнированных породах с густой вкрапленностью никель-кобальтсодержащего пирита, магнетита, пирротина выделены аномалии Co–Ni ($K_{K_{Co}}$ = 13, $K_{K_{Ni}}$ = 11), а также аномалии Ti – Co ($K_{K_{Co}}$ = 2,5, $K_{K_{Ti}}$ = 2,3) в скарнированных породах и силлах измененных габбродолеритов с рассеянной вкрапленностью никель- и кобальтсодержащего пирита и магнетита; за пределами месторождений ТРУ выделены зоны рассеянной минерализации V–Ti–Zn (силлы недифференцированных измененных габбродолеритов мощностью до 5 м и скарнированные породы с рассеянной вкрапленностью пирита с халькопиритом). В распределении аномалий отмечена концентрическая зональность относительно центральной зоны интрузива, где присутствуют только вкрапленные руды.

2. Сульфатно-карбонатные породы девона, вмещающие рудоносный Хараелахский интрузив, специализированы на Sr, аномалии Sr ($K_{K_{Sr}}$ от 4 до 35) маркируют породы контактового

ореола интрузива. В данной части рудной зоны месторождения в горизонтах прожилково-вкрапленных «медистых», сплошных и вкрапленных руд преобладает халькопиритовый тип сульфидной минерализации с экстремальными для месторождения содержаниями металлов Pt и Pd. Терригенные сульфидосодержащие отложения тунгусской серии, вмещающие рудоносный Талнахский интрузив, специализированы на Zr – Ti – Mo. В верхней эндоконтактной зоне интрузива (лейкократовые габбро) и кварц-полевошпатовых роговиках его контактового ореола выделены аномалии Zr–Ba. Сульфидная минерализация рудноносной зоны Талнахского месторождения преимущественно пирротинового типа.

3. Установлены геохимические признаки структурно-тектонических условий локализации рудоносных интрузивов: зоны главных швов рудо- и магмоконтролирующих глубинных долгоживущих разломов и оперяющих их тектонических нарушений фиксируются аномалиями Y, Yb, Be, Mo, Zn, и Pb; флексурные складки и синклинали – магмо-рудовмещающие структуры, маркируются аномалиями Ba и Sr, пространственное распределение которых определяется как центробежное с фрагментарно-кольцевым расположением вокруг безрудной области палеоподнятий, ограничивающих распространение интрузивов.

4. Установлена контрастная геохимическая зональность рудных образований на уровнях рудного узла, месторождений и рудных тел, основанная на ранжированных рядах коэффициентов разделения Ni/Cu и $K_p = (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)$, иллюстрирующих процесс рудообразования в условиях фракционирования сульфидного расплава, характерного для сульфидных медно-никелевых с платиноидами руд норильских месторождений.

В восточной и приразломной частях ТРУ значения Ni/Cu = 1.6, и $K_p = (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os) = 10$ (высокосернистая ассоциация пирротинового состава, S/Cu = 7.0–9.0, $\delta^{34}S = 11.2\%$, Pt до 1.8 г/т, Pd до 4.9 г/т, скв. 1796, вторая залежь Талнахского месторождения), в центральной части Ni/Cu = 0.9 и $K_p = 40–70$ (переходная ассоциация пирротин-кубанитового состава, S/Cu = 4.9, $\delta^{34}S = 11.5\%$, Pt 1.3–3.2 г/т, Pd до 12.0 г/т, центральная и восточная часть Ок-

тябрьского месторождения, центральная и восточная фронтальная зоны Хараелахского интрузива). На западном фланге ТРУ (осевая зона западной фронтальной зоны Хараелахского интрузива) отмечены экстремально высокие значения $Kp = 167 - 1750$ и минимальные $Ni/Cu = 0.7 - 0.2$ (низкосернистая минеральная ассоциация халькопиритового состава $S/Cu = 1.6$, значение $\delta^{34}S$ до 12.8, Pt до 9 – 10 г/т и Pd – 43 – 60 г/т, Октябрьское месторождение, поле шахты «Октябрьская»). В юго-западной части ТРУ (юго-западная фронтальная зона Талнахского интрузива) в рудах халькопиритового и борнит-халькозинового состава $Ni/Cu = 0.2$, а $Kp = 120$ ($S/Cu = 1.8$, Pt до 2.3 г/т, Pd до 7.24 г/т, Талнахское месторождение, поле шахты «Маяк»).

5. Установлены геолого-геохимические признаки и критерии участков с максимальной рудоносностью: осевая зона фронтальных частей рудоносных интрузивов ТРУ, наличие комплексных аномалий Cu-Ag-Ni-Co ($K_{Cu, Ag}$ до 800; $K_{M_{Cu, Ag, Ni, Co}} = 100$), экстремально высокие значения отношения $(Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)$ (до 1750) и минимальные Ni/Cu , нахождение скрытых рудных объектов возможно на продолжении поперечных сечений аномалий.

Практическая значимость работы заключается в решении проблемы разработки стратегии разномасштабных геохимических поисков в Норильском районе на основе геолого-структурного анализа пространственных взаимоотношений геохимических аномалий, связанных с рудоносными интрузивами Норильского района, вмещающих уникальные по количеству и содержаниям полезных компонентов руды. До работ автора иерархическая структура геохимического поля не рассматривалась как надежный критерий рудоносности. Предлагаемая автором схема геохимического картирования литологических, структурно-фациальных и тектономагматических условий впервые была изложена в производственном отчете по теме «Геохимическая съемка масштаба 1:200 000 Норильского рудного района», где автором были разработаны геолого-геохимические модели Талнахского и Норильского рудных узлов, а также установлены объекты медно-цеолитовой рудной формации.

Геолого-геохимические предпосылки и признаки, изложенные в диссертации, использовались при оценке перспектив глубоких горизонтов Талнахского рудного узла, на Южно-Норильской, Усть-Турукской (номер государственной регистрации №56–94–11/1), Верхне-Хараелахской (номер государственной регистрации №16–91–24/2), Кыстыктахской (номер государственной регистрации №16–91–24/7) и Фокинской площадях. На флангах Талнахского и Норильских узлов были выделены объекты перспективные на медно-никелевое с платиноидами оруденение. При исследовании геохимических ореолов рудопроявлений Кыстыктахской и Фокинской площадей была дана отрицательная оценка обнаружения промышленного сульфидного оруденения.

Установленная автором геохимическая специализация пород различного литологического состава, позволила повысить информативность данных, получаемых на начальных этапах изучения геологического разреза территории, производить геологическую привязку при бескерновом бурении путем опробования шлама и пыли, а также для корректирования геологического разреза.

Предлагаемые геохимические предпосылки и признаки доступны к использованию на различных стадиях геологоразведочных работ и приняты в качестве дополнения к существующим прогнозно-поисковым комплексам для поисков месторождений норильско-талнахского типа (протокол заседания Технического совета ООО «Норильскгеология» №НГ–01/89 – пр. от 15. 10. 2013 г.).

Публикации и апробация работы. По теме диссертации автором опубликовано 35 работ. Среди них 1 монография; 15 статей в реферируемых рекомендованных ВАК РФ изданиях. Основные положения диссертации заслушивались и обсуждались на НТС ООО «Норильскгеология», а также в виде статей публиковались в сборниках международных и всероссийских конференций: III Международная конференция «Горное, нефтяное, геологическое и геоэкологическое образование в XXI веке», Горно-Алтайский государственный университет, г. Горно-

Алтайск, 2008 г.; IX Международная конференция «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», г. Москва (Россия – Котону (Бенин), 2010 г.; Всероссийская конференции с элементами научной школы для молодежи «Инновационное развитие горно-металлургической отрасли» ИрГТУ, г. Иркутск, 2009 г.; Всероссийская научно-практическая конференция «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья» г. Улан-Удэ, 2010 г., III Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 20-летию кафедры геологии Бурятского госуниверситета «Минерагения Северо-Восточной Азии», 13–17 ноября 2012 г., г. Улан-Удэ, 2012 г.; IV Всероссийская научно-практическая конференция «Геодинамика и минерагения Северо-Восточной Азии», посвященной 40-летию Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ, 2013 г.; II Всероссийская научная конференции с международным участием «Малышевские чтения», г. Старый Оскол, 23 апреля 2015 г.

Благодарности. В процессе подготовки диссертации автор воспользовалась ценными советами и поддержкой научного консультанта доктора геолого-минералогических наук профессора П.А. Игнатова, за что автор выражает ему огромную благодарность. Глубокую признательность автор выражает сотрудникам ООО «Норильскгеология» в лице генерального директора С.Г. Снисара, главного геолога С.П. Ерыкалова, главного геолога «Комплексной Геологической Партии» ООО «Норильскгеология» В.А. Радько и ведущего минералога И.Н. Тушенцовой, которые оказали неоценимую помощь в направлении выбора темы диссертации и предоставлении геологического материала. Их консультации, интерес и уважение к результатам исследований были важной поддержкой в работе. Особую благодарность автор выражает сотрудникам Института геохимии СО РАН докторам геолого-минералогических наук, профессорам О.М. Глазунову и А.Я. Медведеву за консультации по вопросам генезиса рудообразования норильских месторождений. В заключении следует отметить, что работа автора посвящена памяти ее учи-

теля геологии В.Ф. Кравцова и всем ее коллегам геологам, работающих на разведке месторождений Талнаха.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение 7 глав, заключение и приложение, изложенные на 321 стр. В работу включены 126 рис., 43 табл., список литературы из 158 наименований. В приложении приведены таблицы среднефоновых содержаний, схемы геохимических полей и разрезы.

Основные научные положения и результаты, выносимые на защиту

Первое защищаемое положение. В Талнахском рудном узле выявлены геохимические ассоциации соответствующие трем промышленно-генетическим типам оруденения: магматическому сплошному сульфидному платиноидно-медно-никелевому Ni - Cu - Co (Cu - Ag - Ni или Ag - Cu - Ni); магматическому малосульфидному платинометальному - Cr-Ni (или Ni-Cr); метасоматическому сульфидному никелево-медному (прожилково-вкрапленные руды «медистые руды») - Cu-Ni-Cr (Cu-Ni-Ag-Sr), пирит-магнетитовому - Co-Ti (Co-Ni и Ti-V), полиметаллическому - Zn, Pb, Mo, Co.

Второе защищаемое положение. Металлогеническая специализация Талнахской РМС отражена геохимической спецификой составляющих траппового магматизма и вмещающих пород. Каждая из четырех типов лав, сформировавших пермотриасовое трапповое поле ТРМС, имеет индивидуальную специализацию: щелочные и субщелочные ассоциации Ti-Zr-P-Ba, переходная от щелочной к гипербазит-базитовой субформация лав V-Cr, базальты пикритовых лав Cr-Ni-V-Co, толеитовый тип лав нормального ряда (mr-km) никеленосной ассоциации Cr-Co-Ni-Cu. Установлена специализация трех генетических типов интрузивных образований норильского комплекса: слабо рудоносный нижнеталнахский Co-Ni-Cr (или Ni-Co-Cr), рудоносный полнодифференцированный норильско-талнахский Cu - Ni - Co, слабодифференцированный круглогорский тип Ni - Cu - Co.

Сульфатно-карбонатные породы девона, вмещающие Ха-раেলাхский интрузив, специализированы на Sr, сульфидосодержащие угленосные отложения карбона – перми, вмещающие Талнахский интрузив, - на Zr - Mo (или Zr-Ti).

Третье защищаемое положение. Выявлены главные особенности геолого-геохимического строения и состава геохимических полей рудоносного интрузива в различных его сечениях: тыловая зона (вкрапленность пирита) фиксируется ГХА V-Sr-Co-Ti-Ni; центральная (вкрапленные руды) – Ni – Cu; фронтальная зона (сплошные и прожилково - вкрапленные руды) – интенсивные геохимические поля концентрирования Cu-Ni-Ag-Co; краевая зона (пирит-магнетитовое оруденение) маркируется ГХА Co - Ni и Ti – Co, за пределами месторождения выделены ГХА V – Ti - Zn и Ti – V – Zn. Выделенные аномалии, в совокупности определяют структурно-геохимическую модель рудного узла и месторождений. В рудном узле установлена концентрическая зональность относительно центральной зоны, где присутствуют только вкрапленные руды.

Четвертое защищаемое положение. Тектонические условия локализации месторождений Талнахской РМС в виде сочленения рудоконтролирующего долгоживущего разлома глубинного заложения и флексурных складок имеют геохимическое выражение. Рудоконтролирующий разлом фиксируется геохимическими аномалиями Y, Yb, Be, Mo, Pb и Zn линейного вида. Магмо- и рудовмещающие структуры - синклинали и опущенные крылья приразломных флексур складок маркируются аномалиями Sr, Ba-Sr и Ba-Zr с центробежным распределением вокруг безрудных зон сводов палеоподнятий, где в геохимических полях разновозрастных отложений отмечаются фоновые содержания Co-Ba-Ni, Zr-Ba, Ti- V-Zn.

Пятое защищаемое положение. Установлена контрастная геохимическая зональность рудных образований на уровнях рудного узла, месторождений и рудных тел, основанная на ранжированных рядах коэффициентов разделения Ni/Cu и Kp

$=(\text{Pt}+\text{Pd})/(\text{Ru}+\text{Ir}+\text{Os})$, иллюстрирующих процесс рудообразования в условиях фракционирования сульфидного расплава. характерного для сульфидных медно-никелевых с платиноидами руд норильских месторождений. В осевых зонах фронтальных частей рудоносных интрузивов выделены участки с экстремально высокими для ТРУ, месторождений и рудных тел значениями коэффициентов концентраций (Кк до 800) в Cu-Ag-Ni-Co аномалиях и Кр (до 1750) при минимальных Ni/Cu (до 0.2). Выявленные соотношения служат основанием локального прогноза оруденения.

Глава 1. Геологическое строение Норильского района приводится по опубликованным материалам Урванцева Н.Н., Годлевского М.Н., Маслова Г.Д., Додина Д.А., Дюжикова О.А., Кравцова В.Ф., Люлько В.А., Налдретта А.Дж., Рябова, В. В., Сухановой Е.Н., Федоренко В.А. и др. Сульфидное медно-никелевое с платиноидами оруденение норильских месторождений пространственно и генетически связано с дифференцированными интрузивами габбродолеритов норильско-талнахского типа и располагается в их придонной части. Наиболее благоприятными для внедрения рудоносных магм являлись высокопроницаемые участки пересечения глубинных разломов (магмо – рудоконтролирующие структуры) с более мелкими дизъюнктивными нарушениями, связанными со структурами поперечных поднятий. Интрузивы концентрируются в виде пучков или узлов на определенных площадях, связанных с участками пересечения зон региональных разломов поперечными разломами. Эти пучки интрузивов обычно именуется рудными полями в независимости от их промышленного значения. Рудоносная зона представлена тремя промышленными типами: вкрапленные в габбродолеритах, сплошные и прожилково - вкрапленные «медистые». Основные позиции происхождения сульфидных руд Норильских месторождений: 1) магматическое ликвационное: разделение единого сульфидно-силикатного расплава в конечной интрузивной камере (Годлевский, 1968); 2) ликвации (сегрегация сульфидов) в промежуточных магматических резервуарах с са-

мостоятельным внедрением сульфидной фазы (Котульский, 1948); 3) ассимиляционная модель (магматическая сульфуризация) (Альмухомедов, Медведев, 1979; Гриненко, 1963); 4) инфильтрационно-автометасоматическая гипотеза (Горянинов, 1971; Золотухин, 1988; Гулин, Сухов, 1973; Наторхин и др. 1977); 5) образование дифференцированных интрузий и руд из магматического расплава nd_3-mr_1 (Федоренко, Налдретт, 2002); 6) рудообразование в условиях динамической дифференциация и динамической кристаллизации базитовой магмы, которая транспортировала сульфиды (Радько, 1993, Криволицкая, 2012).

Глава 2. Геолого-геохимическая модель Талнахского рудного узла и ее иерархическое строение. Применение системы «ГЕОСКАН» обусловлено следующими особенностями аналитических материалов: 1) сильную, различной природы, в т. ч. аналитическую, неоднородность совокупностей; 2) отсутствие априорной вероятностной и зачастую достоверной геологической информации; 3) дискретность спектрального анализа; 4) пространственная неоднородность геохимических определений. Данный метод обработки геолого-геохимической информации дает возможность анализировать закономерности распределения химических элементов в природных системах, то есть на количественной и качественной основе выявлять геохимические типы ореолов, обусловленные как многоэтапностью формирования месторождений, так и наличием различных типов минерализации. Основные понятия, используемые при интерпретации геохимических данных, обработанных программой «ГЕОСКАН». Геохимическое поле – часть земного пространства, характеризующегося количественными содержаниями химических элементов или их соединений, как функции пространственных координат и времени (Кременецкий, 2008, с. 5). Было принято, если содержание элемента в породе повышено (по сравнению с фоном) ($0.5 < K_k < 1.5$) и его положение в ранжированном ряду элементов, слагающих геохимический ореол (ГХО), является главенствующим, то породы определяются как геохимически специализированные на данный элемент. Геохимическая специализация является основой для моделирования геохимической

зональности и способствует выявлению прогнозируемых, ранее не известных на исследуемой территории рудных формаций (Гушин, Гусев, 2015). *Геохимическая ассоциация (ГХА)* - ранжированный ряд химических элементов (Коган, 1989). В строении ранжированного ряда ГХА наблюдается внутренняя неоднородность, обусловленная выделениями трех областей, условно названных «зонами»: «зона привноса» ($K_k \geq 1,25$) и «зона выноса» ($K_k \leq 0,75$), которые характеризуют альтернативные процессы привноса и выноса химических элементов, а также «индифферентная зона» ($0,75 < K_k \leq 1,25$). В структуре ореола выделены области фона, зоны рассеянной минерализации и аномалии. Геохимический фон – область пространства, каждой точке которого соответствуют одновременно низкие и взаимонезависимые концентрации химических элементов близкие к значению $K_k = 1$ (от 0,75 до 1,25). Зона рассеянной минерализации (ЗРМ) ($0,75 < K_k \leq 1,25$), для которой характерно пространственно несогласованное возрастание концентраций отдельных микроэлементов, связанное с развитием рассеянной рудной минерализации, а сами эти области часто оказываются сопряженными с аномалиями. Аномалия ($K_k \geq 3,0$) – элемент пространственной структуры ГХП, который характеризуется согласованным (координированным) поведением ряда элементов при одновременном возрастании их концентраций. Каждый из этих уровней организации вещества имеет свою геохимическую зональность, построенную на едином механизме выноса-привноса микроэлементов. Характерной особенностью для месторождений является закономерность – совмещенность геохимических полей интенсивного, среднего и низкого концентрирования элементов индикаторов и элементов спутников оруденения (Таусон, 1983). Составлены фоновые выборки по всем разновидностям пород, вмещающих дифференцированные интрузивы, для чего отбирались пробы на удалении от месторождений и рудопоявлений. Обработка геохимической информации сводилась к выделению геохимических аномалий на планах и разрезах; отрисовка аномальных полей проводилась по правилам интерполяции, когда линия контура проходит между двумя соседними точками, из которых одна фоновая, а другая

– аномальная. Оконтуривание аномалий производилось с учетом геологического строения, ориентировались аномалии в зависимости от простирания рудоносных интрузий, тектонических разрывных и пликативных структур, определяющих пути движения рудоносных растворов. В отдельных случаях рассматривалась величина *коэффициента минерализации* (Км), который представляет произведение нормированного по фону среднего содержания элемента на количество аномальных проб, деленное на общее количество проб по исследуемому сечению. Рассчитанные *граф связи* отражают структуры корреляционных связей между элементами и их ассоциациями. В комплексном геохимическом поле ореола Талнахского рудного узла выделяется девять типов геохимических полей первичных ореолов различной геохимической специализации. Анализ структуры ГХП позволил проследить последовательность преобразования первичного состояния ореолов с рассеянным содержанием элементов до их сосредоточения в аномальных концентрациях. Проведена разбраковка аномалий рудогенных микроэлементов в зависимости от их количества и состава в различных интрузивах и установлена их генетическая природа, а также приуроченность аномалий к структурно-тектоническим элементам площади.

Глава 3. Геохимическая специализация промышленно-генетических типов оруденения. В Талнахском рудном узле выявлены геохимические ассоциации соответствующие трем промышленно-генетическим типам оруденения.

1. Магматическое сплошное сульфидное платиноидно-медно-никелевое. Сплошные (>75% сульфидов) сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды образовались в результате самостоятельного внедрения сульфидной фазы, приурочены к приподошвенной части рудоносного интрузива и представляют собой в целом пластообразные линзовидные тела (рис. 1). По минеральному составу подразделяются на пирротиновые, кубанитовые и халькопиритовые (халькопирит, талнахит, моихукит). Руды пирротинового состава маркируется аномалиями Ni–Cu–Ag–Co (Ni>Cu >Ag), для халькопиритовой (халькопирит, талнахит, моихукит) характерны Cu–Ag–Ni–Co (Cu>Ag>Ni или

Ag>Cu>Ni), и кубанитовой – аномалии Cu–Ni–Ag–Co (Cu>Ni>Ag) (табл. 1, см. рис. 1). В аномалиях коэффициенты минерализации Cu, Ni, Ag равны 100. Между аномалиями отмечена высокая корреляционная связь ($R =$ от 0,85 до 1,0) (рис. 2). Наиболее интенсивные аномалии выделены в осевой зоне интрузива, где руды обогащены Cu и Ag. Здесь в аномалиях рудных образований наблюдаются максимальные концентрации Cu (KK до 725, $Ni/Cu =$ от 0,5 до 0,3) и Ag (KK до 649–867).

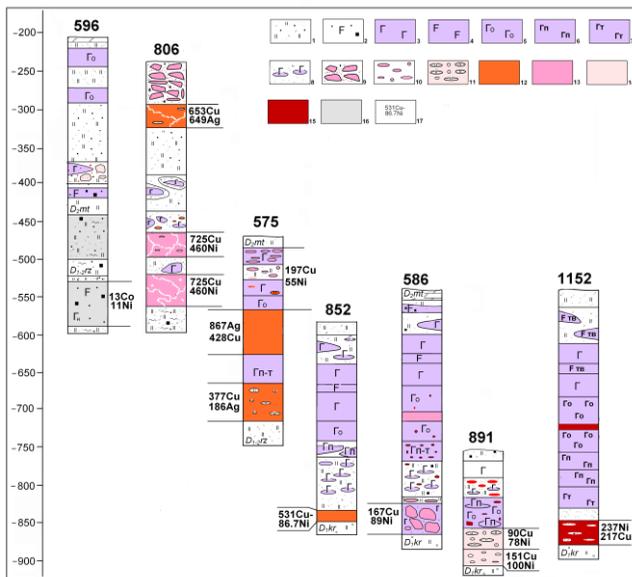


Рис. 1. Зональность сульфидного медно-никелевого оруденения Октябрьского месторождения: 1 – роговики; 2–7 – габбродиориты Хараелахского интрузива: 2 – лейкогаббро с пиритовой минерализацией; 3 – габбро-диориты; 4 – лейкогаббро; 5 – оливковые; 6 – пикритовые; 7 – такситовые; 8 – «блуждающие тела» габбро; 9–10 – прожилково-вкрапленные руды: 9 – брекчиевидные; 10 – вкрапленные в интрузиве; 11 – руды с ксенолитами роговиков; 12–16 – рудная минерализация: 12 – халькопиритовая (халькопирит, моихукит, талнахит); 13 – кубанитовая; 14 – халькопирит-пирротиновая; 15 – пирротиновая, 16 – пиритовая с халькопиритом, магнетитом, пирротинном; 17 – состав геохимической аномалии

Таблица 1

Состав геохимических аномалий сплошных руд Октябрьского месторождения (по данным обработки аналитических данных методом «ГЕОСКАН»)

Скважина	Тип руд	Рудная минерализация	аномалия	
			положительная специализация	отрицательная специализация
1	2	3	4	5
596	вкр.	Ср–Ро–Pir	13Co–11Ni–4Cu–1.7Ag	Ba, Zr, V, Cr, Sr
806	спл.	Ср–Тl (Ср–Mh)	653Cu–649Ag–324Ni–6.1Zn–4Co	Ba, Zr, Ti, Sr
806	спл.	Cub	725Cu–460Ni–457Ag	то же
575	спл.	Ср–Тl (Ср–Mh)	867Ag–428Cu–183Ni–9Co	Cr, Ti, Ba, Sr
575	спл.	Ср–Тl (Ср–Mh)	377Cu–186Ag–135Ni–13.6Co–9.3Cr–5.4Pb	Ba, Zr, Sr
852	спл.	Cub	531Cu–86.7Ni–72Ag–13Co	то же
586	Пр-в	Cub	167Cu–89Ni–15.3Ag–5.8Co–5.5Cr–3Sn	Ti, Zr
891	Пр-в	Ср–Ро	90–151Cu–78–100Ni–143Ag–5.6–9Cr–5.3–8.2Co–2.3Zn–2.2Pb	Ti–Sr–Ba–Zr
1152	спл.	Ро	237Ni–217Cu–28.5Ag–12Co–5.2Cr–2.3Zn–2.2Pb–2.2Mn–2Sn	V, Zr, Ti

Примечание: Ро – пирротин, Ср – халькопирит, Cub – кубанит, Тl – талнахит, Mh – моихукит; спл. – сплошные руды, вкр. – вкрапленные, Пр-в – прожилково-вкрапленное

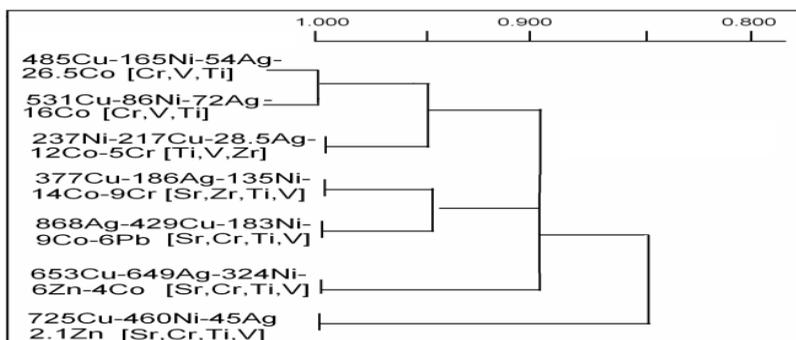


Рис. 2. Граф связей соотношения аномалий в структуре геохимического поля сплошных руд (цифрами указаны значения коэффициентов концентрации химического элемента: зона «привноса» 485Cu–165Ni–26.5Co–2.4Pb–1.5Sr; зона «выноса» (отрицательная аномалия) – [Cr,V,Ti])

2. Магматическое малосульфидное платинометалльное оруденение, связанное с бедными сульфидами хромитоносным такситовым габбро. В породах данного специфического «слоя» наблюдается концентрирование хрома и развитие платиновой минерализации. Платиноносный горизонт, входит в состав верхней габбровой серии норильских интрузивов и отделен от основных рудоносных горизонтов этих интрузивов значительным по вертикали промежутком безрудных пород (рис. 3).

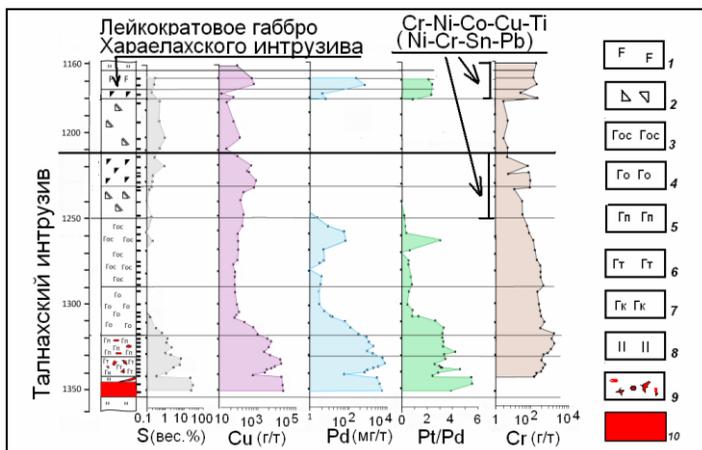


Рис. 3. Вариации химического состава пород по разрезу рудоносного Талнахского интрузива (по материалам Czamanske et al., 1995): 1 – лейкогаббро; 2 – магнетитовое габбро; 3 – оливинсодержащие габбродолериты; 4 – оливиновые габбродолериты; 5 – пикритовые габбродолериты; 6 – такситовые габбродолериты; 7 – контактовые габбродолериты; 8 – роговики; 9 – вкрапленные сульфиды; 10 – массивные руды

Образование в габброидах платиноносных горизонтов является отражением процесса, который перераспределяет платиновые металлы и обуславливает их концентрирование вне видимой связи с основной массой сульфидного вещества в нижних горизонтах стратифицированных интрузивов и в массивных сульфидных рудах. В составе хромитовых скопления встречаются сульфиды. Сульфидная минерализация присутствует постоянно в количестве от 1–2% (верхняя часть разреза хромито-

носного такситового габбро с пирротином и халькопиритом) до 5-7% (нижняя часть разреза с парагенетической ассоциацией пирита, никель-кобальтсодержащего пирита, халькопирита с включениями сфалерита). В сульфидных агрегатах встречаются самородное серебро и минералы платиновых металлов. Содержание Pd достигает 8,4 г/т, Pt до 3,7 г/т. Геохимически породы специализированы на хром-никель, для них характерны полиэлементные аномалии $39.0\text{Cr}-27.5\text{Ni}-6.0\text{Co}-2.0\text{Cu}-1.5\text{Ti}-1.2\text{Zn}$ и $16\text{Ni}-8.7\text{Cr}-1.9\text{Sn}-1.4\text{Pb}$.

Метасоматическое оруденение. В метаморфо - метасоматическом ореоле рудоносного интрузива. Сульфидное платиноидно-никелево-медное оруденение (прожилково-вкрапленные руды «медистые руды») – выделяется в ороговикованных и скарнированных породах верхнего -нижнего экзоконтактов сплошных руд и в габбродолеритах интрузивов (рис. 1). Маркируются аномалиями, в которых коэффициенты концентрации рудообразующих элементов изменяются в пределах от 35 до 200. Наиболее контрастные аномалии $\text{Cu} - \text{Ag} - \text{Ni} - \text{Co}$ приурочены к прожилково-вкрапленным «медистым» рудам в ороговикованных и скарнированных породах. В геохимических ассоциациях данных аномалий постоянно присутствует стронций (Кк от 2.4 до 24.0), который связан в высококальциевыми минералами вмещающих оруденение породами. В геохимических аномалиях прожилково-вкрапленных руд в габбродолеритах уровень концентрации рудогенных элементов несколько ниже. Отличительной особенностью является постоянное присутствие хрома

Магнетитовое оруденение в экзоконтактовых рудах. Характерной формой нахождения магнетита совместно с пирротином и халькопиритом в прожилково-вкрапленных и брекчиевидных экзоконтактовых рудах являются мелкие зерна, преимущественно располагающиеся по границе сульфидов с силикатными минералами вмещающих пород, но встречающиеся и в самих сульфидах. Магнетиты из прожилково-вкрапленных руд обогащены Ti, Cr, Ni, а из брекчиевидных руд – V, Al, Mn, Mg .

Таблица 2

Состав магнетита из прожилково-вкрапленной в габбродолерите
и брекчиевидной руд экзоконтакта интрузива
(вес. %, рентгеновский микроанализ)

Количество анализов	V ₂ O ₅	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Mg O	NiO
Пр-вк	0–0,70	2,1–8,7	0–1,5	0,57–9,10	43,40– 62,2	0–0,50	0,87–1,3	0,17–0,40
Брек.	0,07–0,1	0,56 1,45	2,26–3,4	–	90,8– 91,17	0,87–1,24	2,25 2,60	0,06–0,15

Примечание: пр-в – прожилково-вкрапленные; Брек. – брекчиевидных.

В приразломной зоне Норильско-Харелахского **нарушения** в области выклинивания сплошных халькопирит-пирротиновых руд прожилково-вкрапленные и брекчиевидные руды, содержащие магнетитовую минерализацию, фиксируются аномалиями 5Ti–2.9Cu–2.5Ni–2,1Ba–1.7Cr–1.6Co–1.7V–1.2Mn и 4,9Ti–2.7Ba–2.6V–1.4Co–1.3Cr–1.2Cu–1.2Ni–0.9Mn (скв. 471) (рис. 4). Во фронтальной части месторождения данный тип руд представлен аномалиями 3.1Ti–1.6V–1.5Co–1.4Ba–1Cu. (скважины КС–20, –21) (рис. 4). Прожилково-вкрапленное пирит-магнетитовое с пирротином оруденение в измененных габбро-долеритах, магнезиальных и известковистых скарнах фиксируется аномалиями Ti–Co (скв. КС-19) (рис. 4). Присутствие аномалии титана и магнетитового оруденения в околоинтрузивных изменениях является одним из признаков на медно-никелевые руды (Золотухин, 1978). Магнетит в данном типе руд в отдельных случаях содержит 6,6–7.24 г/т Pt.

Пиритовое оруденение. В рудах месторождений Норильского района пирит в небольших количествах встречается во всех типах руд, но наиболее широко он представлен в прожилково-вкрапленных экзоконтактовых рудах, где в отдельных участках является преобладающим сульфидом и находится в тесном сростании с магнетитом. Помимо обычного пирита постоянно присутствуют его никель- и кобальтсодержащие разновидности, содержащие в своем составе Ni до 10,8% и Co до 9,1%. Количественное соотношение, взаимное расположение

зон и содержание в них никеля и кобальта могут варьировать. В одних случаях наиболее высокие содержания никеля, других – кобальта.

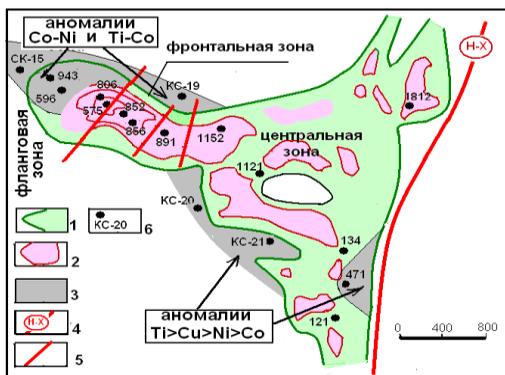


Рис. 4. Распределение аномалий магнетитовой и пиритовой минерализации на площади Октябрьского месторождения (по материалам ПО «Норильскгеология» с изменениями): 1 – границы рудоносного интрузива; 2 – границы тел сплошных руд; 3 – экзоконтактовые магнетитовые и пиритовые руды; 4 – зона главного шва Норильско-Хараелахского разлома; 5 – постинтрузивные тектонические нарушения; 6 – скважины

В магнетитах поздних генераций, находящихся в ассоциации с пиритом, титан обнаруживается в небольших количествах (0,3 вес.%), а ванадий может отсутствовать вообще. В этих магнетитах установлены наиболее высокие содержания марганца – 1,76% (ассоциация магнетит + пирит) и никеля – 0,47%. В данном случае аномалии магнетит-пиритового оруденения представлены геохимическими ассоциациями $4.5Ni-2.5Co$ и $13Co-11Ni$ (рис. 5). Рассеянная пиритовая минерализация с магнетитом и халькопиритом в силлах измененных скарнированных габбродолеритов (мощностью до 5 м) и их контактовых ореолах фиксируется аномалиями V–Ti–Zn. По данным ГЕОСКАН аномалии V–Ti (V–Pb) не образуют значимых корреляционных связей с аномалиями $5Cu-4.6Ni-4.5Sr-3.7Cr$ во вкрапленных и прожилково-вкрапленных («медистых») рудах (рис. 6).

Полиметаллическая минерализация в швах разлома, где отмечаются кальцитовые прожилки содержащие, пирит,

сфалерит и галенит, фиксируется аномалиями и зонами рассеянной минерализации Zn–Pb–Mo–Co или Zn–Co–Ti–Mo.

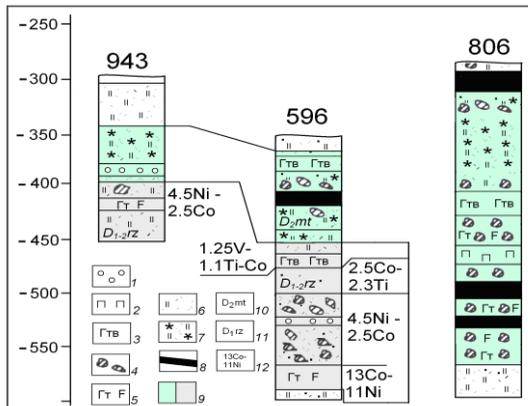


Рис. 5. Пространственное размещение ореолов пирит-магнетитовой минерализации на западном фланге Октябрьского месторождения: 1–8 габбродолериты: 1 – оливниновый; 2 – пикритовый; 3 – такситовидный; 4 – магматогенная брекчия; 5 – такситовый и лейкогаббро; 6 – скарнированные породы; 7 – роговики и скарны с прожилково-вкрапленным оруденением; 8 – сульфидные жилы; 9 – минерализация: а – халькопиритовая; б – пиритовая и магнетитовая; 10–11 – вмещающие породы: 10 – сульфатно-карбонатные отложения мангуровской свиты; 11 – аломосиликатные разведочнинской свиты; 12 – формула геохимической ассоциации, цифрами указаны значения коэффициентов концентрации

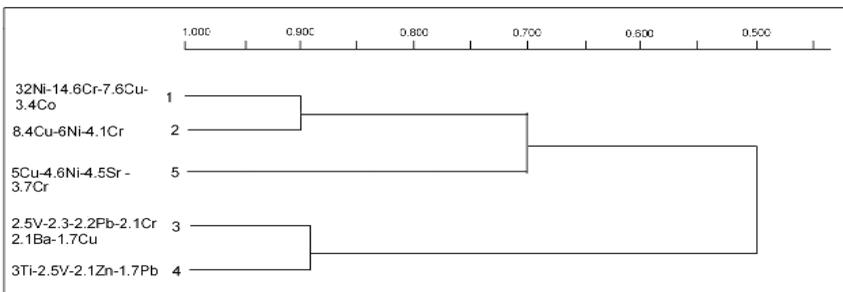


Рис. 6. Граф связей соотношения аномалий Cu–Ni (или Ni–Cu) и V–Ti (или V–Pb) в структуре геохимического поля рудной минерализации (цифрами указаны значения коэффициентов концентрации химического элемента): 1–2 – вкрапленные руды в габбродолеритах: 1 – пикритовых; 2 – такситовых; 3–4 – измененные габбродолериты с пиритовой минерализацией; 5 – прожилково-вкрапленные руды в габбродолеритах и известковистых скарнах

Глава 4. Металлогеническая специализация Талнахской РМС отражена геохимической спецификой составляющих траппового магматизма и вмещающих пород. Каждая из четырех типов лав, сформировавших пермо-триасовое трапповое поле ТРМС, имеет индивидуальную специализацию (табл. 3).

Таблица 3

**Геохимическая специализация различных типов
эффузивных образований**

Эффузивный комплекс	Породы	Специализация	
		положительная	отрицательная
<i>Цикл верхнепермского времени. Щелочные и субщелочные лавы</i>			
Ивакинская свита ($P_2 iv$)	Базальты титан-авгитовые	Ti-Zr-P-Ba	Cr, Co, Sc
	Базальты лабрадоровые и двуполевошпатовые	Ti-Zr-Ba	Cr, Co, Sc
<i>Цикл сыверминско-раннегудчихинского времени. Переходная ассоциация лав</i>			
Сыверминская свита ($T_1 sv$)	Базальты толеитовые	V-Cr	P, Mo, Y, Sc
Нижнегудчихинская подсвита ($T_1 gd_1$)	Базальты порфиоровые	V-Cr	P, Mo, Y, Sc
<i>Цикл среднегудчихинско-хаканчанского времени. Пикритовые лавы</i>			
Среднегудчихинская подсвита ($T_1 gd_2$) пикритовые лавы	Базальты пикритовые	Cr-V-Ni-Co	Sr, Ti
<i>Толеитовый тип лав нормального ряда</i>			
<i>Цикл туклонско-надеждинского времени</i>			
Туклонско-надеждинский эффузивный базальтовый комплекс	Базальты порфиоровые, афировые, пойкилитовые	V-Cr	Sr, Ti
<i>Циклы моронговского-мокулаевского времени</i>			
Моронговский-мокулаевский эффузивный комплекс базальтов и туфов	Базальты пойкилоофитовые, порфиоровые, афировые	Cr-Co-Ni-Cu	Sr, Zr

Распределение геохимических параметров ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Sr и ϵNd) в разрезе вулканической толщи, разделенной по стратиграфической позиции, особенностям петрографического и геохимического составов вполне согласуется с предположением о наличии четырех основных магм, формирующих вулканические породы площади ТРУ (рис. 7).

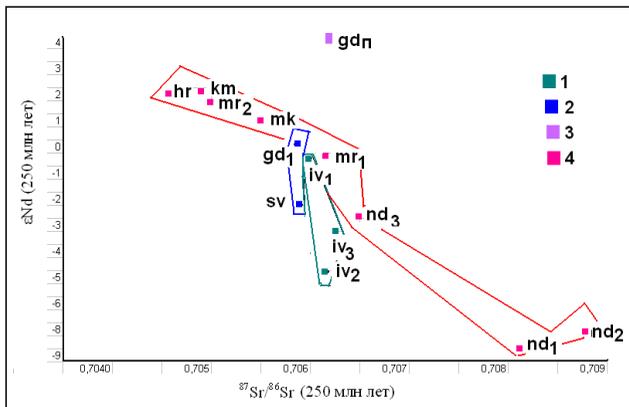


Рис. 7. Диаграмма $\epsilon Nd-^{87}Sr / ^{86}Sr$ (пересчитаны на 250 млн. лет) для вулканических образований различных тектономагматических циклов: 1 – базальты иванинской свиты первого цикла а верхнепермского времени; 2 – базальты сыверминской (sv) свиты и нижнегудчихинской подсвиты (gd_1) второго цикла сыверминско-раннегудчихинского времени; 3 – пикритовые базальты среднегудчихинской подсвиты (gd_2) третьего цикла среднегудчихинско-хақанчанского времени; 4 – базальты толеитовых лав надеждинской (nd_1 , nd_2 , nd_3), моронговской (mr_1 , mr_2), мокулаевской (mk), хараелахской (hr) и кумгинской (km) свит четвертого-восьмого циклов (аналитические данные приведены из опубликованных материалов Дж. Налдрета, 2003, с. 126–127)

На основе применения метода регрессивного факторного анализа (метод главных компонент) с использованием матрицы ковариаций обработки петро-и геохимического состава (главные и редкие элементы) установлена специализация габбродолеритов оливиновых, постоянно присутствующих в разрезе интрузивов норильского комплекса, включающего три генетических типа (перечисленные в порядке внедрения): нижнеталнахский (254 ± 4 млн лет), норильско-талнахский (252 ± 8 млн лет), и круглогорский (241 ± 4 млн лет), являющимися постоянными составляющими Талнахского рудного узла (табл. 4).

Определена специализация трех генетических типов интрузивных образований норильского комплекса: слабо рудоносный нижнеталнахский Co-Ni-Cr (или Ni-Co-Cr), рудоносный полнодифференцированный норильско-талнахский Cu – Ni – Co, слабодифференцированный круглогорский тип Ni – Cu – Co (табл. 5).

Таблица 4

Петрохимическая специализация (главные элементы) оливиновых габбродолеритов интрузий норильского комплекса согласно факторным нагрузкам

Порода	ГК-1, λ, %	Ассоциация породообразующих химических элементов
Габбродолериты оливиновые интрузии норильско-талнахского типа (Талнахский интрузив)	30	[Na ₈₃ , Si ₇₄ , Ti ₆₇ , Fe ² ₆₄ , Co ₂₅] - [Ca ₈₅ , Al ₆₂ , Cr ₃₅ , Fe ³ ₂₇ , Mg ₁₀]
Габбродолериты оливиновые интрузии круглогорского типа	36	[Si ₈₀ , Fe ² ₇₆ , Ca ₆₂ , Cr ₅₈ , Ti ₅₀ , Na ₂₄ , Mn ₁₈] - [K ₈₇ , Co ₇₇ , Al ₆₇ , Fe ³ ₇₆ , Mg ₃₃]
Габбродолериты оливиновые интрузий нижнеталнахского типа	31	[Al ₉₂ , Ti ₈₈ , Si ₇₈ , K ₄₁ , Na ₄₁ , Co ₃₅ , Ca ₁₉] - [Mg ₈₂ , Mn ₅₄ , Fe ² ₅₂ , Fe ³ ₃₀ , Cr ₁₅]

Таблица 5

Геохимическая специализация (редкие элементы) оливиновых габбродолеритов интрузий норильского комплекса согласно факторным нагрузкам

Порода	ГК-1, λ, %	Ассоциация химических элементов		Геохимическая специализация
		Положительная	Отрицательная	
Габбродолериты оливиновые Талнахского интрузива (норильско - талнахского типа)	26	Cu ₈₀ , Ni ₆₉ , Ag ₅₈ , Ti ₄₈ , Zr ₃₈ , Cr ₃₉ , Co ₂₃ .	Ba ₅₀ , Sr ₄₄ , Pb ₁₄ , Zn ₃ .	Cu-Ni
Габбродолериты оливиновые интрузий круглогорского типа	25	Ag ₉₆ , Ni ₉₇ , Cu ₉₄ , Pb ₆₆ , Zn ₄₄ , V ₄₀ , Co ₂₇ , Cr ₂₀	Ba ₁₀ , Sr ₆ , Zr ₆	Ag-Ni-Cu
Габбродолериты оливиновые интрузий нижнеталнахского типа	23	Co ₅₉ , Ni ₅₇ , Ti ₆₃ , Cr ₅₄ , Cu ₅₀ , Mo ₃₈ , Zn ₂₆ , Ag ₁₀ , Zr ₅₆ .	Ba ₅₀ , Sr ₆₅	Co-Ni-Cr или Ni-Co-Cr

Примечание: ГК-1 – первый фактор, λ, % – дисперсия.

Эндогенная ассоциация определяется наличием дифференциатов в рудоносных интрузивах. По вертикали в интрузивах выделяется несколько горизонтов, в которых по направлению к

подошве происходит постепенное обогащение рудным веществом. Повсеместно вокруг главного тела рудоносного интрузива развиты силлы лейкократовых и измененных габбродолеритов, которые прослеживаются на расстоянии 10 км и маркируются зонами рассеянной минерализации Cu-Ni-Co и V-Ti-Zn (рис. 8).

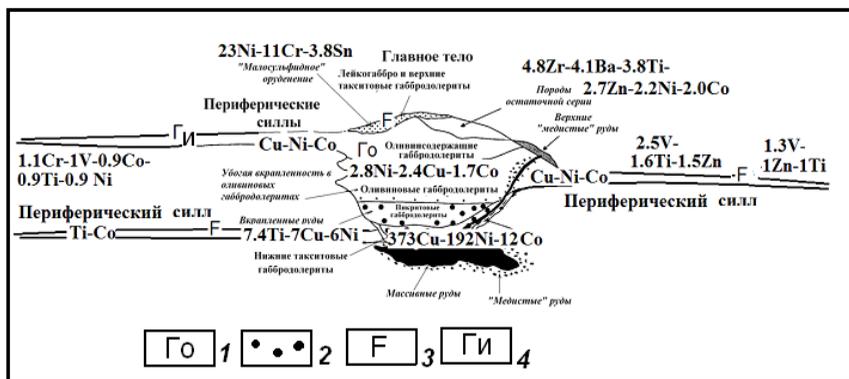


Рис. 8. Вертикальная геохимическая зональность рудоносного интрузива норильско-талнахского типа (по материалам Федоренко В.А. с изменениями): габбродолериты: 1 – оливиновые; 2 – пикритовые; 3 – лейкократовые; 4 – измененные

Рассмотрено соответствие значений $\varepsilon\text{Nd}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в породах интрузивов норильского комплекса и вулканических образованиях (рис. 9). Отмечена связь между рудоносными интрузивами норильско-талнахского типа и лавами *mr-mk*, породы интрузива нижнеталнахского типа наиболее соответствуют nd_2 лавам, что не противоречит гипотезе более раннего внедрения Нижнеталнахского интрузива по отношению к Хараелахскому и Талнахскому (Федоренко В.А, Налдретт А.Дж., 2003; Криволицкая Н.А., 2014).

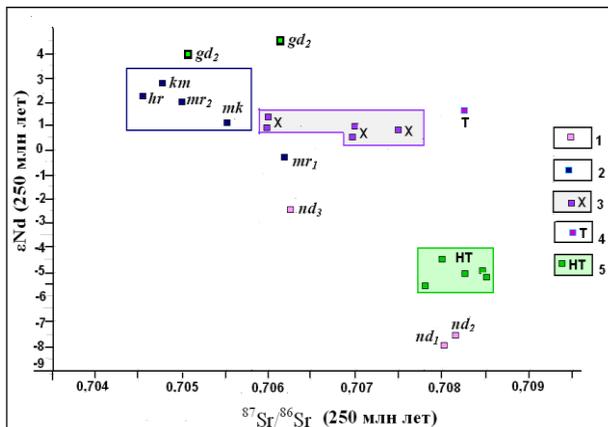


Рис. 9. Диаграмма $\epsilon\text{Nd}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ сравнения составов пород интрузий норильского и нижнеталнахского типов с вулканическими образованиями (по материалам Адамской, Е.В., Бадиновой, В.П. и др. 2016, с. 49–52, с изменениями; по данным Налдретта, 2003, с. 126–127, с изменениями): Вулканисты: 1 – четвертого цикла туклонско - надеждынского времени, надеждынская свита (*nd*); 2 – пятого цикла моронговского времени – моронговская свита (*mr*), шестого цикла мокулаевская свита (*mk*), седьмого цикла хараелахского времени (*hr*), восьмого цикла кумгинско-самоедский, кумгинская свита (*km*); 3 – Хараелахский интрузив; 4 – Талнахский интрузив; 5 – Нижнеталнахский интрузив

Геохимическая специализация вмещающих отложений. Литолого-стратиграфический контроль размещения никеленосных интрузивов норильско-талнахского типа заключается в наличии двух горизонтов их локализации. Талнахский интрузив залегает в угленосных сульфидсодержащих отложениях тунгусской серии ($\text{C}_2\text{--P}_2$), в разрезе которой преобладают полимиктовые песчаники, алевролиты, углистые аргиллиты, реже мономинеральные кварцевые и полевошпато-кварцевые песчаники. Среди аксессуарных минералов преобладают циркон, апатит, турмалин, сфен, что и определяет геохимическую специализацию отложений на Zr-Ti . Формирование верхней экзоконтактной зоны рудоносного интрузива сопровождается лейкократизацией его пород и около-интрузивной полевошпатизацией, что рассматривается как прямой признак наличия интрузивных тел с сульфидным платино-медно-никелевым оруденением (Туровцев Д.М., 2002). Данные образования маркируются полиэлементными аномалиями 4.8Zr-

4.1Ba–3.8Ti–2.7Zn–2.2Ni–2.2Co (рис. 10). В основных породах Талнахского интрузива выявлено большое количество ксеногенных цирконов пермского и каменноугольного возраста (290, 300, 330 и 350 млн лет), что свидетельствует о процессе контаминации магматического расплава коровым веществом (Адамской, Е.В., Бадиновой, В.П. и др. 2016).

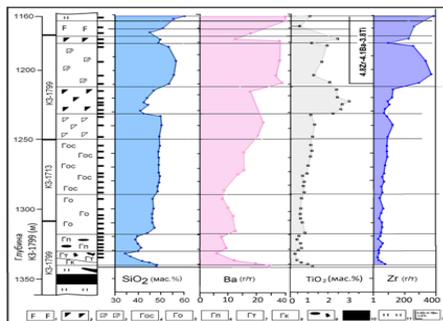


Рис. 10. Распределение SiO_2 , Ba, TiO_2 и Zr в породах верхнего горизонта рудоносного интрузива и в кварц-полевошпатовых роговиках его контактового ореола (по данным Налдрета, 2002 с изменениями): 1 – лейкогаббро; 2 – магнетитовое габбро; 3 – породы остаточной серии; 4 – 8 – габбро-долериты: 4 – оливинсодержащие; 5 – оливиновые; 6 – пикритовые; 7 – такситовые; 8 – контактовые габбро-долериты; 9 – вкрапленные сульфиды; 10 – массивные руды; 11 – роговики; 12 – геохимический ореол

Сульфатно-карбонатные отложения мантуровской свиты (D_2mt), вмещающие рудоносный Хараелахский интрузив, специализированы на Sr. Минеральный состав верхнего контактового ореола (мощность 150–250 м) обусловлен составом гидротермалитов (высококальциевые минералы), образующих широкие штокверковые зоны и мощные жилы, которые сложены пектолитом, таумаситом, пренитом, кальцитом, ангидритом, целестином. Породы верхнего контактового ореола рудоносного интрузива маркируются аномалиями Sr–Zn ($KK_{Sr}=35$, $KK_{Zn}=5.3$) в центральной части ореола; Sr–Sn ($KK_{Sr}=8-9$, $KK_{Sn}=3,0-4,0$) в краевой част; Sr–Mo–Sn ($KK_{Sr}=8-9$, $KK_{Mo}=1,9-4,3$, $KK_{Sn}=1,4-4,0$) на контакте с интрузивом, Sr–Cu ($KK_{Sr}=23$, $KK_{Cu}=2.2-2.5$) роговики с халькопиритовой минерализацией («медистые» руды).

Вертикальная зональность контактового ореола показана на рис. 11. Аномалии стронция пространственно сопряжены с аномалиями Ag–Cu–Ni (или Cu–Ag–Ni) рудных тел с халькопиритовым типом минерализации, в которой отмечаются экстремально высокие для месторождения содержания Pt до 9–10 г/т и Pd–43–60 г/т (рис. 12, 13).

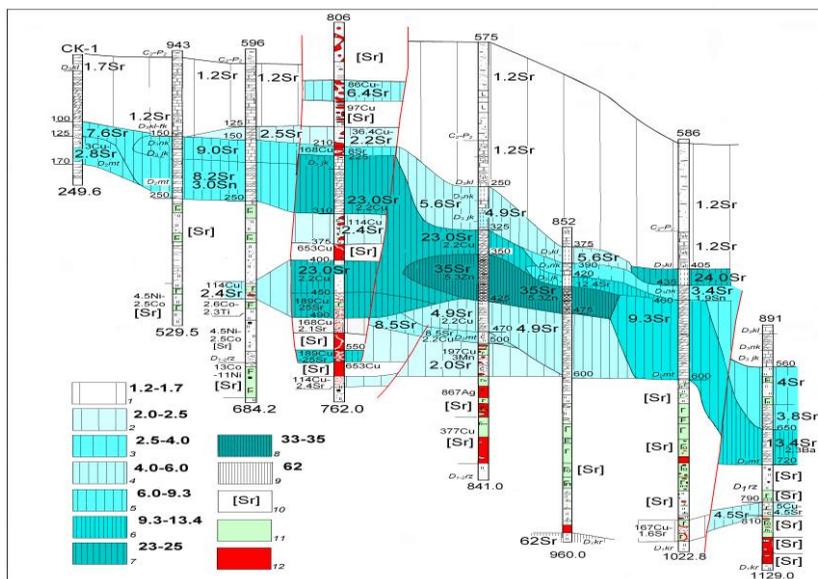


Рис. 11. Вертикальная геохимическая зональность контактово-метаморфического ореола фронтальной части Хараелахского интрузива: 1–9 – значения коэффициентов концентрации Sr (цифрами указаны числовые значения коэффициента концентрации элемента); 10 – зона «выноса» стронция; 11 – породы интрузива; 12 – сплошные руды

Глава 5. Структурно-геохимическая модель рудоносного интрузива Талнахского рудного узла. Выявлены главные особенности геолого-геохимического строения и состава геохимических полей рудоносного интрузива в различных его сечениях. Во всех интрузивах норильско-талнахского типа выделяются главные рудно-геохимические зоны, обусловленные различными условиями становления рудоносного интрузива, что инициирует закономерные изменения в строении и рудоносно-

сти интрузивов по площади, особенно по восстанию. **Тыловая (прикорневая) зона** дифференцированных интрузий тяготеет к наиболее глубоким, центральным областям мульд.

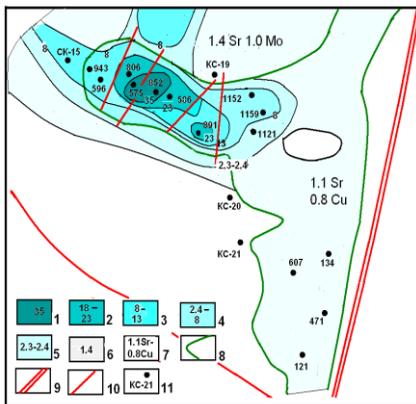


Рис. 12. Латеральная геохимическая зональность контактово - метаморфического ореола фронтальной части Хараелахского интрузива: 1-6 – значения коэффициентов концентрации Sr (цифрами указаны числовые значения коэффициента концентрации элемента); 7 – формула геохимической ассоциации; 8 – границы интрузива; 9 – Норильско-Хараелахский разлом; 10 – постинтрузивные разрывные нарушения; 11 – скважина

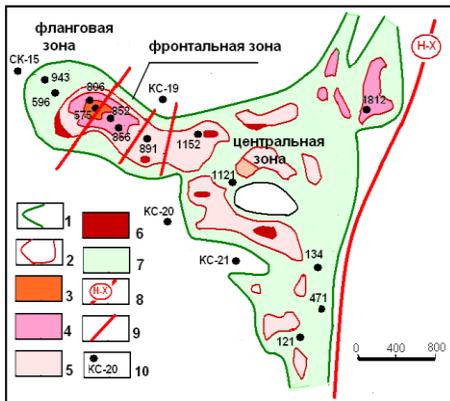


Рис. 13. Зональность рудных тел Октябрьского месторождения (по материалам ПО «Норильскгеология, 2010 с изменениями): 1 – контур рудоносного Хараелахского интрузива; 2 – тела сплошных руд; 3-6 – состав руд: 3 – халькопиритовый (с моихукитом и талнахитом) $867\text{Ag}-428\text{Cu}-183\text{Ni}-9\text{Co}-6\text{Pb}-5.6\text{Zn}$; 4 – кубанитовый с аномалиями $531\text{Cu}-86.7\text{Ni}-72\text{Ag}-13\text{Co}$; 5 – халькопирит - пирротиновый; 6 – пирротиновый с аномалиями $237\text{Ni}-217\text{Cu}-28.5\text{Ag}-12\text{Co}-5.2\text{Cr}-2.3\text{Zn}-2.2\text{Pb}-2.2\text{Mn}-2\text{Sn}$; 7 – вкрапленные в интрузиве руды; 8 – зона главного шва Норильско-Хараелахского разлома; 9 – постинтрузивные нарушения; 10 – опорные скважины, аналитические данные по которым привлекались при использовании программы «ГЕОСКАН»

Сложена обычными пластовыми телами габбродолеритов с наличием в центральной части разреза такситоподобных пород с убогой пирит-пирротиновой вкрапленностью, которая постепенно

по восстанию интрузии становится халькопирит–пирротиновой. Фиксируется ГХА V–Cr–Co–Ti–Ni (рис. 14).

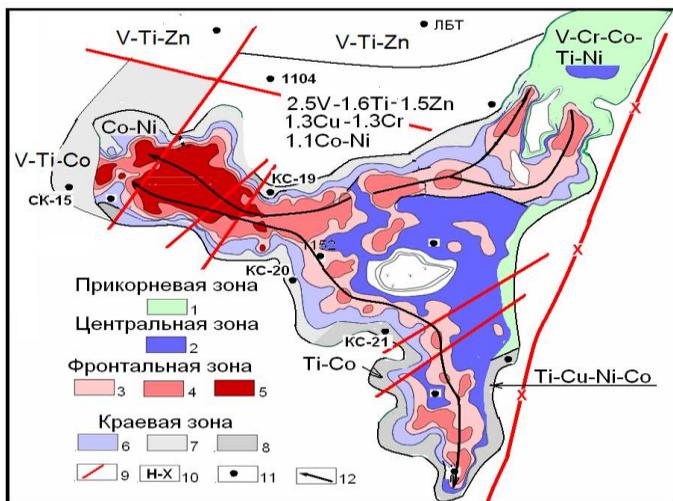


Рис. 14. Структурно-геохимическая модель Хараелахского интрузива (по материалам В.А. Радько с изменениями): 1 – прикорневая зона; 2 – центральная зона с аномалиями Ni-Cu-Co (пирротиновая минерализация); 3–5 – фронтальная зона: 3 – с аномалиями ^{237}Ni – ^{217}Cu – $^{28.5}\text{Ag}$ – ^{12}Co – $^{5.2}\text{Cr}$ (кубанит-пирротиновая минерализация); 4 – аномалия ^{531}Cu – $^{86.7}\text{Ni}$ – ^{72}Ag – ^{13}Co (кубанитовая минерализация); 5 – аномалия ^{867}Ag – ^{428}Cu – ^{183}Ni – ^{9}Co – ^{6}Pb – $^{5.6}\text{Zn}$ (халькопиритовая, моихукитовая минерализация); 6–8 – краевая зона: 6 – зона рассеянной минерализации Ni–Cu–Co (Cu–Ni–Co); 7 – аномалии Ni–Co, Co–Ni, V–Ti–Co (вкрапленность никель-кобальтсодержащего пирита и магнетита); 8 – аномалии Ti–Cu–Ni–Co (халькопирит-пирротин-магнетитовая минерализация); 9 – тектонические нарушения постинтрузивные; 10 – Норильско-Хараелахский разлом; 11 – скважины; 12 – осевые линии интрузива

Центральная зона. В вертикальных разрезах интрузивов полно дифференцирован, обладает максимальной мощностью (до 300 м). В центральной зоне отмечается воздымание интрузивного тела. Присутствует только вкрапленное оруденение в пикритовых и такситовых габбродолеритах. Сульфидная вкрапленность относительно густая, каплевидная и пылевидная халькопирит–пирротиновая, причем доля халькопирита во вкрапленниках возрастает до 50%. Маркируется аномалиями Ni–Cu–

Ag–Co. В области перехода от центральной к фронтальной зоне выделяется промежуточная область с аномалиями Cu–Ni–Ag–Co (Cu = Ni) вкрапленного и прожилково-вкрапленного оруденения пирротин-халькопиритового или халькопирит – пирротин - кубанитового составов (см. рис. 14). **Фронтальная зона** дифференцированных интрузий тяготеет к бортам мульд. В ее разрезах встречаются все дифференциаты, характерные для тыловой и центральной зон. Наблюдаются флексурообразные и мульдообразные перегибы днища интрузий. Важным отличием является появление здесь сплошных сульфидных Cu–Ni руд, образующих жилы, линзы и **плиты** последние в свою очередь также имеют свою зональность. Кроме того, при внедрении сульфидного расплава в породы нижнего экзоконтакта и смешивании его с роговиками, образуются прожилково-вкрапленные «медистые» руды, имеющие пластовую морфологию рудных тел. Во фронтальной зоне выделены аномалии Cu–Ag–Ni–Co (или Ag–Cu–Ni–Co) в горизонтах сплошных сульфидных руд и прожилково-вкрапленного «медистого» оруденения (см. рис. 14). **Фланговая (краевая) зона.** Помимо эндоконтактовых краевых фаций интрузива выделяется большая группа связанных с ним образований: апофиз, жилообразных инъекций, полигенных метамагматических псевдобрекчий, располагающихся в экзоконтактовой области Хараелахского расслоенного интрузива по периферии всего массива. В измененных габбродолеритах с пиритовой (никель- и кобальтсодержащий пирит) и пирротин-магнетит-пиритовой минерализацией отмечены аномалии Co–Ni. В силлах оливиновых габбродолеритов с пирротин - халькопиритовой минерализацией выделяются зоны рассеянной минерализации $1.5\text{Cu}-1.3\text{Ni}-1.4\text{Co}$. В зоне расщепления интрузива, силлы лейкократовых габбродолеритов, магнетитовых габбро, кварцсодержащих диоритов и зонах скарнирования с густой и рассеянной вкрапленностью никель-кобальтсодержащего пирита и магнетита выделяются аномалии и зоны рассеянной минерализации Ti–Co (Ti–Ba–Cu–Ni–Co). За пределами месторождений в силлах недифференцированных измененных габбродолеритов мощностью до 5 м с пиритовой минерализацией отмечены зоны рас-

сеянной минерализации 2.5V–1.6Ti–1.5Zn–1.3Cu– 1.3Co–1.2Ni, которые по мере удаления от месторождения сменяются V–Ti–Zn и Ti–V–Zn (см. рис. 14). **Главная (осевая) зона** характеризуется хонолитообразной морфологией в плане, желобовидным сечением интрузивного тела, где оно наиболее дифференцировано. Обнаружение в полнодифференцированных интрузивах осевой зоны во фронтальной части является главной целью поисковых работ, т.к. как именно эти части интрузий норильского типа обладают максимальной рудоносностью. В осевой зоне западной фронтальной части выделены аномалии Cu–Ag–Ni ($KK_{Cu} = 653$, $KK_{Ag} = 640$, $KK_{Ni} = 183$) или Ag–Cu–Ni ($KK_{Ag} = 867$) (халькопиритовая, моихукитовая, талнахитовая, кубанитовая минерализация) с экстремально высокими для месторождения концентрациями Ag, Cu, Ni, Co (см. рис. 14). Выделенные аномалии, в совокупности определяют структурно-геохимическую модель рудного узла и месторождений, в которой отмечена концентрическая зональность относительно центральной зоны, где присутствуют только вкрапленные руды.

Глава 6. Тектонические условия локализации месторождений Талнахской РМС в виде сочленения рудоконтролирующего долгоживущего разлома глубинного заложения и флексурных складок имеют геохимическое выражение. Рудоконтролирующие разломы фиксируются геохимическими аномалиями линейного вида, который обусловлен пространственной ориентировкой разломов. Зоны тектонических швов выполнены метасоматическими брекчиями, в которых обломки сложены карбонатизированными апобазальтовыми, аподолеритовыми, апопесчаниковыми кварц - полевошпатовыми и существенно полевошпатовыми метасоматитами, сцементированными кальцитом, включающим кристаллы кварца и вкрапленность пирита, халькопирита, галенита и сфалерита. Породы в значительной мере скарнированы (преобладают кальцит-скаполитовые и альбит-скаполитовые скарны, иттриеносные альбититы) и фиксируются аномалиями Y, Yb, Mo и Be (рис. 15). Полиметаллическая минерализация представлена галени- том, пиритом и сфалеритом в ассоциации с кальцитом и други-

ми низкотемпературными минералами маркируется аномалиями Zn–Pb–Mo или Zn–Co–Ti–Mo (рис. 15). В зоне Главного шва разлома аномалии Cu Ni не отмечаются (рис. 16).

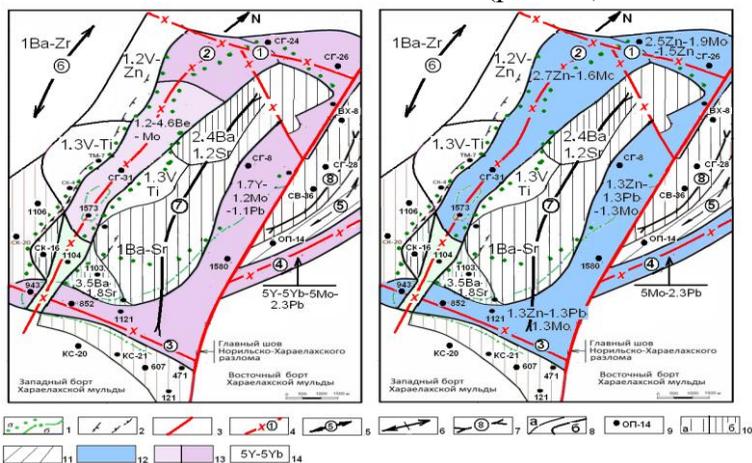


Рис. 15. Аномалии зон разломов (по материалам «Норильскгеология» с изменениями): 1 – границы рудоносных интрузий: а – краевые части; б – границы полнодифференцированных интрузий с сульфидной минерализацией; 2 – Томулахский; 3 – зона Главного шва глубинного Норильско-Хараелахский разлома; 4 – разломы более мелкого порядка: 1 – «ручья Каменистый», 2 – Осевой (Дьянгинский); 3 – поперечный разлом мелкого заложения в поле Октябрьского месторождения; 4 – Олорский разлом; 5–6 – пликативные структуры: 5 – Олорское палеоподняtie; 6 – сводовое поднятие между Осевым и Тангаралахским разломами; 7 – осевой прогиб Хараелахской мульды; 8 – приразломная Талнахская синклиналь нижнедевонского заложения; 8 – границы геохимических ореолов: а – внутри ореола; б – между ореолами различной специализации; 9 – скважина; 10–13 – геохимические ореолы, специализированные: 10 – на Sr; 11 – на Zr; 12 – на Zn–Pb–Mo; 13 – аномалии Y, Yb, Mo, Be; 14 – формула аномалии (цифрами указаны значения коэффициентов концентрации)



Рис. 16. Схематический геолого-геохимический разрез (поперечный) Талнахского рудного узла

Контроль месторождений, залегающих в осадочных отложениях, осуществляется благоприятными отрицательными **магмо-рудовмещающими структурами**: синклиналиями и опущенными крыльями приразломных флексурных складок, которые фиксируются аномалиями Ba–Sr и Ba–Zr (рис. 17).

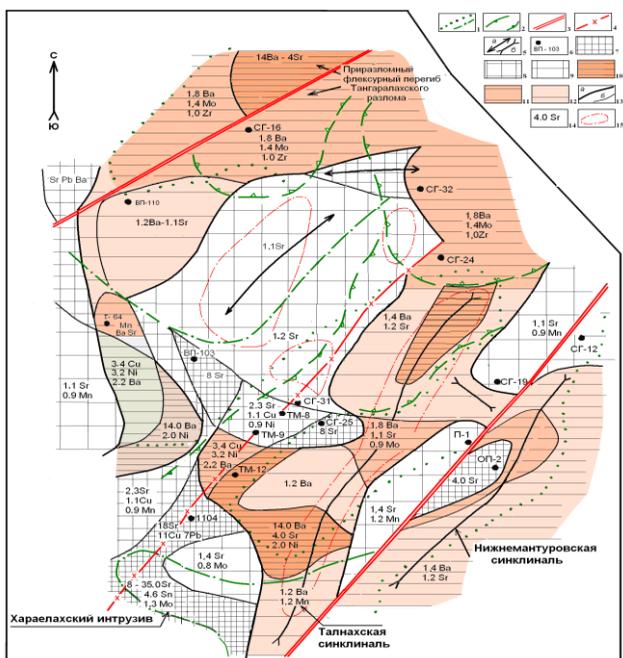


Рис. 17. Распределение аномалий барий-стронциевой специализации в породах контактовых ореолов рудоносных интрузий площади Талнахского рудного узла: 1 – границы рудоносных интрузий; 2 – границы Томулахской зоны метаморфизма; 3 – Главный шов Норильско-Хараелахского разлома; 4 – Осевой (Дьянгинский) разлом; 5 – оси палеоструктур: а – антиклиналей; б – синклиналей; б – устье скважины, ее номер; 7–12: геохимические ореолы: 7–9 – стронция: 7 – аномалии; 8 – ЗРМ; 9 – области фона; 10–12 – Ba–Sr и Ba–Zr: 10 – аномалии; 11 – ЗРМ; 12 – области фона; 13 – геохимические границы: а – между ореолами различной специализации; б – внутри ореолов; 14 – формула геохимической ассоциации, цифрами обозначено значение коэффициента концентрации

Аномалии совпадают с границами зон максимальных динамических растяжений, где имеет место интенсивное проявление гидротермальных процессов, развитие кондуктивного теплообмена

и образования «флюидно-тепловых мешков», формирующихся в барьерной зоне смешения восходящих и поровых флюидов (Туровцев, 2002). Здесь в метаморфизованных породах девона наблюдается барито – целестиновая минерализация. Пространственное распределение аномалий Cu-Ni-Co (или Ni-Cu-Co) в породах верхнего контактового ореола рудоносных интрузивов и рудных образованиях, связанных с ними (рис. 18), в пределах Хараелахской мульды и Талнахского рудного узла также как и, аномалии Ba, имеет центробежное строение с фрагментарно-кольцевым расположением вокруг безрудных зон и корреспондируется с общим структурно-тектоническим планом территории. Наиболее высококонтрастные аномалии Cu-Ni-Co отмечены в области сочленения южной оконечности Хараелахской мульды и Кайеркан-Пясинского поднятия. Своды палеоподнятий, ограничивающие распространение рудоносных интрузивов, в геохимических полях разновозрастных отложений фиксируются областями с фоновыми содержаниями Co-Ba-Ni, Zr-Ba. Ti- V-Zn.

В Норильском районе все крупные месторождения приурочены к среднекоревой сейсмической аномалии с высокими значениями V_p/V_s (1,88-1,92 км/с) (Булин, Егоркин, 1993, 1994). В целом структура представляет собой ряд вложенных друг в друга конусовидных тел с наиболее опущенным центральным конусом. В спирально-винтовой геодинамической системе Талнахского рудного узла концентрируются и локализуются дифференцированные интрузии, к которым приурочены тела сульфидных медно-никелевых руд. Созданная автором модель расположения рудных тел Талнахского рудного узла в условиях вихревых тектономагматических структур, приведена на рис. 19. Данная модель соответствует расположению рудных тел в геологическом разрезе ТРУ (рис. 20).

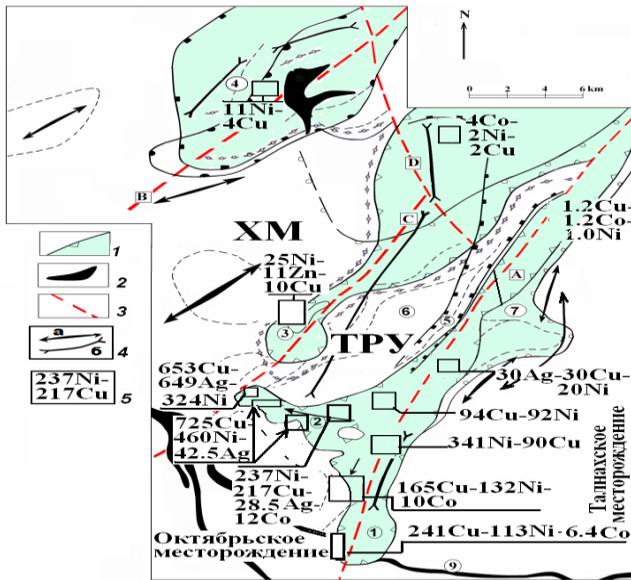


Рис. 18. Распределение аномалий медно-никелевой специализации рудных образований на площадях Хараелахской мульды и Талнахского рудного узла (по данным Люлько В.А. с изменениями): 1 – рудоносные расслоенные массивы норильско-талнахского типа; 2 – выходы интрузивов на поверхность; 7 – зоны разломов: А – Норильско-Хараелахского; В – Фокинско-Тангаралахского; С – Осевого, D – Каменистого; 4 - складки: а – антиклинали, б- синклинали; 5 – формула ГХА

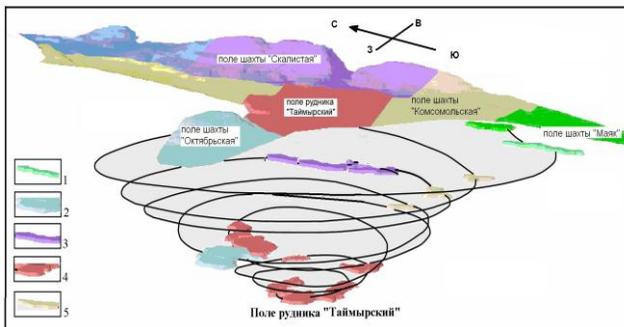


Рис. 19. Модель расположения рудных тел Талнахского рудного узла в условиях спирально-винтовой геодинамической системы: 1–8 – поля шахт и рудников: 1 – «Маяк»; 2 – «Октябрьская»; 3 – «Скалистая»; 4 – «Таймырский»; 5 – «Комсомольская»



Рис. 20. Схематический разрез расположения рудных тел месторождений Норильского района (по данным рудничных геологов ПО «Норильскгеология»)

Глава 7. Геохимическая зональность медно-никелевого с платиноидами оруденения месторождений Талнахской рудно-магматической системы. Установлена контрастная геохимическая зональность рудных образований на уровнях рудного узла, месторождений и рудных тел, основанная на ранжированных рядах коэффициентов разделения Ni/Cu и $Kp = (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)$, иллюстрирующих процесс рудообразования в условиях фракционирования сульфидного расплава. характерного для сульфидных медно-никелевых с платиноидами руд норильских месторождений. В осевых зонах фронтальных частей рудоносных интрузивов выделены участки с экстремально высокими для ТРУ, месторождений и рудных тел значениями коэффициентов концентраций (K_k до 800) в $Cu-Ag-Ni-Co$ аномалиях и Kp (до 1750) при минимальных Ni/Cu (до 0.2). Выявленные соотношения служат основанием локального прогноза оруденения.

Сплошные массивные руды распространены практически по всей площади рудного горизонта, но в отдельных частях встречаются лишь маломощные прожилки или прожилково-вкрапленная минерализация. Наиболее значительные залежи тяготеют к углублениям и «выбоинам» в подошве фронтальной зоны рудоносной интрузии и обычно не выходят за контуры главных тел рудоносных интрузивов. Мощность рудных тел

может достигать 48 м. Руды многообразны по составу: от существенно пирротиновых (с содержанием Cu 2–3 вес.%) до богатых медью (Cu = 27–32 вес.%) халькопиритовых и талнахит-моихукитовых.

Зональность рудных образований ТРУ (рис. 21): в восточной и приразломной частях рудного узла значения $Ni/Cu = 1.6$ и $Kp = (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os) = 10$ (высокосернистая ассоциация пирротинового состава, $S/Cu = 7.0-9.0$, $\delta^{34}S = 11,2$ ‰, Pt до 1,8 г/т, Pd до 4,9 г/т), в центральной части $Ni/Cu = 0,9$ и $Kp = 40-70$ (переходная ассоциация пирротин-кубанитового состава, $S/Cu = 4,9$, $\delta^{34}S = 11,5$ ‰, Pt 1,3–3,2 г/т, Pd до 12,0 г/т), в западной части отмечены экстремально высокие значения $Kp = 167-1750$ и минимальные $Ni/Cu = 0,7-0,2$ (низкосернистая минеральная ассоциация халькопиритового и кубанитового составов, $S/Cu = 1.6$, значение $\delta^{34}S$ до 12,8, Pt до 9–10 г/т и Pd – 43–60 г/т). В юго-западной части ТРУ в рудах халькопиритового и борнит-халькозинового состава $Ni/Cu = 0,2$, а $Kp = 120$ ($S/Cu = 1,8$, Pt до 2,3 г/т, Pd до 7,24 г/т).

Зональность рудных образований Талнахского месторождения. Тела сплошных руд имеют простую минеральную зональность и представлены в основном высокосернистой ассоциацией ($S/Cu = 7.0-9.0$) пирротинового состава со значениями $Kp = (Pt + Pd) / (Ru + Ir + Os) = 10$, $Ni/Cu = 1.6$ (рис. 22). На флангах рудные тела сложены пирротин-кубанитовой минерализацией, где значения $Ni/Cu = 0,9$, и $Kp = 30-75$ (рис. 23). В южной фронтальной зоне Талнахского месторождения руды максимально обогащены Pt и Pd (руды халькопиритового и борнит-халькозинового состава), $Ni/Cu = 0,2$, а $Kp = (Pt + Pd) / (Ru + Ir + Os) = 120$ (рис. 22).

Зональность рудных образований Октябрьского месторождения: в центральной и восточной частях преобладает пирротин-кубанитовый (или кубанит-пирротиновый) тип руд, в которых $Ni/Cu = 0,9$ и $Kp = 40-70$ (значение $\delta^{34}S$ в сульфидах до 11,5‰). В его западной части руды представлены халькопиритовый типом с $Ni/Cu = 0,7-0,2$ и $Kp = 167-1750$ (см.рис. 21, 23).

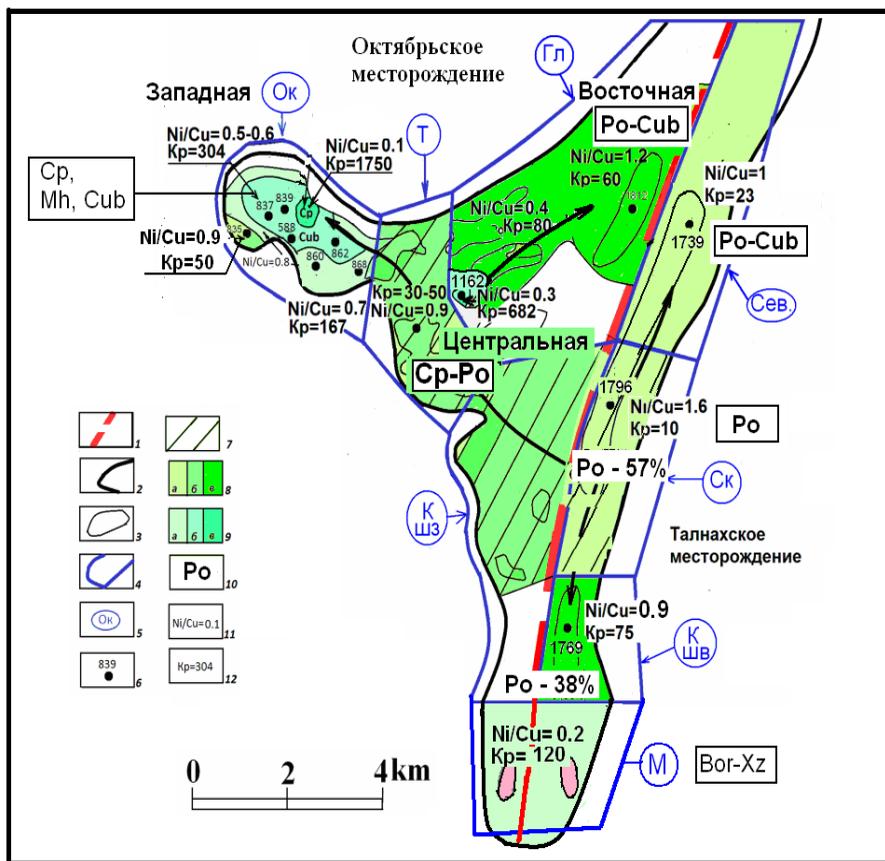


Рис. 21. Зональность рудоносной зоны Талнахского рудного узла (по материалам ПО «Норильскгеология» с изменениями): 1 – Норильско-Хараелахский разлом; 2 – границы месторождений; 3 – границы рудных тел; 4 – границы шахтных полей; 5 – шаты: Ок – «Октябрьская»; Т – рудник «Таймырский»; Гл – «Глубокая»; Сев. – «Северная»; Ск – «Скалистая», К шв – «Комсомольская» (восточная); К шз – «Комсомольская» (западная); М – «Маяк»; 6 – скважина; 7 – центральные части месторождений; 8 – области значений: а) – $Ni/Cu = 1.6-1$, $Kp = 10-23$; б) – $Ni/Cu = 0.9-1$, $Kp = 30-50$; в) – $Ni/Cu = 0.9-0.4$, $Kp = 50-80$; 9 – области значений: а) – $Ni/Cu = 0.5-0.7$, $Kp = 80-160$; б) – $Ni/Cu = 0.5-0.4$; $Kp = 160-300$; в) – $Ni/Cu = 0.5-0.2$, $Kp = 630-1750$; 10 – состав рудной минерализации: Po – пирротиновый; Po-Cub – пирротин-кубанитовый; Ср – халькопиритовый; Mh – моихукитовый; Bor – борнитовый; Xz – халькозинный; 11 – числовые значения Ni/Cu; 12 – числовые значения Kp

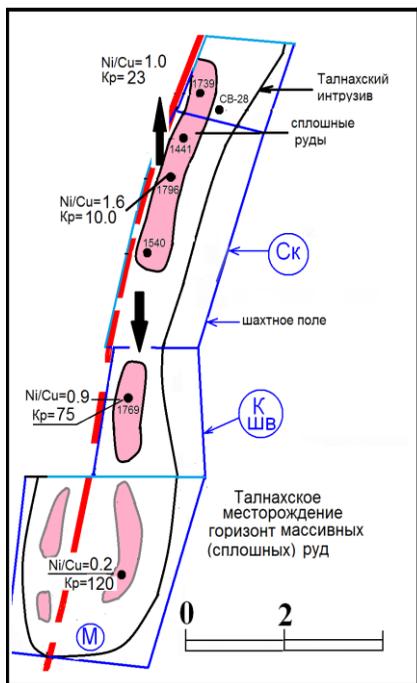


Рис. 22. Зональность рудоносной зоны Талнахского месторождения (по материалам ПО «Норильск-геология» с изменениями):

В рудных телах западной части месторождения, расположенной в осевой зоне фронтальной части Хараелахского интрузива, наблюдается сложная концентрическая зональность: в центре (минерализация халь копири- товая, моихукитовые и талнахи- товая) $Ni/Cu = 0,1$, $Kp = 1750$, далее по обе стороны выклинивания преобладает моихукит - кубани- товая минерализация с $Ni/Cu = 0,5$, $Kp = 304$, далее кубанитовая со значениями $Ni/Cu = 0,6$, $Kp = 167$ и халькопирит - пирротино- вая с $Ni/Cu = 0,9$, $Kp = 120$ (рис. 23). По данным «ГЕОСКАН» аномалии с экстремально высо- кими содержаниями рудных

элементов $725Cu-460Ni-457Ag$, $867Ag - 428Cu-183Ni-9Co$ и $531Cu-86.7Ni-72Ag-13Co$ отме- чаются в осевой зоне фронталь- ной части рудоносного интрузи- ва, что является показателем проявления максимальной рудооб- разующей энергии на данном участке месторождения. Учиты- вая, что значения $Kp=(Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)$ в массивных рудах Октябрьского месторождения (западная фронтальная зона) и Талнахского (южная фронтальная зона), достигнув максималь- ных значений, не снижаются, можно предположить, что на про- должении данных продуктивных зон, возможно, нахождение скрытых рудных объектов. К западу и юго-западу от границ Октябрьского месторождения в отложениях разведочнинской свиты нижнего девона выделены поля концентрирования Cu и Ni (рис. 24). Кроме того, прогнозируемый объект приурочен к

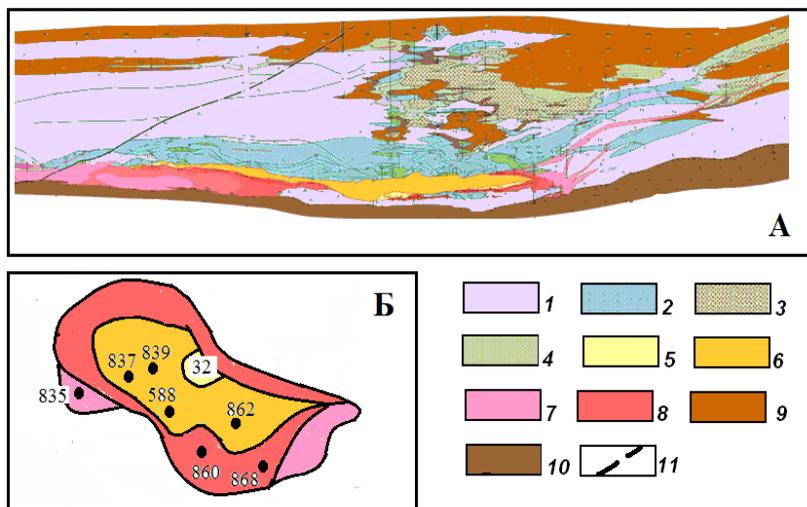


Рис. 23. Внутреннее строение Хараелахского рудного тела (вне масштаба) (А – поперечный разрез), минеральная и геохимическая зональность (Б) (по материалам ПО «Норильскгеология» с изменениями): 1 – рудоносный интрузив; 2 – вкрапленные руды; 3–4 – «медистые» руды: 3 – пирротиновый тип, 4 – халькопиритовый тип; 5–8 – сплошные руды: 5 – кубанит-моихукитовые ($Ni/Cu = 0,1-0,2$, $Kp = 1750$), 6 – моихукитовые ($Ni/Cu = 0,5-0,6$, $Kp = 304$); 7 – халькопирит-пирротиновые ($Ni/Cu = 0,9$, $Kp = 50$); 8 – халькопирит-пирротин-кубанитовые ($Ni/Cu = 0,6$, $Kp = 167$); 9 – сульфатно-карбонатные отложения среднего девона (мантуровская свита); 10 – мергели и аргиллиты нижнего девона (разведочнинская свита); 11 – постинтрузивные нарушения

флексурной складке, где в сульфатно-карбонатных кавернозных породах девона выявлены аномалии стронция, характерные для контактовых ореолов рудоносных интрузий, в отложениях разведочнинской свиты нижнего девона выделены поля концентрирования Cu и Ni (рис. 24), что, по мнению автора, является признаком присутствия рудной минерализации на более глубоком гипсометрическом уровне. При последующем изучении глубоких горизонтов флангов месторождений в районе аномалий разведочными скважинами были вскрыты рудные тела мощностью

более 20 м брекчиевидных сульфидных медно-никелевых руд, содержащих платиновую минерализацию.

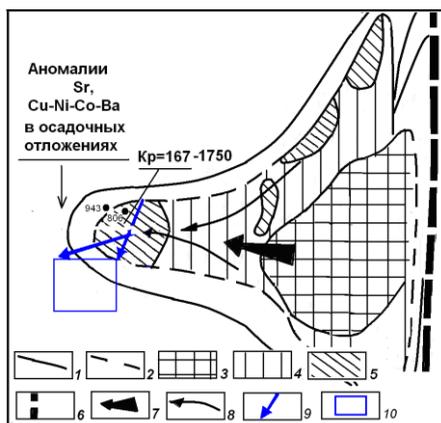


Рис. 24. Зональность рудоносной зоны Октябрьского месторождения с элементами прогноза (по материалам О.А. Дюжикова, 1988, с изменениями): 1–2 – контуры развития рудоносного интрузива (1) и сплошных руд (2); 3 – центральная часть месторождения, преобладают вкрапленные руды, пирротиновая минерализация; 4–5 – фланги месторождения: 4 – халькопирит-пирротиновая и кубанит - пирротиновая минерализация; 5 – высокомедистые разновидности (халькопиритовая, кубанитовая, моихукитовая, талнахитовая); 6 – зона Главного шва Норильско - Хараелахского разлома; 7 – направление обогащения руд Cu, Pt, Pd; 8 – прогнозируемый рудный объект; 9 – направление прогноза

Заключение. В предлагаемой работе исследованы закономерности распределения элементов в сложной полиобъектной системе - дифференцированный рудоносный интрузив норильско - талнахского типа, сплошные сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды, малосульфидные платинометалльные; метаморфометасоматический ореол с сульфидным платиноидно-никелево-медным, полиметаллическим, пирит-магнетитовым оруденениями; неизменные или относительно неизменные вмещающие породы; что привело к выявлению главных особенностей геолого - геохимического строения и состава геохимических полей, а также выделению среди них аномальных полей (АГП)

– геохимических критериев прогнозирования и поисков этих объектов. Выявлены геолого-геохимические особенности участков с максимальной рудоносностью: расположение в осевых зонах фронтальных частей рудоносных интрузивов ТРУ и его месторождений; рудные тела маркируются комплексные аномалии Cu-Ag-Ni-

Со (Кк более 300); в рудной минерализации отмечаются экстремально высокие значения отношения $(Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)$, а параметры Ni/Cu – минимальные. В рудных телах осевых зон наиболее продуктивной является их центральная часть, которой, возможно, находится. Присутствие скрытого сульфидного оруденения за пределами месторождения, возможно, на продолжении поперечных сечений продуктивных аномалий.

Работа имеет практическое значение, ее основные положения могут служить предметом дальнейших геохимических исследований, направленных на формирование конкретных рекомендаций, связанных с поисками Cu–Ni руд при оценке новых объектов. Предлагаемые геохимические предпосылки и признаки доступны к использованию на различных стадиях геологоразведочных работ и приняты в качестве дополнения к существующим прогнозно-поисковым комплексам для поисков месторождений норильско-талнахского типа (протокол заседания Технического совета ООО «Норильскгеология» №НГ–01/89 – пр. от 15. 10. 2013 г.).

Список основных публикаций по теме диссертации

1. Мирошникова, Л.К. Геолого-геохимические основы прогноза коренных месторождений сульфидных медно-никелевых руд в Норильском районе (на примере месторождений Талнахского рудного узла): монография / Л.К. Мирошникова. – Ханты-Мансийск: Юграфика, 2013. – 330 с.
2. Мирошникова, Л.К. Горнопромышленная геология месторождений полезных ископаемых учеб. пособие / Л.К. Мирошникова, В.И. Склянов. – Норильск: НГИИ, 2014. – С. 80–109.

Статьи в научных реферируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ

1. Мирошникова, Л.К. Особенности геохимического строения трубки взрыва Веткинской площади юго-западной оконечности Норильского плато / Л.К. Мирошникова // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской Академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: ИрГТУ, 2008. – №7 (33). – С. 85 – 96.
2. Мирошникова, Л.К. Зональное строение комплексного геохимического поля в отложениях девона в Норильском районе / Л.К. Мирошникова // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. Научно-методический журнал. – М.: РГГРУ, 2009. – №5. – С. 40–44.

3. Мирошникова, Л.К. Особенности строения геохимического поля осадочных отложений нижнего-среднего палеозоя площади Талнахского рудного узла / Л.К. Мирошникова // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской Академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: ИрГТУ, 2009. – №8 (34). – С. 81–91.

4. Мирошникова, Л.К. Особенности распределения и концентрации рудогенных микроэлементов в пикритовых базальтах /Л.К. Мирошникова // Вестник Иркутского Технического Университета. Иркутск: ИрГТУ, 2010. – №1 (41). – С. 147–152.

5. Мирошникова, Л.К. Строение геохимического поля околоинтрузивных контактовых ореолов Нижнеталнахского интрузива /Л.К. Мирошникова // Изв. Высш. Учебных заведений. Геология и разведка. Научно методический журнал. – М.: РГГРУ, 2010. – №2. – С. 40–43.

6. Мирошникова, Л.К. Аномалии циркония в околоинтрузивных ореолах Талнахского интрузива / Л.К. Мирошникова // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – Иркутск: ИрГТУ, 2010. – №6(46). – С. 66–71.

7. Мирошникова, Л.К. Взаимосвязь аномалий стронция в контактовых ореолах рудоносных интрузий с аномалиями рудогенных микроэлементов в промышленных горизонтах сульфидных руд / Л.К. Мирошникова // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – Иркутск: ИрГТУ, 2010. – № 7 (47). – С. 46–52.

8. Мирошникова, Л.К. Особенности медно-никелевой минерализации в пределах трубки взрыва «Пирротиновая» Веткинской площади / Л.К. Мирошникова // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской Академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: ИрГТУ, 2010. – №2 (37). – С. 35–46.

9. Мирошникова, Л.К. Геохимическое районирование площади Норильского горнорудного района / Л.К. Мирошникова // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – Иркутск: ИрГТУ, 2011. – №1 (11). – С. 51–58.

10. Мирошникова, Л.К. Геохимия стронция в магматических породах Норильского района / Л.К. Мирошникова // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – Иркутск: ИрГТУ, 2011. – №1 (11). – С. 47–54.

11. Мирошникова, Л.К. Гидрогеохимические признаки и критерии сульфидного оруденения / Л.К. Мирошникова // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – Иркутск: ИрГТУ, 2011. – №3. – С. 12–17.

12. Мирошникова, Л.К. Геолого-геохимическая характеристика интрузивных образований ергалахского комплекса / Л.К. Мирошникова // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – № 12 (83). – С. 124–131.

13. Мирошникова, Л.К. Геолого-геохимические критерии оценки площади коренных сульфидных руд сульфидных медно-никелевых руд / Л.К. Мирошникова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 4. – С. 140–150.

14. Мирошникова, Л.К. Петрология и геохимия интрузивных образований пясинского комплекса (таб Р2ps), расположенных в юго-западной части Норильской мульды / Л.К. Мирошникова // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – №4 (87). – С. 63–71.

15. Мирошникова, Л.К. Исследование рудно-геохимической зональности рудных тел месторождений Норильского района / Л.К. Мирошникова // Известия Высших Учебных заведений. Геология и разведка. Научно-методический журнал. – М.: РГГРУ, 2014. – №2. – С. 31–36.

16. Туртыгина, Н.А. Перспективный метод прогнозирования и поиска сформировавшихся Норильских месторождений с целью управления качеством добытых руд / Н.А. Туртыгина, Л.К. Мирошникова, Н.А. Волков, И.О. Карпенко // Горный информационно-аналитический бюллетень М.: – 2016. – №2. – С. 313–319.

Статьи в региональных журналах, сборниках научных трудов, а также материалы конференций доклады, тезисы, опубликованные в журналах

17. Мирошникова, Л.К. Геохимия палеозойских отложений Верхне-Хараелаской площади / Л.К. Мирошникова // Недра Таймыра; сб. научных трудов. – Норильск, 2000. – №4. – С. 69–83.

18. Мирошникова, Л.К. Геохимическая характеристика интрузивных образований северо-восточных флангов Талнахского рудного узла / Л.К. Мирошникова // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. – Красноярск: 2000. – №1. – С. 50–67.

19. Мирошникова, Л.К. Геохимическая характеристика осадочных отложений адылканской свиты / Л.К. Мирошникова // Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых: межвузовский сборник. – Иркутск: ИрГТУ, 2002. – №25. – С. 15–25.

20. Мирошникова, Л.К., Ромашкин, С.В., Распределение рудогенных и сопутствующих микроэлементов в коренных породах Талнахского рудного узла. / Л.К. Мирошникова // Таймырские чтения, сб. докладов. – Норильск: НИИ, 2008. – С. 117-121.

21. Мирошникова, Л.К. Строение комплексного геохимического поля трубки взрыва «Пирротиновая» площади юга Норильского плато / Л.К. Мирошникова // Материалы III международной конференции «Горное, нефтяное, геологическое и геоэкологическое образование в XXI веке». – Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет, 2008. – С. 262–263.

22. Мирошникова, Л.К. Особенности распределения и концентрации рудогенных микроэлементов в пикритовых базальтах / Л.К. Мирошникова // Инновационное развитие горно-металлургической отрасли: материалы Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи (Иркутск, 1–2 декабря 2009 г.). – Иркутск: ИрГТУ, 2009. – С. 7–14.

23. Мирошникова, Л.К. Особенности строения геохимического поля осадочных отложений палеозоя площади Талнахского рудного узла / Л.К. Мирошникова // Научный вестник Норильского индустриального института. – Норильск: НИИ, 2009. – №4. – С. 42–50.

24. Мирошникова, Л.К. Строение комплексного геохимического поля Нижнеталнахского интрузива / Л.К. Мирошникова // Научный вестник Норильского индустриального института. – Норильск: НИИ, 2011. – №8. – С. 5–11.

25. Мирошникова, Л.К. Строение геохимического поля Тангаралахского интрузива на площади Талнахского рудного узла / Л.К. Мирошникова // Материалы IX Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» Москва (Россия)–Котону (Бенин) 13–19 сентября 2010 г. – С. 93–96.

26. Глазунов, О.М. Гидрогеохимические аномалии Норильского рудного узла как перспектива для увеличения ресурсов и экологического мониторинга / О.М. Глазунов, **Л.К. Мирошникова** // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья» 10–12 ноября 2010 г. – Улан-Удэ: ЭКОС, 2010. – С. 55–58.

27. Мирошникова, Л.К. Геолого- геохимические критерии Томулахской зоны метаморфизма / Л.К. Мирошникова // Научный вестник Норильского индустриального института. – Норильск: НИИ, 2011. – №9. – С. 101–114.

28. Мирошникова, Л.К. Зональность геохимического поля краевых фаций рудоносного Харалахского интрузива / Л.К. Мирошникова // Научный вестник Норильского индустриального института. – Норильск: НИИ, 2012. – №10. – С. 31–39.

29. Мирошникова, Л.К. Зональность геохимического поля апофиз рудоносного Харалахского интрузива Талнахского рудного узла / Л.К. Мирошникова // Материалы Третьей Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры геологии Бурятского государственного университета «Минерагения Северо-Восточной Азии» 13–17 ноября 2012 г. – Улан-Удэ, 2012. – С. 110–114.

30. Мирошникова, Л.К. Отображение структурных элементов геодинамического плана площади Талнахского рудного узла в зональной структуре геохимических полей / Л.К. Мирошникова // Научный вестник Норильского индустриального института. – Норильск: НИИ, 2013. – №12. – С. 31–38.

31. Мирошникова, Л.К. Геолого-геохимические критерии оценки площади коренных сульфидных медно-никелевых руд / Л.К. Мирошникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Горная книга, 2013. – №4. – С. 140–150.

32. Мирошникова, Л.К. Геодинамические условия формирования коренных месторождений сульфидных медно-никелевых руд Норильского района / Л.К. Мирошникова // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 40-летию Геологического института СО РАН 26–31 августа 2013 г. – Улан-Удэ: Экос, 2013. – С. 252–256.

33. Мирошникова, Л.К. Петрология и геохимия интрузивных образований оганерского комплекса (β T10g), расположенных в юго-западной части Норильской мульды / Л.К. Мирошникова // Научный вестник Норильского индустриального института. – Норильск: НИИ, 2013. – №13. – С. 27–33.

34. Мирошникова, Л.К. Рудно-геохимическая зональность массивных сульфидных медно-никелевых руд месторождений Талнахского рудного узла / Л.К. Мирошникова, Н.А. Волков, И.Н. Тазеев // Материалы VII региональной научной конференции «Научный потенциал Норильского промышленного района – XXI век». – Норильск: НИИ, 2014. – С. 32–39.

35. Мирошникова, Л.К. Перспективный метод прогнозирования и поисков сформировавшихся месторождений медно-никелевых руд Норильского промышленного района / Л.К. Мирошникова, Н.А. Туртыгина, Н.А. Волков // Материалы VIII региональной научной конференции «Научный потенциал Норильского промышленного района – XXI век». – Норильск: НИИ, 2015. – С. 8–14.

36. Мирошникова, Л.К. Геохимическая зональность рудных тел на флангах месторождений сульфидных медно-никелевых руд Талнахского рудного узла / Л.К. Мирошникова // Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Мальшевские чтения» (23 апреля 2015 г.). – Старый Оскол: РОСА, 2015. – С. 338–343.

37. Мирошникова, Л.К. Исследование зональности геохимического ореола рудной минерализации в скарнированных породах трубки взрыва / Л.К. Мирошникова, А.Ю. Мезенцев, Т.В. Райская // Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Мальшевские чтения» (23 апреля 2015 г.). – Старый Оскол: РОСА, 2015. – С. 583–589.

Подписано в печать: 30.01.2017

Объем: 3 усл. п. л.

Тираж 100 экз. Заказ № 01

Отпечатано в Юго-Западная «Копирка»

Тел. 89262064052@kopirka.ru